

LIETUVOS SVEIKATOS MOKSLŲ UNIVERSITETAS
MEDICINOS AKADEMIJA

Deivydas Velička

**DIDELIO INTENSYVUMO INTERVALINĖS
TRENIRUOTĖS, OKLIUZINĖS
TRENIRUOTĖS IR AEROBINIO KRŪVIO
PRATYBŲ, PAPILDYTŲ DIFERENCINIO
MOKYMO UŽDUOTIMIS, ĮTAKA VYRŲ
ŠIRDIES IR KRAUJAGYSLIŲ SISTEMAI**

Daktaro disertacija
Medicinos ir sveikatos mokslai,
slauga (M 005)

Kaunas, 2020

Disertacija rengta 2015–2020 metais Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Medicinos akademijos Slaugos fakulteto Sporto medicinos klinikoje (iki 2019 m. sausio 31 d. vadinta Sporto institutu).

Mokslinis vadovas

prof. habil. dr. Jonas Liudas Poderys (Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Medicinos akademija, medicinos ir sveikatos mokslai, slauga – M 005).

Konsultantai:

prof. habil. dr. Alfonsas Vainoras (Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Medicinos akademija, medicinos ir sveikatos mokslai, slauga – M 005);

prof. dr. Wolfgang Immanuel Shollhorn (Mainzo Johano Gutenbergo universitetas, medicinos ir sveikatos mokslai, slauga – M 005).

Disertacija ginama Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Medicinos akademijos Slaugos mokslo krypties taryboje:

Pirmininkas:

prof. dr. Raimondas Kubilius (Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, medicinos ir sveikatos mokslai, slauga – M 005).

Nariai:

prof. dr. Daiva Petruševičienė (Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, medicinos ir sveikatos mokslai, slauga – M 005);

prof. dr. Eglė Lendraitienė (Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, medicinos ir sveikatos mokslai, slauga – M 005);

doc. dr. Dalia Mickevičienė (Lietuvos sporto universitetas, gamtos mokslai, biologija – N 010);

prof. dr. Mati Pääsuke (Tartu universitetas, gamtos mokslai, biologija – N 010).

Disertacija bus ginama 2020 m. birželio 30 d. 15 val. viešajame Slaugos mokslo krypties tarybos posėdyje Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Sporto medicinos klinikos 218 auditorijoje.

Adresas: Tilžės g. 18, LT-47181 Kaunas, Lietuva.

LITHUANIAN UNIVERSITY OF HEALTH SCIENCE
MEDICAL ACADEMY

Deivydas Velička

**THE EFFECT OF HIGH-INTENSITY
INTERVAL TRAINING OCCLUSION
TRAINING AND A COMBINATION OF
AEROBIC EXERCISES AND
DIFFERENTIAL LEARNING ON
THE CARDIOVASCULAR SYSTEM
IN MALES COHORT**

Doctoral Dissertation
Medicine and Health Sciences,
Nursing (M 005)

Kaunas, 2020

The dissertation has been prepared during the period of 2015–2020 at the Lithuanian University of Health Sciences, Medical Academy, Faculty of Nursing, Department of Sports Medicine (until 31, January, 2019 – Institute of Sports).

Scientific Supervisor

Prof. Habil. Dr. Jonas Liudas Poderys (Lithuanian University of Health Sciences, Medical Academy, Medical and Health Sciences, Nursing – M 005).

Consultants:

Prof. Habil. Dr. Alfonsas Vainoras (Lithuanian University of Health Sciences, Medical Academy, Medicine and Health Sciences, Nursing – M 005);

Prof. Dr. Wolfgang Immanuel Shollhorn (Mainz Johannes Gutenberg University, Medical and Health Sciences, Nursing – M 005).

Dissertation is defended at the Nursing Research Council of the Medical Academy of Lithuanian University of Health Sciences:

Chairperson

Prof. Dr. Raimondas Kubilius (Lithuanian University of Health Sciences, Medical and Health Sciences, Nursing – M 005).

Members:

Prof. Dr. Daiva Petruševičienė (Lithuanian University of Health Sciences, Medical and Health Sciences, Nursing – M 005);

Prof. Dr. Eglė Lendraitienė (Lithuanian University of Health Sciences, Medical and Health Sciences, Nursing – M 005);

Assoc. Prof. Dr. Dalia Mickevičienė (Lithuanian Sports University, Natural Sciences, Biology – N 010);

Prof. Dr. Mati Pääsuke (Tartu University, Natural Sciences, Biology – N 010).

The Dissertation will be defended at an open session of the Nursing Research Council of the Medical Academy of the Lithuanian University of Health Sciences on the 30th of June, 2020 at 3 p.m. at the Department of Sports Medicine, in room No. 218.

Address: Tilžės 18, LT-47181 Kaunas, Lithuania.

TURINYS

SANTRUMPOS	7
IVADAS	8
1. DARBO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI	10
2. LITERATŪROS APŽVALGA	11
2.1. Sveikatos išsaugojimo ir stiprinimo fiziniais pratimais problema	11
2.2. Fizinio krūvio metodų taikymas stiprinant sveikatą ir jų mokslinis pagrindimas.....	12
2.2.1. Okliuzinės treniruotės metodas	13
2.2.2. Didelio intensyvumo intervalinė treniruotė (DIIT).....	15
2.2.3. Dvigubos užduoties metodas	15
2.2.4. Diferencinio krūvio metodu grįsta treniruotė	16
2.3. Širdies ir kraujagyslių sistemos (ŠKS) funkcijos ypatybės, jų vertinimai fizinio krūvio ir atsigavimo metu.....	17
2.3.1. ŠKS funkcija atliekant fizinius krūvius	17
2.3.2. EKG rodiklių kaita fizinio krūvio ir atsigavimo metu	21
3. TYRIMO METODIKA.....	25
3.1. Tyrimų organizavimas ir tyrimo protokolai	25
3.1.1. Pirmojo uždavinio tyrimų organizavimas ir imtis	27
3.1.2. Antrojo uždavinio tyrimų organizavimas ir imtis.....	31
3.1.3. Trečiojo uždavinio tyrimų organizavimas ir imtis	33
3.1.4. Ketvirtąjo uždavinio tyrimų organizavimas ir imtis	35
3.2. Tyrimo metodai	39
3.3. Dinaminių sąsajų vertinimai ir statistika.....	43
4. TYRIMŲ REZULTATAI	45
4.1. Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaitos ypatybės, atliekant santykinai lengvus ir varginančius fizinius krūvius bei atsigavimo po jų metu	45
4.1.1. Sąsajų dinamikos tarp EKG rodiklių kaitos ypatybės, nesportuojantiems vyrams atliekant gana lengvą fizinį krūvį.....	45
4.1.2. Širdies funkcijos rodiklių kaitos ypatybės didelio meistriškumo sportininkams atliekant pakopomis didėjančią krūvį iki negalėjimo tęsti užduotį bei atsigavimo metu	49
4.1.3. ŠKS funkcijos ypatybės, atspindinčių rodiklių kaitos ypatybės, sportuojantiems vyrams atliekant pakopomis didėjančią krūvį iki negalėjimo bei atsigavimo metu	53
4.2. Pratybų taikant okliuzinės treniruotės metodą sportuojančių, sveikatą stiprinančių vyrų įtaka ŠKS	61
4.3. Pratybų, taikant didelio intensyvumo intervalinio pobūdžio krūvius, įtaka sportuojančių, sveikatą stiprinančių vyrų ŠKS.....	68

4.4	Pratybų, taikant koordinacinių pastangų reikalaujančias bei diferencinio mokymo metodu grindžiamas užduotis	75
4.4.1.	Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita nesportuojantiems vyrams atliekant nesudėtingą pusiausvyros išlaikymo užduotį	75
4.4.2.	Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita nesportuojantiems vyrams atliekant vis sudėtingesnes, koordinacinių pastangų reikalaujančias užduotis	80
4.4.3.	Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita, kai nesportuojantys vyrai aerobinio krūvio metu atlieka papildomas užduotis (<i>dvigubos užduoties metodas</i>)	82
4.4.4.	Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita atliekant diferencinio mokymo metodu grindžiamas užduotis	85
5.	REZULTATŲ APTARIMAS	88
	IŠVADOS	97
	PRAKTINĖS REKOMENDACIJOS	98
	SUMMARY	99
	LITERATŪRA	131
	STRAIPSNIŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS	145
	MOKSLINIŲ KONFERENCIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS	146
	STRAIPSNIŲ DISERTACIJOS TEMA KOPIJOS	147
	PRIEDAI	202
	1 priedas	202
	2 priedas	203
	3 priedas	204
	CURRICULUM VITAE	205
	PADĖKA	206

SANTRUMPOS

ŠKS	– širdies ir kraujagyslių sistema
EKG	– elektrokardiograma
ŠSD	– širdies susitraukimų dažnis
AKS	– arterinis kraujospūdis
JT intervalas	– elektrokardiogramoje jungties taškas J–T bangos pabaiga
StO₂	– deguonies desaturavimo rodiklis. Deguonies įsisotinimo (StO ₂) raumens audinyje kaita
AK	– arterinės kraujotakos blauzdos raumenyse kaita
Dsk	– diskriminantas
Dsk_{RR_QRS}	– diskriminantas tarp EKG RR intervalo ir QRS komplekso trukmės
Dsk_{RR_JT}	– diskriminantas tarp EKG RR ir JT intervalų trukmės
Dsk_{QRS_JT}	– diskriminantas tarp QRS komplekso ir JT intervalo trukmės
Dsk_{sum}	– visų vertinamų diskriminantų suma: $Dsk_{sum} = Dk_{RR_QRS} + Dk_{RR_JT} + Dk_{QRS_JT}$
DIIT	– didelio intensyvumo intervalinė treniruotė (pratybos)

IVADAS

Fizinis aktyvumas visais žmogaus amžiaus tarpsniais reikšmingas veiksnyms ligų profilaktikai, sveikatai stiprinti, senėjimo vyksmams sulėtinti bei gyvenimo kokybei gerinti. Pasaulyje atlikta labai daug tyrimų, nagrinėjančių fizinio aktyvumo poveikį sveikatai [1–3]. Siekiant pritraukti mankštintis ir stiprinti sveikatą siūloma daug įvairių naujovių, visiškai naujų arba modifikuotų fizinio krūvio atlikimo metodų. Apie naujoves plačiai kalbama ir mokslo literatūroje [4–7]. Tyrėjai pažymi, kad aktuali mokslo ir praktikos problema yra įvertinti ir moksliškai pagrįsti šių naujų metodų taikymą bei vertinti jų taikymo veiksmingumą.

Fiziniai krūviai aktyvina ilgalaikės adaptacijos mechanizmus, kinta įvairios kūno sistemos ir jų funkcijos [8]. Vertinant fizinio krūvio sukeltus pokyčius organizme, taikomi įvairūs metodai, bet sveikatos mokslų srityje širdies ir kraujagyslių sistemos (ŠKS) funkcinės būklės vertinimai laikomi vieni iš svarbiausių [9–12].

Mokslininkų kuriami ir taikomi vis naujesni, pažangesni tyrimai ir duomenų analizės metodai, reikšmingai praplečiantys tyrėjų galimybes. Šiuo metu greitai populiarėja sistemų kompleksiskumą vertinančių metodų taikymas [13–15] – tiek vertinant pačių organizmo sistemų kompleksiskumą, tiek kompleksiskumo kaitos ypatybes. Tyrėjų siekis kurti vis tobulesnius metodus yra logiškas ir suprantamas, kaip natūralus noras prisidėti įveikiant naujus informatikos, matematikos ir kitoms susijusioms mokslo disciplinoms išskylančius iššūkius.

Fiziologinės sistemos nėra periodiniai osciliatoriai. Todėl, tyrinėjant fiziologinių sistemų savybes, svarbu įvertinti dinامينius jų pokyčius, nes ne vidurkiai, o nagrinėjamų rodiklių svyravimai laiko ir erdvės skalėse rodo esminius funkcinis ir struktūrinius pokyčius [16, 17]. Netiesiniai analizės metodai skiriasi nuo klasikinių, nes netiesiniai analizės metodai rodo ne tik kiekybinius parametro pokyčius, bet ir kitimo kokybę. Netiesinio metodo jautrumas, palyginti su tiesiniu metodu, gali rodyti didesnę kintamumą arba prisitaikymą prie aplinkos bei atskleisti paslėptą nematomą laiko eilutės informaciją [18]. Todėl tikslinga individuali tam tikrų parametrų laiko eilučių analizė, nagrinėjant biomedicinos arba sporto mokslo problemas. Tik didėjantis tyrimų skaičius, gausesnės įvairių situacijų vertinimo metodikos leis atrinkti tinkamiausius tyrimo ir duomenų analizės metodus, išmokti tinkamai vertinti gautus tyrimo rezultatus.

Mokslinis naujumas. Darbe buvo sprendžiama pirminės profilaktikos veiksmingumo didinimo problema – vertinta sveikatos stiprinimo pratybose taikomų fizinio krūvio atlikimo metodų įtaka vyrų širdies ir kraujagyslių sistemai:

- Įvertinta okliuzinės treniruotės metodo, didelio intensyvumo inter-
valinės treniruotės metodo ir diferencinio mokymo metodo grindžia-
mų fizinių krūvių tinkamumas lavinant ŠKS funkcinį gebėjimą.
- Parodyta, kad aerobinio krūvio pratybos, papildytos dviejų užduočių
metodu ar jose taikant diferencinio mokymo metodu grindžiamas
užduotis, stipriau paveikia ŠKS nei tradicinės aerobinio krūvio pra-
tybos.
- Nagrinėtos naujos algebrinio duomenų kointegracijos metodo anali-
zės galimybės, vertinant EKG arba reogramos rodiklių tarpusavio
dinamines sąsajas. Parodyta, kad šios sąsajos stiprėja atliekant fizi-
nius krūvius, tačiau atliekant sudėtingas koordinacines užduotis arba
kai krūvis didėja ir tampa neadekvatus šios dinaminės sąsajos silp-
nėja. Duomenų kointegracijos metodu įvertintos dinaminės sąsajos
tarp EKG rodiklių atspindi ŠKS funkcinės būklės kaitą sveikatos
stiprinimo pratybose ir šiuo metodu galima vertinti pratybų sukeltą
efekto stiprumą.

1. DARBO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

Tikslas – nauju algebriniu duomenų kointegracijos metodu nustatyti, ar padidės vyrų sveikatos stiprinimo pratybų poveikis ŠKS (pirminės profilaktikos efektyvumas), taikant okliuzines treniruotes, didelio intensyvumo intervalinės treniruotės metodus, ir kai aerobinio krūvio pratybos papildomos diferencinio mokymo metodu grindžiamomis užduotimis.

Uždaviniai

1. Nustatyti, ar EKG arba reografijos rodiklių sąsajų dinamikos analizė (Dsk kaita) yra galimas metodas, vertinantis nesportuojančių, sportuojančių asmenų ar didelio sportinio meistriškumo sportininkų pratybose taikomų fizinio krūvio užduočių sukeltą pratybų liekamąjį poveikį ŠKS.
2. Nustatyti sveikatą stiprinančių sportuojančių vyrų pratybose taikomo okliuzinės treniruotės metodo sukeltą poveikį ŠKS.
3. Nustatyti sveikatą stiprinančių sportuojančių vyrų pratybose taikomo didelio intensyvumo intervalinės treniruotės metodo įtaką ŠKS.
4. Nustatyti, ar padidės sveikatos stiprinimo pratybų sukeltas poveikis ŠKS, jei pratybos bus papildytos diferencinio mokymo metodu grindžiamomis užduotimis.

2. LITERATŪROS APŽVALGA

2.1. Sveikatos išsaugojimo ir stiprinimo fiziniais pratimais problema

Šiame darbe sprendžiama pirminės profilaktikos efektyvumo didinimo problema – ar galima padidinti sveikatos stiprinimo pratybų poveikį, taikant įvairius krūvio atlikimo metodus. Sveikatos saugojimas ir stiprinimas yra aktuali praktinė ir mokslinė problema, nes profilaktika yra žymiai efektyvesnė nei gydymui ar reabilitacijai skiriamos pastangos [3, 19, 20].

Pasaulio sveikatos organizacija (PSO) sveikatą apibrėžia kaip fizinės, dvasinės ir socialinės gerovės visumą, o ne tik ligos arba negalios nebuvimą. Gerėjančios žmogaus gyvenimo sąlygos, technologinė pažanga lemia tai, kad žmogus juda mažiau, o fizinio aktyvumo stoka neigiamai įtakoja darbingumą ir sveikatą. Daugelyje publikacijų parodyta, kad mažas fizinis aktyvumas siejamas su daugeliu sveikatos problemų: nutukimu, širdies kraujagyslių ligomis, diabeto, insulto, netgi tam tikrais vėžiniais susirgimais, sąnarių ligomis bei padidėjusiu mirtingumu [21–24].

Kaip skelbia PSO, neužkrečiamosios ligos, įskaitant ŠKS ligas, diabetą, insultą, lėtines plaučių ligas ir vėžį, lemia iki 70 procentų visų mirčių pasaulyje. Teigiama, kad didžiausi rizikos veiksniai šių ligų plitime yra fizinis neaktyvumas, tabako vartojimas, nesveika mityba ir alkoholio vartojimas.

Fizinio aktyvumo nauda sveikatai ir įvairių fizinio aktyvumo formų poveikis organizmui yra tyrinėjamas tiek Lietuvos, tiek daugelio šalių mokslininkų [3, 19, 25–28]. Socialiniai mokslai pabrėžia motyvacijos ir siūlomų fizinio aktyvumo formų įvairovės reikšmę, tame tarpe naujų fizinio aktyvumo formų diegimą [29]. Biomedicinos mokslų tyrinėjimų objektu dažniausiai yra įvairių fizinio aktyvumo formų arba siūlomų metodų įtaka organizmo funkcinėms sistemoms. Pabrėžiama, kad svarbu yra pažinti organizmo reakciją į taikomus fizinius krūvius, įvertinti jų įtaką atskiroms fiziologinėms organizmo sistemoms [25–27, 30].

Organizmo reakciją į fizinius krūvius lemia penki fizinio krūvio komponentai: krūvio intensyvumas; jo trukmė; poilsio intervalai; poilsio intervalų pobūdis; užduoties kartojimų skaičius. Šių fizinio krūvio komponentų variacijos, t. y. atlikimo metodas lemia kurios organizmo funkcinės sistemos bus stipriau paveikiamos ir vyks atitinkami adaptaciniai pokyčiai organizme [31]. Pavyzdžiui, intervalinės treniruotės metodas, kai pratybų metu sekantis krūvio kartojimas pradedamas vos tik ŠSD atsigavus iki 120 k./min., stipriai paveikia miokardą ir stebimas ilgalaikės adaptacijos poveikis yra miokardo hipertrofija, kai tuo tarpu ištisiniu metodu atliekamų krūvių adaptacinis poveikis yra širdies kamerų padidėjimas [32]. Pateiktas pavyzdys iliustruoja

fizinio krūvio atlikimo metodo specifiškumą ir paaiškina klasikinio intervalinio treniruotės metodo esmę. Šiuo metu siūloma įvairios intervalinio metodo modifikacijas taikyti sveikatos stiprinimo pratybose pabrėžiant, kad tokio tipo pratybose sukeliama adaptaciniai efektai yra panašūs į ilgos trukmės aerobinių pratybų, o pratybų trukmė sutrumpėja [33].

Laikoma, kad laiku skiriami ir tinkamo fizinio krūvio pratimai visuomet yra naudingi. Pirma, tai sumažina galimybę susirgti kuria nors liga, antra tai padeda įveikti ligą ar bent lėtinti ligos progresavimą. Sveikatos stiprinimas, ligų profilaktika, gydymas ir reabilitacija – tai keturi pagrindiniai medicinos uždaviniai, o fiziniai pratimai yra veiksminga priemonė, sprendžiant šiuos uždavinius.

Apibendrinant galima teigti, jog fizinis aktyvumas yra rekomenduotinas visuose žmogaus amžiaus tarpsniuose gyvenimo kokybei gerinti, t. y. ligų profilaktikai, sveikatos stiprinimui, senėjimo procesams lėtinti, bei gydymo ar reabilitacijos tikslais. Todėl svarbu yra pažinti organizmo reakciją į naujus, ar patobulintus, modifikuotus fizinio krūvio atlikimo metodus, įvertinti jų įtaką atskiroms fiziologinėms organizmo sistemoms, įvertinti ilgalaikės adaptacijos efektus.

2.2. Fizinio krūvio metodų taikymas stiprinant sveikatą ir jų mokslinis pagrindimas

Pagrindinė priemonė didinti raumenų pajėgumą, lavinti ŠKS funkcinės galimybės yra fizinis pratimas [20, 23, 34, 35]. Pratybose gali būti taikomi įvairūs fizinio krūvio atlikimo metodai: nepertraukiamo krūvio metodai; kartotiniai krūvio metodai; netradiciniai poveikio metodai, pvz. raumenų elektrostimuliavimas, siekiant nuvarginti arba pagreitinti atsigavimo procesus [36]. Ieškant naujų poveikio metodų buvo siūloma derinti okliuzinio poveikio ir fizinio krūvio derinius, kaip netradicinį fizinio darbingumo krūvio metodą [37, 38]. Pradžioje šis netradicinis treniravimo metodas buvo pradėtas taikyti profesionalių sportininkų treniruotėse [39], vėliau – sveikatos stiprinimo tikslais [40–44]. Taip pat kiti nauji fizinio krūvio atlikimo metodai buvo išstbulinti sportininkų treniruotėse ir vėliau bandoma – ar šių metodų taikymas nepadidintų sveikatą stiprinančių pratybų poveikio. Tarp tokių metodų galima paminėti intervalinės treniruotės metodą, šiuo metu vadinamą didelio intensyvumo intervalinės treniruotės (DIIT) metodu (angl. *HIIT – high intensity interval training*) [45–49]; dvigubos užduoties metodą [50]; diferencinio mokymo metodą (DM) [51, 52]. Diegiant šiuos metodus sveikatos stiprinančių asmenų pratybose aktualu žinoti jų sukeliamus poveikius.

2.2.1. Okliuzinės treniruotės metodas

Šis netradicinis fizinio krūvio atlikimo metodas, naudojant okliuziją, literatūroje žinomas, kaip „Kaatsu“ metodika. „Kaatsu“ treniruotės susijusios su daliniu kraujo tekėjimo apribojimu (okliuzija) mankštinant raumenis. Okliuzijos treniruotę sudaro mažo intensyvumo fizinio krūvio atlikimas kai apatinių ar viršutinių galūnių proksimalinėje dalyje uždedama okliuzinė manžetė, kurios pagalba pristabdoma kraujotaka [43, 53]. Okliuzinių treniruočių nereikėtų painioti su treniruotėmis išeminėmis sąlygomis [37, 54]. Ši treniruotė nesukelia raumenų išemijos, o skatina kraujo apytaką kapiliaruose, t. y. padidina funkcionuojančių kapiliarų kiekį [40].

Treniruočių „Kaatsu“ technika pradėta kurti 1967 m. Viskas prasidėjo, kai autorius buvo paguldytas į ligoninę dėl kojos tirpimo, atsiradusio taikant treniruočių „Kaatsu“ metodą. Jis nepaisė skausmo ir tęsė treniruotes. Atsiradus labai stipriam skausmui, jis vėl buvo paguldytas į ligoninę, diagnozuota plaučių embolija. Gydantis gydytojas įspėjo nedelsiant nutraukti okliuzijos treniruotes, galinčias pakenkti jo sveikatai. Pacientas kruopščiai atliko testus, kad jais nustatytų ir pasirinktų tinkamą spaudimą okliuzijos manžetėje, kuris nedarytų neigiamo poveikio sveikatai. Po daug bandymų jis sukaupe žinių apie tai, kaip sąveikauja okliuzijai pasirenkamas spaudimas ir raumenų veikla. Šie duomenys buvo prielaida sukurti dabartinę treniruočių „Kaatsu“ metodiką. Tyrėjas nustatė saugų ir veiksmingą tinkamo spaudimo taikymo metodą. Be to, jis sukūrė treniruočių „Kaatsu“ techniką ir nustatė optimalias okliuzinio slėgio, nekenkiančio sveikatai, ribas. Šį treniravimo metoda autorius kūrė ketverius metus [55].

Antrasis postūmis treniruočių „Kaatsu“ metodo tobulinimui prasidėjo 1973 m. Metodo autorius slidinėjimo metu susižeidė kulkšnis. Žinodamas, kad kojų laikymas gipse gali sukelti raumenų atrofiją, jis rizikavo ir toliau tęsė „Kaatsu“ techniką, ribodamas kraujo tėkmę. Kai kojoje buvo jaučiamas nemalonus jausmas, jis sumažindavo slėgį, o po trumpos pertraukėlės tęsdavo mankštinimąsi. Ši „slėgio ir slėgio mažinimo“ procedūra buvo kartojama 2 savaites. Kai koja tapo neįprastai patinusijis vėl turėjo apsilankyti pas gydytoją. Gydytojas konstatavo, kad nebuvo raumenų atrofijos, kojų raumenys buvo hipertrofuoti. Šis treniruočių metodas įgijo populiarumą tarp sportininkų ir pasirodė puiki priemonė pagerinti raumenų pajėgumą naudojant šį treniruočių metodą. Tyrimai buvo atlikti naudojant mažo intensyvumo pratimus su kraujo tėkmės ribojimu, siekiant skatinti augimo hormono sekreciją ir gauti raumenų hipertrofiją. Rezultatai buvo publikuoti prestižiniuose žurnaluose. 1994 m. pabaigoje autorius pateikė paraišką Japonijoje patentuoti šį metodą, o kitais metais pateikė paraiškas patentams gauti Anglijoje, Vokietijoje, Prancūzijoje ir JAV [55].

Po 2000-tųjų pradėta kurti įranga okliuzinės treniruotės metodo pratimams. Sukurtas naujas okliuzijos treniruoklis („KAATSU“ Master (tm)), atlikta daugybė tyrimų, o prietaisai naudojami sukelti okliuzijai, gerėjo, jie tapo maži bei kompaktiški. Kraujo tėkmės ribojimo metodas buvo pradėtas naudoti plaukikų [56], dviratininkų [57] ir kitų sporto šakų treniruotėse.

Pagrindinis šios netradicinės technikos principas, kad okliuzinėje manžetėje sukuriamas slėgis yra didesnis nei sistolinis kraujospūdis, o atliekamo krūvio intensyvumas yra 20–30 proc. nuo maksimalios valingo raumenų susitraukimo jėgos [58]. Pratimo atlikimo metu manžetės slėgis dalinai okliuduoja kraujotaką venose ir dėl to arterinė kraujotaka tampa turbulentiška [59]. Po tokio krūvio atlikimo pašalinus okliuziją padidėja kraujagyslių vazodilatacija, t. y. kraujotaka suintensyvėja [40, 60, 61]. Metabolinis stresas taip pat laikomas reikšmingu veiksniu siekiant reikšmingo jėgos padidėjimo [62, 63].

Laikoma, kad šis kraujo tėkmės ribojimo metodo ir fizinio krūvio derinys gali būti siūlomas ir kaip naujas terapinis būdas, nes jo metu parenkamas mažesnis pratimo intensyvumas nei taikant įprastas jėgos treniravimo priemones [40, 61, 64, 65]. Nors sukaupți įrodymai atskleidė, kad dėl kraujo tėkmės ribojimo treniruočių padidėja jėga, formuojasi raumenų hipertrofija, tačiau mažai darbų buvo skirta išsamiau įvertinti šio metodo įtakai ŠKS [61, 66].

Literatūroje galima rasti svarstymų apie tai, kokie veiksniai gali modifikuoti organizmo atsaką į šio šio metodo taikymą. Pažymėta, kad įtaką kraujagyslių funkcijai gali turėti įvairūs veiksniai, tokie kaip amžius, lytis, mankštos tipas, intensyvumas, manžetės spaudimas ir intervencijos laikotarpis [44, 61, 67]. Dalinis kraujotakos pristabdymas atliekant fizinį krūvį gali sukelti žymiai didesnius kraujospūdžio pokyčius, palyginti su tradiciniais pratimais [67]. Dėl stiprių kraujotakos dinamikos pokyčių apribojant kraujotaką svarbu yra ištirti ir suprasti periferinės ir centrinės kraujotakos ypatybes ir kaip šie pokyčiai gali turėti įtakos ŠKS [66–68]. Apibendrinant mokslines ir metodines publikacijas, galima konstatuoti, kad didžioji dalis kraujotaką ribojančių pratimų naudoja mažesnio intensyvumo, tai yra, 20–40 proc. nuo MVJ (maksimalios valingos jėgos) krūvio užduotis. Teigiama, kad kraujo tėkmės ribojimo metodas tampa nauju metodu, taikytinu tiek profesionalaus sporto atstovų, tiek sveikatą stiprinančių asmenų pratybose, reabilituojant sportininkus ar sprendžiant kitas reabilitacijos problemas [41, 42, 44, 69, 70].

2.2.2. Didelio intensyvumo intervalinė treniruotė (DIIT)

Gana nauja ir populiarinama fizinio aktyvumo forma yra didelio intensyvumo intervalinė treniruotė (DIIT). Literatūroje pabrėžiamas jos veiksmingumas ir tai, kad taikant šį metodą sutrumpėja laiko sąnaudos [46–48, 71, 72]. Šį treniravimosi metodą dažnai taiko ne tik sportininkai. Jis dažnai rekomenduojamas ir netreniruotiems asmenims ir netgi širdies sveikatos problemų turintiems asmenims kaip efektyvi tradicinių ištvermės pratimų alternatyva [73, 74]. DIIT apima trumpą didelio intensyvumo mankštos pratimą, kurį pertraukia atsigavimo intervalai. Dėl to pagerėja atsivoro ir nutukusių žmonių sveikatos rodikliai [75–77].

Tiriant sveikos populiacijos gyventojus buvo parengta daug publikacijų, kuriose pateikiami įrodymai, kad DIIT sukelia daug teigiamų širdies ir kraujagyslių sistemos bei metabolinių pasikeitimų, panašių į reguliariai atliekamus aerobinius pratimus [71, 78, 79].

Tyrimuose teigiama, kad dėl DIIT pagerėjo kardiometabolinę ligą turinčių suaugusiųjų sveikatos rodikliai [80–82]. Pateikiama tyrimų, įrodančių, kad DIIT sukelia įvairius ŠKS bei medžiagų apykaitos pasikeitimus, panašius ar net didesnius nei tie, kurie gaunami reguliariai atliekant reguliarius aerobinius pratimus [33, 83–85].

Pratybų metu įvairias DIIT formas galima taikyti keičiant kelis kintamuosius, tokius kaip krūvio intensyvumas, pratimų kartojimų kiekis, pratybų trukmė ir kt. [86, 87]. DIIT seansai trunka ne ilgiau kaip 20 minučių ir vyrauja nuomonė, kad tokios pratybos panašiai ar net efektyviau skatina ŠKS adaptaciją [46, 71] ir pagerina funkcionalumą, palyginti su vidutinio intensyvumo nepertraukiama mankšta [88, 89].

Apibendrinant būtina pažymėti, kad atlikta daug tyrimų, siekiant nustatyti DIIT metodo įtaką raumenų morfofunkcinėms ypatybėms, nedaug darbų vertinančių šio metodo įtaką ŠKS ir tik nedaugelis tyrėjų atkreipia dėmesį į galimą riziką kai sveikatos stiprinimo pratybose taikomas šis treniruotės metodas [90, 91].

2.2.3. Dvigubos užduoties metodas

Žmogaus darbinėje, buitinėje veikloje būna situacijų kai tuo pačiu metu reikia atlikti kelias užduotis. Sėdėdami žiūrime televizorių, dirbame kompiuteriu, skaitome knygą, vaikščiodami kalbame ar klausome muzikos, kalbame telefonu. Šioje paradigmoje, subjekto dėmesys erdvinio būdu nukreipiamas į sudėtingesnę, taip vadinamą, centrinę užduotį, o paprastesnė užduotis lieka kaip antrinis stimulus [50] Šias situacijas apibūdinti naudojamas „dvigubos užduoties“ terminas (angl. *Dual Tasks*).

Dvigubos užduotys skirstomos į dvi grupes: pirma, judėjimo (*motorinės*) dvigubos užduotys [52], kai tuo pačiu metu reikia atlikti dvi motorines užduotis; ir antra, kombinuotos, t. y. kai motorinės užduoties metu reikalaujama atlikti pažinimo užduotį [92]. Kaip teigia An et al. (2014), abiejų grupių dvigubos užduoties metodai buvo pradėti taikyti pacientams su neurologiniais pažeidimais, siekiant atgauti motorinius gebėjimus. Šio metodo tyrinėjimai buvo atlikti įvairių šalių mokslininkų [93, 94].

Šis metodas taikomas ir sportininkų rengime, pvz., siekiant lavinti gimnastų jutiminius gebėjimus [95], vertinant dėmesio sutelkimą, kalbos ir dėmesio ryšį [96]. Tačiau daugiausia šio pobūdžio studijų buvo atlikta vertinant dvigubos užduoties metodo taikymus reabilitacijos procese po įvairių ligų ar traumų. Taip pat, yra tyrimų, nagrinėjančių dvigubos užduoties poveikį laikysenai [97–99]. Pavyzdžiui, Nagamatsu su bendraautorais [98] atliktame tyrime, parodė skirtumus tarp asmenų patyrusių ir nepatyrusių griuvimus. Parodyta, kad žmonių, patyrusių griuvimą reakcijos laikas yra ilgesnis kai reikia paskirstyti dėmesį.

Organizmo reakcijose į fizinio krūvio užduotis dalyvauja daugelis funkcinų sistemų, todėl dvigubos užduoties įtaka neturi apsiriboti tik reguliacinių mechanizmų aktyvumo padidėjimu. Pavyzdžiui, vertinant nuovargio įtaką eisenai [100], buvo stebima, kad raumenų nuovargis vienos užduoties metu, sukelia reikšmingą ėjimo greičio ir žingsnio ilgio mažėjimą, kai tuo tarpu dvigubos užduoties atlikimas daro didelę įtaką reguliacinių mechanizmų aktyvumui, stebimas ėjimo greičio padidėjimas. Taigi, tikėtina, kad ne tik motorinė (*nervų-raumenų*) sistema, bet ir kitos organizmo funkcinės sistemos, tame tarpe ŠKS bus paveikta stipriau kai pratybose taikomas dvigubos užduoties metodas.

2.2.4. Diferencinio krūvio metodu grįsta treniruotė

Viena iš reikšmingų žmogaus judesių savybių yra variabilumas, t. y. kiekvienas judesio kartojimas atliekamas vis kitaip ir šiek tiek pasikeitusioje aplinkoje. Judesių dinamiškumas yra neišvengiama ir būtina sąlyga kaip judesių stabilumo garantas [101]. Žmogaus judesiai, ypač jeigu kalbame apie lokomocijas, yra integrali daugelio raumenų veiklos išraiška, taigi ši ypatybė buvo suvokta ir panaudota tobulinant judesių mokymo bei lavinimo metodus. *Diferencinis mokymas (DM) tai judesių kartojimo alternatyva*. Šio mokymo metodo pradininkas W. I. Schöllhornas, teigia, kad DM stengiamasi panaudoti judesio variacijas ir skatinti besimokantįjį kurti individualų, jam priimtina, jo individualiomis ypatybėmis grindžiamą judesių struktūrą. Taigi DM teikia pirmenybę individualioms judesio savybėms. Besimokantiems siūloma pratimų įvairovė, taigi padidinama galimų sprendimų erdvė kiekvienai

konkrečiai užduočiai atlikti. Tokiu būdu besimokantysis atranda individualius judesių mokymosi būdus, sukuria individualiai priimtinausią judesio atlikimo būdą [102]. Kaip teigia T. Frank, [103] pagrindinis DM uždavinys padėti asmeniui rasti individualius, nuo užduoties ir aplinkos, t. y. nuo konteksto priklausančius atlikimo modelius siekiant kuo geriau atlikti užduotį.

DM metodas buvo tobulinamas remiantis kitų mokslų, ypač neurofiziologijos bei dinaminių sistemų teorijos pasiekimais. DM panaudoja žmogaus judesių variacijas, kad tuo skatintų saviorganizacijos procesą. Variacijos leidžia susirasti (sukurti) individualų judesių modelį. Treniruojant sportininkus DM pagalba stengiamasi atlikti skirtingas užduotis ir siekiama paruošti sportininką greičiau prisitaikyti prie naujų situacijų per trumpesnę laiką [104, 105].

Šis metodas inicijuoja savarankiškumą mokymosi procese. Tokiu būdu nesiekama kartoti realų būsimą judesių struktūrą, judesys ar užduotis neturi būti dar kartą ar daug kartų kartojamas jo idealioje formoje [51, 52]. Tyrimai parodė, kad DM labiau nei tradiciniai mokymo ir lavinimo metodai pagerina specialųjį darbingumą [104, 105]. Šio metodo kūrėjo W. Schollhorno buvo paskelbta publikacijų, kuriose buvo apibendrinta kiti tyrinėjimai ir toliau tobulinamas pasiūlytas metodas [106, 107]. DM teorinė analizė rodo, kad neurobiologinės sistemos variabilumas yra efektyvus tiek sprendžiant judesių mokymo, tiek fizinių gebėjimų tobulinimo problemas, o taip pat padidina taikomą fizinio aktyvumo poveikį sveikatai.

Apibendrinant galima konstatuoti, kad tolesni DM metodo poveikio tyrinėjimai atskleidė reikšmingą jo privalumą, t. y. kad toks fizinių krūvių atlikimo metodas reikalauja mažiau energijos, kad būtų pasiektas naujas raiškos lygmuo, saviorganizacijos ir sinchronizacijos procesai lemia, kad sistema kuria naują judesių atlikimo strategiją, kuri paprastai lemia veiksmingesnių ar stabilesnių judėjimo modelių atsiradimą [108].

2.3. Širdies ir kraujagyslių sistemos (ŠKS) funkcijos ypatybės, jų vertinimai fizinio krūvio ir atsigavimo metu

2.3.1. ŠKS funkcija atliekant fizinius krūvius

Sveikatai reikšmingų fizinių ypatybių tarpe išstvermei skiriama reikšmingiausias vaidmuo. Angliakalbėje literatūroje dažniausiai vartojamas terminas kardiorespiratorinė išstvermė (*cardio-respiratory endurance*) arba širdies ir kraujagyslių sistemos išstvermė (*cardiovascular endurance*). Siekiama pabrėžti ŠKS vaidmenį ir reikšmingumą žmogaus sveikatai. ŠKS yra viena svarbiausių aprūpinimo sistemų, o pagrindinė jos funkcija – deguonies, ir energetinių medžiagų tiekimas [109, 110]. ŠKS funkcinės galimybės dažnai

tampa limituojančiu veiksniu, ribojančiu organizmo adaptacijos galimybes, todėl ŠKS funkcijos ypatybių, atliekant įvairaus pobūdžio fizinius krūvius, bei ilgalaikės adaptacijos ypatybių pažinimas yra aktuali mokslinė ir praktikos problema.

Širdis, kūno kraujotakos sistema ir jos reguliacija sudaro pagrindinius funkcionuojančius elementus. Tai sudėtinga kompleksinė sistema veikianti kaip bendra visuma. Ši visuma suformuoja autonominių sistemos reguliavimą. Tačiau šį reguliavimą kontroliuoja nervų sistema, priklausomai nuo kitų organų, audinių, kūno funkcinių sistemų poreikių [111]. Nuo ŠKS funkcinės būklės, kuri glaudžiai funkcionuoja kartu su kvėpavimo sistema ir bendra organizmo medžiagų apykaita, ypač dirbančiuose raumenyse (*dujų apykaita audiniuose*), priklauso ir kūno raumenyno funkcinė būklė. Taip pat ŠKS kartu su kitomis sistemomis ir organais palaiko homeostazę. ŠKS jautriai reaguoja į vidinius organizmo bei į išorinius aplinkos sąlygų pakitimus [112, 113].

Pagrindinis širdies funkcinės galimybės nusakantis rodiklis yra minutinis kraujo tūris. Minutinis kraujo tūris tai kraujo kiekis, kurį širdis išstumia į kraujo apytaką per minutę. Minutinis kraujo tūris lemia raumenyno ir visų kitų audinių aprūpinimą krauju ir su tuo susijusį maisto medžiagų, deguonies tiekimą, CO₂ pašalinimą iš jų. Minutinis kraujo tūris yra integralus ŠSD ir sistolinio kraujo tūrio rodiklis. Ramybės sąlygomis minutinio kraujo tūrio vertė priklauso nuo žmogaus amžiaus, lyties, kūno masės, kūno padėties, aplinkos sąlygų ir net nuo individo emocinės būklės [114, 115].

Kai kuriuose tyrimuose minutinis kraujo tūris išreiškiamas vadinamuoju širdies indeksu, išreiškiančiu minutinio kraujo tūrio santykį su kūno paviršiaus plotu. Sveikų, netreniruotų asmenų raumenų ramybės metu minutinis kraujo tūris, kūnui esant horizontalioje padėtyje, yra apie 3–6 l/min., o vertikalioje – 3–5 l/min. Netreniruotų žmonių minutinis kraujo tūris sunkaus intensyvaus fizinio darbo metu padidėja iki 15–20 l/min. Fizinio darbo metu minutinis kraujo tūris pamažu didėja, o baigus darbą – mažėja ir tas mažėjimo greitis priklauso nuo fizinio krūvio dydžio bei pobūdžio [116]. Gera treniruotų sportininkų ir turinčių gana didelę širdį tokiomis pačiomis sąlygomis minutinis kraujo tūris padidėja daugiau nei nesportuojančių asmenų iki 25–30 l/min.

Medžiagų ir energijos apykaitos procesai tiek buitinės darbinės veiklos metu, tiek atliekant fizinius pratimus priklauso nuo deguonies tiekimo, todėl deguonies desaturacijos ypatybių tyrimai yra dažniau nei tiesioginiai medžiagų ir energijos apykaitos vertinimai naudojami siekiant vertinti sportininkų darbingumo ypatybes. Skirtingu deguonies desaturacijos greičiu bandoma paaiškinti skirtingus atletų fizinius gebėjimus, taip pat organizmo toleranciją įvairaus pobūdžio fiziniams krūviams [117–120]. Fiziniams krūviams

adaptuoti asmenys pasižymi greitesne deguonies vartojimo kinetika nei nesportuojantys asmenys.

ŠKS reguliavimo mechanizmai ir jų santykinis aktyvumas fizinio krūvio metu priklauso nuo daugelio veiksnių [121–124]. Hemodinamikos pokyčiai fizinio krūvio pradžioje, įskaitant ŠSD bei AKS didėjimą, liudija apie arterinio baroreflekso mechanizmo veikimą [125–127]. Žinoma, kad autonominės nervų sistemos atsakas į fizinį krūvį yra greitas, t. y. ŠSD pradeda didėti jau pirmosiomis sekundėmis vos tik pradėjus krūvį. Tas pirminis ŠSD didėjimas vyksta dėl *n. vagus* įtakos sumažėjimo [109, 128]. ŠSD didėjimas yra proporcingas krūvio intensyvumui [129]. Esant dideliame fizinio krūvio intensyvumui, ŠSD didėja dėl simpatinės įtakos didėjimo [130], bet svarbią reikšmę ŠSD kaitai taip pat turi ir hormoniniai mechanizmai [131].

Fizinio krūvio metu reikšmingiausi yra greitieji reguliuojamieji mechanizmai, t. y. simpatiniais nervais valdomos vazodiliacinės–vazokonstrikinės kraujagyslių reakcijos, baroreceptoriniai, chemoreceptoriniai, bei CNS išemijos refleksai. Išskirtinai reikšminga šių refleksų ypatybė yra labai greita (*per kelias sekundes*) reakcija į audinių ir organų deguonies ir energijos poreikius. Ši nervinė reguliacija yra papildoma ir moduluojama hormoninė reguliacijos, būtent adrenalino, noradrenalino ir vazopresino poreikiais [132]. Kurie ŠKS reguliavimo mechanizmai yra vyraujantys ir jų sąveika galima svarstyti ir vertinti tik tuomet kai tiksliai žinomi ir pamatuojami fizinio krūvio komponentai. Visumoje daugelis autorių daro apibendrinančius pastebėjimus, kad kraujotakos perskirstymo mechanizmai reguliuoja kraujo srovės tekėjimą ir jos perskirstymą taip, kad kad daugiausia kraujo tekėtų į dirbančius raumenis [133–135].

Nagrinėjamos problemos sudėtingumas buvo pabrėžiamas daugelio tyrėjų. Kraujotakos intensyvėjimas dirbančiuose raumenyse vyksta tikslu aprūpinti raumenis, tačiau, deguonies tiekimas raumenims yra permainingas tam tikrose kontroliuojamose grįžtamojo ryšio ribose labiausiai veikiamas audinių metabolinės būklės nuo ko priklauso ir oksidacinio metabolizmo greitis [117, 136].

Renino-angiotenzino sistemos vaidmuo ŠKS reakcijose į fizinius krūvius

Vienas iš molekulinų mechanizmų, reguliuojančių ŠKS funkcijos tiek greitosios adaptacijos fiziniams krūviams ypatybes, o tuo pačiu įtakojančių ilgalaikės adaptacijos ypatybes yra renino-angiotenzino sistema, o angiotenziną konvertuojančio fermento (AKF) genas – šios sistemos dalis. Šio geno koduojamas baltymas yra svarbiausias kraujo apytakos reguliacinės sistemos, t. y. renino-angiotenzino sistemos komponentas. Laikoma, kad dėl

šio geno 16 introne įvykusios mutacijos susidarė du aleliniai variantai: 287 bp Alu sekos neturintis alelis (D – angl. „*diletion*“) ir šį DNR fragmentą turintis alelis (I – angl. „*insertion*“), taigi galimi trys genotipai: DD, II arba I/D [137]. I alelį turinčių žmonių organizmas pasižymi geresnėmis aerobinėmis galiomis, greičiau adaptuojasi prie ištvermės reikalaujančių fizinių krūvių [138]. Tuo tarpu D alelis buvo susietas su greitesniu raumenų masės augimu, o tai ypač svarbu greitumo – jėgos reikalaujančioms sporto šakoms [139].

AKF I/D polimorfizmas jau daugelį metų buvo intensyviai tyrinėjamas medicininėje genetikoje. Kraujotakos ypatumus fizinio krūvio metu lemiantis mechanizmas paaiškinamas tuo, kad AKF hidrolizuodamas angiotenziną I į angiotenziną II, sukelia kraujagyslių spindžio mažėjimą (*vazokonstrikciją*), tuo įtakodamas reikšmingesnį kraujo spaudimo padidėjimą, ir atitinkamai miokardo apkrovą [137, 140, 141], o ilgalaikėje adaptacijoje – išreikštą miokardo hipertrofiją [137, 142].

Ištyrus AKF geno I/D polimorfizmą sveikų, intensyviai sportuojančių žmonių tarpe bei išnagrinėjus jų organizmo funkcinius ir morfologinius ypatumus nustatyta šio geno polimorfizmo sąsaja su skirtinga ilgalaikė adaptacija greitumo arba ištvermės fiziniams krūviams. Parodyta, kad I alelį turinčių asmenų organizmas pasižymi geresnėmis aerobinėmis galiomis ir greičiau adaptuojasi prie ištvermės reikalaujančių fizinių krūvių, o D alelis siejamas su geresniu darbingumu atliekant ištvermės pobūdžio krūvius [143–145] AKF I/D polimorfizmas [139, 143] glaudžiai siejamas su ŠKS adaptacija fiziniams krūviams.

Atsižvelgiant į šiuos tyrinėjimus, laikoma, kad vertinant ŠKS funkcinių rodiklių ypatybes fizinių krūvių metu svarbu yra atsižvelgti į tiriamojo genetines, ar bent adaptacijos fiziniams krūviams ypatybes. Dažniausiai randami tyrimai, kuriuose lyginamos greitumo ir ištvermės fiziniams krūviams adaptuotų asmenų ŠKS funkcijos ypatybės. Apibendrinat, manome, kad tikslinga būtų tyrimu atsakyti į klausimą, ar mūsų vertinamų sąsajų kaita tarp esminių širdies funkcinių rodiklių (*sistolinio kraujo tūrio ir minutinio kraujo tūrio*), atliekant didėjančią fizinį krūvį iki negalėjimo turi tokias pačias kaitos ypatybes, t. y. ar individo adaptacija greitumo arba ištvermės pobūdžio fiziniams krūviams nepakeičia sąsajos kaitos pobūdžio.

2.3.2. EKG rodiklių kaita fizinio krūvio ir atsigavimo metu

Siekiant tinkamai vertinti tiriamojo funkcinę būklę ar sveikatą stipri-
nančių poveikių efektą, svarbu žinoti EKG rodiklių fiziologinę prasmę, kaitos
ypatybes. Daugelyje tyrimų, kuriuose pasinaudojant užregistruotu EKG
signalu buvo vertinama sportuojančiojo funkcinė būklė ir taikomų fizinių
krūvių įtaka ŠKS, galima išskirti šiuos EKG rodiklius aptariamus žemiau.

Širdies susitraukimų dažnis (ŠSD)

ŠSD matavimas yra patogus ir paprastas būdas nusakyti reakcijos į
fizinius krūvius ypatybes. Jeigu tyrimo metu registruojama EKG, tai ŠSD
kaitą atspindi RR intervalo kaita ($\text{ŠSD} = 60/\text{RR}$). Čia vadovaujamasi prie-
laida, kad t. t. ribose ŠSD didėjimas ir metabolinių procesų intensyvėjimas
turi tiesinę priklausomybę ir šių rodiklių didėjimai eina greta vienas kito.
Mokslinėse publikacijose galima surasti daug tyrimų, kuriose tyrinėtas šis
ryšys [146, 147].

Žinomas dėsningumas, kad fizinio krūvio pradžioje, didėjant krūviui
ŠSD didėja tiesiog proporcingai fizinio krūvio didėjimui [148]. Didinant
fizinio krūvio intensyvumą, ŠSD didėjimas sulėtėja arba didėja labai mažai
kol pasiekia maksimumą [149]. ŠSD didėjimą fizinio krūvio pradžioje
sąlygoja parasimpatinio tonuso sumažėjimas. Tuo tarpu, simpatinis tonusas
didėja ir ima vyrauti kai krūvis tampa sunkus (*maksimalių pastangų metu*)
[150–152]. Maksimalus ŠSD krūvio metu yra unikalus kiekvienam asmeniui
ir priklauso nuo daugelio veiksnių, tai amžiaus, lyties, krūvio pobūdžio,
asmens treniruotumo. Rekomenduojama individualias maksimalaus ŠSD
vertes apskaičiuoti pagal formulę: $220 - \text{amžius}$ [153], tačiau yra nuomonių,
kad ši lygtis nėra tiksli ir pagrįsta moksliniais tyrimais. Laikoma, kad visi
siūlymai kaip apskaičiuoti maksimalias ŠSD vertes yra tik orientaciniai; jie
nėra tikslūs (angl. „*be very difficult, perhaps even impossible, to predict with
a low HRmax from age*“) [154, 155].

Vertinant ŠKS funkcinę būklę dažnai naudojamas ŠSD rodiklis. Šiuose
vertinimuose svarbu yra atminti, kad ŠSD veikia ir gali modifikuoti daugelis
veiksnių. Su amžiumi maksimalus ŠSD linkęs mažėti [156]. ŠSD didesnis
vertikalioje nei horizontalioje kūno padėtyje [157], jis taip pat gali kisti
priklausomai nuo lyties, kraujo tūrio, aplinkos sąlygų. Individualus ŠSD
rodikliai priklauso nuo reguliacinių sistemų veiklos, t. y. nuo simpatinės ir
parasimpatinės nervų sistemos aktyvumo ir nuo hormoninių reguliacinių
sistemų veiklos [158–160]. ŠSD plačiai naudojamas netiesioginiu būdu
nustatant funkcinį individo pajėgumą. Pavyzdžiui, atliekant Harwardo testą
aerobinio darbingumo indeksas nustatomas remiantis pratimo atlikimo trukme
ir atsigavimo metu matuojamo ŠSD vertėmis [161]. ŠSD vertės naudoja-

mos taikant Ruffjė-Diksono indeksą aerobiniam darbingumui vertinti. Kitas plačiai taikomas testas yra fizinio darbingumo vertinimo testas, kai ŠSD yra 170 k./min. – PWC₁₇₀ [162]. ŠSD didėja pradėjus pratimą jau nuo kito širdies tvinksnio. Bet šio mechanizmo veikimas yra ribotas (ŠSD gali padidėti iki 100 tv./min), o tolimesnį ŠSD didėjimą lemia simpatinės aktyvacijos didėjimas, metaboliniai pokyčiai [117].

JT intervalas – intervalas nuo jungties taško J iki T bangos. Nurodoma, kad šis intervalas atitinka skilvelių repoliarizacijos trukmę [163, 164]. Taip pat nurodoma, kad JT intervalas gali būti naudojamas kaip skilvelių repoliarizacijos trukmės rodiklis [165, 166]. Kai kurie autoriai teigia, kad JT intervalo kaita yra susijusi ir todėl atspindi metabolizmo kaitos miokarde ypatybes [167, 168]. Pažymima, kad organizme vykstantys metaboliniai pokyčiai yra glaudžiai susiję su repoliarizacijos pokyčiais [169], todėl EKG derivacijos, kuriose registruojamas JT intervalas yra trumpesnis, rodo, kad atitinkamose miokardo zonose repoliarizacija įvyksta anksčiau, ir metaboliniai pokyčiai yra spartesni. Didžiausias JT intervalo sutrumpėjimas yra registruojamas fizinio krūvio pabaigoje, pvz., tyrimuose taikant didėjančio krūvio protokolą iki negalėjimo tęsti užduotį [170–172]. Nutraukus fizinį krūvį JT intervalas ilgėja ir atsigauna iki pradinių verčių.

ST segmento depresija. Tai suminis efektas kintant širdies miocitų veikimo potencialų plato fazės amplitudei (klasikinė fiziologija). Kaip žinoma ši amplitudė priklauso nuo hemodinamikos širdyje efektyvumo ir energetinių resursų esančių kraujyje (deguonies, glikogeno ir kitų). Akivaizdu, kad daug organizmo sistemų gali sąlygoti šių resursų pokyčius – kraujagyslių susiaurėjimas, įvairios skrandžio bei kepenų, inkstų ligos. Mūsų atveju, tiriant sveikus asmenis, šios patologijos buvo atmestos iš pradžių, tačiau netgi ir esant nedidelio laipsnio, kliniškai nepasireiškiančiai patologijai, analizavome ST intervalo amplitudės pokytį, t. y. paneigiamąją krūvio metu lyginant su pradine būkle, kas nurodė tik krūvio sukeltą depresiją.

Degunies poreikis miokarde turi būti patenkinamas esant bet kuriam metabolizmo lygiui [173]. Laikoma, kad pakitus metabolinių procesų pusiausvyrai, kinta ir elektriniai miocitų potencialai ir EKG registruojami pokyčiai. ST segmento depresija atliekant fizinius krūvius vertinama kaip funkcinį išeminių reiškinių atsiradimas krūvio metu [174–176]. Pavyzdžiui, ištvermės krūvių metu, nesportuojančių žmonių grupėje, stebimi žymūs funkciniai išeminiai reiškiniai miokarde, o sportuojančiųjų greitojo jėgos rungtyse – tik nedidelio laipsnio, o ištvermę lavinančių žmonių grupėje registruojama EKG nerodo jokių funkcinį išeminių reiškinių [174, 175, 177].

Dėl fizinio krūvio suintensyvėjusi daugelio funkcinų sistemų veikla išlieka ir kurį laiką po krūvio, grįžimas iki ramybės būklės yra palaipsnis. Procesai vykstantys po krūvio yra vadinami atsigavimu [178]. Laikoma, kad

fizinio krūvio metu vyrauja kataboliniai procesai, o atsigavimo metu suintensyvėja anaboliniai [31, 179]. Jais sukuriamas pagrindas organizmo darbinumui didinti.

ŠSD atsigavimas po intensyvaus fizinio krūvio skiriamas į dvi fazes: greito eksponentinio mažėjimo ir lėto mažėjimo iki pradinio ŠSD [178, 180]. Po krūvio atsigauja ne tik ŠKS funkciniai rodikliai, bet ir daugelis kitų rodiklių, todėl atsigavimo procesui būdinga šie dėsningumai: 1 – aerobinis atsigavimo pobūdis; 2 – nevienalaikiškumas; 3 – faziškumas; 4 – netolygumas; 5 – atsigavimo greičio priklausomumas nuo atlikto fizinio krūvio intensyvumo ir apimties. Atsigavimo procesai vyksta atliekant kintamo intensyvumo fizinius krūvius [181]. Sporto medicinos vadovėliuose aprašomi atsigavimo tipai: tolygus, šuoliuojantis, laiptinis. Tai liudija, kad yra atvejų, kai atsigavimas nėra eksponentinio pobūdžio. Matyt, nuokrypius nuo eksponentinio pobūdžio lemia rodiklio kompleksiskumas, t. y. jį reguliuojančių mechanizmų gausa ir jų tarpusavio kompleksiskumo sumažėjimas. Būtent kompleksiskumo aspektams vertinti pastaruoju metu gan plačiai taikomi įvairūs metodai: kitimo stabilumui – koreliacijos [163], proceso šuoliškumui – Liapunovo eksponentė [182] mechanizmų gausai – fraktalinės dimensijos [183, 184].

Kadangi sunku tiksliai nustatyti, kada rodiklis grįžta iki pradinių verčių, todėl atsigavimo procesui nusakyti fiziologijoje yra taikoma, t. y. skaičiuojamas (*vertinamas*) rodiklio atsigavimo pusperiodis ($1/2T$). Tai laikas, per kurį rodiklis atsistato iki pusės įvykusio pokyčio [179]. Kai kuriuose darbuose yra taikomas atsigavimo dydžio rodiklis, apskaičiuojamas pagal anglų mokslininkų [185] pasiūlytą formulę. Tai rodiklio kaitos įvertinimas pagal pradinius (prieš tyrimą), krūvio metu ir pasirinktas atsigavimo momentu užrašytas vertės. Šis rodiklis tai procentais išreikštas dydis rodantis kiek procentų vertinamas rodiklis jau atsigavo per pasirinktą laiką. A. Buliuolio disertaciniame darbe buvo parodyta, kad tiek atsigavimo pusperiodis, atsigavimo dydžio rodiklis yra lygiaverčiai informatyvumo prasme, ir tik tyrėjo galimybės naudotis atitinkama kompiuterine programine įranga, renkant tyrimų duomenis, turi lemti, kuris iš rodiklių naudotinas [179].

EKG rodiklių sąsajų vertinimai

Holistiniai modeliai suvokia organizmą kaip sudėtingą kompleksinę sistemą, pabrėždami, kad netiesiniai chaotiški procesai vaidina svarbų vaidmenį skirtingų sistemų, posistemų, organų, ar reguliavimo mechanizmų sąveikoje kas atsispindi registruojamų rodiklių kaitoje [186]. Todėl, vertinant EKG įvairių poveikių metu svarbu ne tik EKG rodiklių vertės (dydžiai) ar jų kitimas, bet ir jų tarpusavio santykiai. Pagal EKG parametrų santykį bandoma nusakyti, koks atsakas formuojasi organizme įvairiose situacijose [186]. EKG

parametrų tarpusavio sąsajos gali būti analizuojamos atsižvelgiant į atitinkamus organizmo sudėtingumo lygmenis ar atitinkamo lygmens reguliacinius procesus, pvz., sisteminių lygmenį, organo, ar vidinius širdies medžiagų apykaitos procesus [187]. Organizmo metabolizmo ir reguliacinių sistemų lygmenų sąsajos kaitą galima nusakyti pagal EKG RR ir JT intervalų sąsajos kitimus [186,188], sąsajos stiprėjimą ar silpnėjimą tarp skirtingų fraktalinių lygių galima nusakyti vertinant RR/QRS sąsajos kitimus [189, 190]. Vertinant JT/QRS sąsajos kaitą galima nusakyti ryšio tarp širdies metabolizmo ir reguliacinių procesų stiprumo kaitą subsisteminių, t. y. organo lygmenyje. Toks vertinimas siūlomas atsižvelgiant į šių parametrų fiziologinę prasmę [190, 191]. Lietuvos mokslininkų pasiūlytas algebrinis duomenų kointegracijos metodas [167, 187, 192] leidžia vertinti šias sąsajas. Kompiuterizuotoje EKG registravimo ir analizės įrangoje „Kaunas – krūvis“ adaptuotas analizinis matricų analizės algoritmas šioms dinaminėms sąsajoms vertinti, kointegruojant pasirinktų rodiklių duomenis į matricas kiekvieno kardiociklo metu [192]. Sąsajai tarp dviejų signalų apskaičiuoti panaudojami vieno žingsnio praeities, dabarties ir ateities atskaitymai, t. y. trijų kardiociklų vertės. Toks ne tik atskirų rodiklių kaitos, bet ir jų tarpusavio sąsajų stiprumo vertinimas gali teikti daugiau išsamios informacijos apie organizmo veiklos, adaptacijos į įvairius poveikius ar nuovargio pasireiškimo ypatybes [192]. Kaip pažymi tiek šio metodo kūrėjai ir tyrėjai pirmieji pradėję taikyti šį duomenų analizės metodą [116, 187, 190, 193, 194], tiek pastaraisiais metais atliktų studijų autoriai [189, 191, 192], pasirinktų EKG rodiklių tarpusavio sąsajų analizė leidžia tyrinėti adaptacijos ir nuovargio pasireiškimo mechanizmus, gauti duomenys atskleidžia naują, svarbią informaciją, kurios negalima gauti analizuojant atskirus EKG rodiklius [167, 189, 192].

Apibendrinant literatūros apžvalgos skyrelyje pateiktus faktus, galima teigti, kad elektrokardiografija yra metodas taikomas sportuojančių asmenų tyrimuose, o EKG rodiklių vertinimo metodai tobulėja, siūlomi nauji analizės ir vizualizacijos metodai [191] ir tai teikia galimybę jautriau registruoti ŠKS pasikeitimus, nauju žvilgsniu vertinti vykstančių procesų esmę.

3. TYRIMO METODIKA

Tyrimai atlikti LSMU MA SF Sporto medicinos klinikoje ir LSU Kineziologijos laboratorijoje 2017-04–2019-02. Tyrimams atlikti gautas Kauno regioninio biomedicininio tyrimų etikos komiteto leidimas (Nr. BE-2-10). Tyrimų duomenys buvo nuasmeninami ir visi vertinimai buvo atlikti laikantis gauto Valstybinės duomenų apsaugos inspekcijos leidimo (Nr. 2R-2384(2.6-1)) reikalavimų.

Tiriamųjų imtis – 192 vyrai. Visi sveiki vyrai, turintys gydytojo leidimą sportuoti. Tiriamųjų charakteristikos pateiktos 3.1.1 lentelėje.

3.1. Tyrimų organizavimas ir tyrimo protokolai

Pagal darbo uždavinius tiriami vyrai buvo atrenkami iš skirtingų populiacijų: nesportuojantys, sportuojantys, didelio meistriškumo sportininkai (3.1.2 lentelė). Taikyta *tikslinė patogioji atranka*. Didelio sportinio meistriškumo sportininkų populiacijai buvo taikyta *ištisinė atranka*.

Tyrimuose išskyrėmė tris populiacijas:

- *Nesportuojantys vyrai* – reguliariai nesimankštinantys, nelankantys sporto pratybų klubuose.
- *Sportuojantys vyrai* – savarankiškai arba sporto klubuose sveikatos stiprinimo tikslais reguliariai (*ne rečiau kaip 2 kartus per savaitę*) besimankštinantys vyrai.
- *Didelio sportinio meistriškumo sportininka* – asmenys, kurie reguliariai treniruojasi pasirinktoje sporto šakoje, siekdami sportinių rezultatų, dalyvauja Lietuvos čempionatuose ir tarptautinėse sporto varžybose.

Neįtraukimo kriterijai:

- moterys;
- vyrai, sergantys širdies ir kraujagyslių ligomis;
- vyrai, kurių amžius < 20 m., vyrai, kurių amžius > 35 m.

Iš sportuojančių ir nesportuojančių vyrų populiacijos buvo pasirinkti LSMU bendruomenės vyrai, atitinkantys pirmosios brandos amžiaus grupę: 20–35 metų vyrai. Pasirinkome šias tiriamųjų populiacijas, nes siekiant įvertinti ŠKS funkcinės būklės kaitą sveikatos stiprinimo pratybose, taikant skirtingus fizinio krūvio atlikimo metodus bei vertinant pratybose sukeltą poveikio stiprumą tikslinga tirti įvairaus fizinio parengtumo asmenis.

Iš didelio sportinio meistriškumo sportininkų populiacijos pasirinkome lengvaatlečius ir tinklininkus (*detali informacija 3.1.1 ir 3.2.2 tyrimų skyriuose*).

Tiriamuosius kvietėme dalyvauti tyrime – išsiuntėme kvietimus el. paštu, įdėjome kvietimą internete ir skelbimų lentoje, Lietuvos olimpinio sporto centre, sporto klube, Universitete.

Tyrimo imtis pasikliautinis lygmuo 95 proc., o imties paklaida 10 proc.) nustatyta remiantis Panioto formule:

$$n = \frac{1}{\Delta^2 + \frac{1}{N}}$$

kur:

n – imties dydis;

Δ – imties paklaidos dydis

N – populiacijos dydis.

3.1.1 lentelė. Tiriamųjų charakteristikos pagal pogrupius

Eil. Nr.	Tiriamieji	Ištirta asmenų, n	Amžius, metais (vidurkis ± SD)	KMI (vidurkis ± SD)
1	Nesportuojantys vyrai	84	24,6 ± 2,1	24,2 ± 0,9
2	Sportuojantys vyrai	75	23,6 ± 1,6	22,2 ± 0,6
3	Didelio sportinio meistriškumo sportininkai	33	22,3 ± 2,3	23,6 ± 0,6

3.1.2 lentelė. Tiriamųjų skirstinys pagal darbo uždavinius

	Tiriamieji	Imtis, n	Bendrasis tiriamųjų skaičius
I uždavinys	Nesportuojantys vyrai	27	78
	Sportuojantys vyrai	27	
	Didelio sportinio meistriškumo sportininkai	24	
II uždavinys	Sportuojantys vyrai	24	24
III uždavinys	Sportuojantys vyrai	16	16
IV uždavinys	Nesportuojantys vyrai	57	74
	Sportuojantys vyrai	8	
	Didelio sportinio meistriškumo sportininkai	9	

3.1.1. Pirmojo uždavinio tyrimų organizavimas ir imtis

Pirmojo uždavinio tyrime dalyvavo ir atrankos kriterijus atitiko 80 tiriamųjų. Dviem tiriamiesiems užrašytos EKG buvo nekokybiškos, todėl nebuvo analizuojamos. Tyrimus pradėjo 78 vyrai, suskirstyti į nesportuojančių vyrų ($n = 27$), sportuojančių vyrų ($n = 27$) ir didelio sportinio meistriškumo sportininkų ($n = 24$) pogrupius. Taikytų tyrimų metodai ir registruojami rodikliai pateikti 3.1.1.1 lentelėje. Tyrimo organizavimo schema pateikta 3.1.1.1 pav.

3.1.1.1 lentelė. I uždavinio tyrimų metodai ir registruojami rodikliai

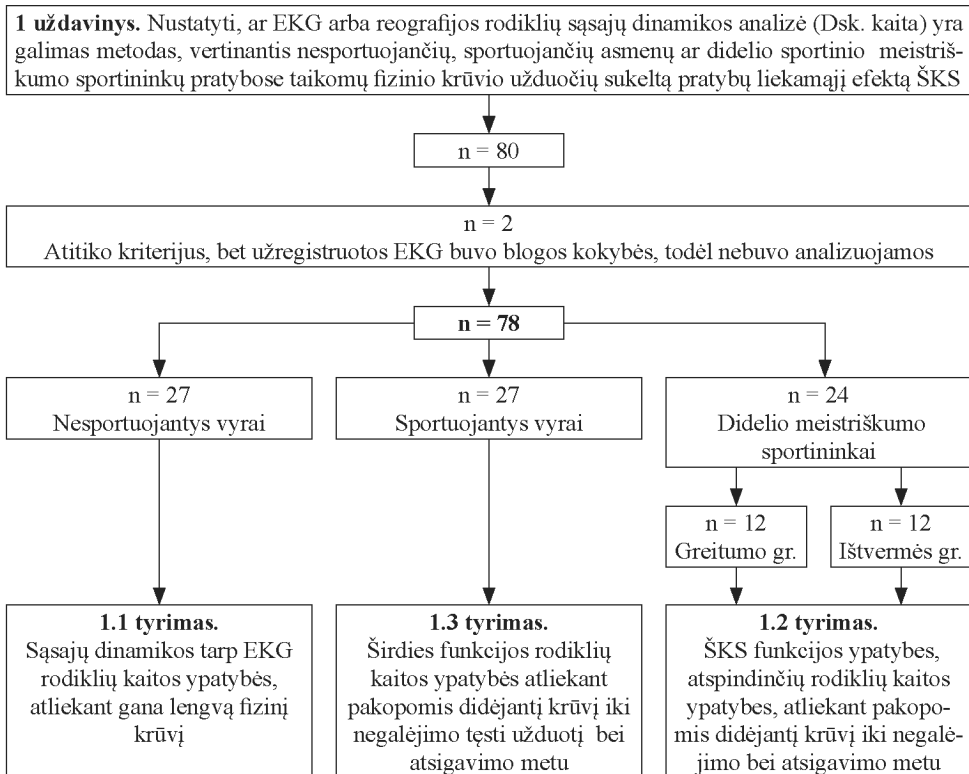
Tyrimo pavadinimas	Tyrimo metodai	Registruojami rodikliai
1.1. Sąsajų dinamikos tarp EKG rodiklių kaitos ypatybės, atliekant gana lengvą fizinį krūvį (<i>nesportuojantys vyrai, $n = 27$</i>)	Elektrokardiografija	EKG rodikliai: ŠSD; dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT)
	Veloergometrija	Pasiekiamas galingumas [W]
	AKS kaitos užrašymas	Sistolinis, diastolinis
1.2. Širdies funkcijos rodiklių kaitos ypatybės atliekant pakopomis didėjančią krūvį iki negalėjimo tęsti užduotį bei atsigavimo metu (<i>Didelio sportinio meistriškumo sportininkai, $n = 24$</i>)	AKS matavimai	Sistolinis, diastolinis
	Reografija	Sistolinis ir minutinis kraujo tūris
	Veloergometrija	Pasiekiamas galingumas [W]
1.3. ŠKS funkcijos ypatybės atspindinčių rodiklių kaitos ypatybės, atliekant pakopomis didėjančią krūvį iki negalėjimo bei atsigavimo metu (<i>Sportuojantys vyrai, $n = 27$</i>)	Elektrokardiografija	EKG rodikliai: ŠSD; dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT)
	AKS kaitos užrašymas	Sistolinis, diastolinis
	Reografija	Minutinis kraujo tūris
	Veloergometrija	Pasiekiamas galingumas [W]
	Neinvazinė artimoji infraraudonoji spektroskopija	StO ₂ – deguonies įsisotinimas raumenyse

Tiriamųjų kontingentas

1.1 tyrime įtraukti nesportuojantys vyrai ($n = 27$). Atliekant nedidelio intensyvumo fizinį krūvį mūsų vertinamų dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita yra dinamiškesnė nei RR intervalo (arba ŠSD). Kartu parodyta – jei krūvio atlikimas nesukelia nuovargio, tai vertinamos dinaminės sąsajos po krūvio greitai sugrįžta pradinės vertės. Jeigu tokiame tyrime tiriamieji būtų sportuojantys vyrai, galima būti svarstyti, ar tokia kaita nėra jų fizinio parengtumo atspindys.

1.2 tyrime dalyvavo didelio sportinio meistriškumo sportininkai ($n = 24$). Tokius tikslingus greitumo ir ištvermės krūvius atlaikančių asmenų pogrupius sudarėme remdamiesi tuo, kad ŠKS tiek greitosios, tiek ilgalaikės adaptacijos prie fizinių krūvių ypatybės išskirtinai daug lemia genetiniai veiksniai, būtent renino ir angiotenzino sistema. Turėjome galimybę pasinaudoti LSU Kineziologijos laboratorijos, kurioje atlikome šį tyrimą, turima informacija apie angiotenziną konvertuojančiojo fermento polimorfizmą. Tačiau ši informacija neapėmė visų tiriamųjų, t. y. iš 12-kos greitumo pogrupio tiriamųjų 7 tiriamieji buvo DD; 2 tiriamieji – ID; II tipo nebuvo nė vieno tiriamojo, apie 3 tiriamuosius informacijos neturėjome. Tarp ištvermės pogrupio tiriamųjų 6 tiriamieji buvo II tipo; 2 – ID tipo ir 0 – DD tipo, informacijos apie 4 tiriamuosius neturėjome. Todėl pasirinkome, kaip ir kitų tyrėjų tyrimuose, šiuos tiriamųjų pogrupius įvardyti kaip greitumo arba ištvermės prie fizinių krūvių adaptuoti asmenys.

1.3 tyrimą įtraukti sportuojantys vyrai ($n = 27$). Jie pasirinkti, nes fizinio krūvio tęsimas iki negalėjimo, t. y. paskutiniųjų fizinio krūvio pakopų atlikimas, reikalauja maksimalių pastangų ir tik gydytojo leidimą sportuoti turintys asmenys gali atlikti tokį fizinį krūvį.



3.1.1.1 pav. Pirmojo uždavinio tyrimų organizavimo schema

Tyrimų protokolai

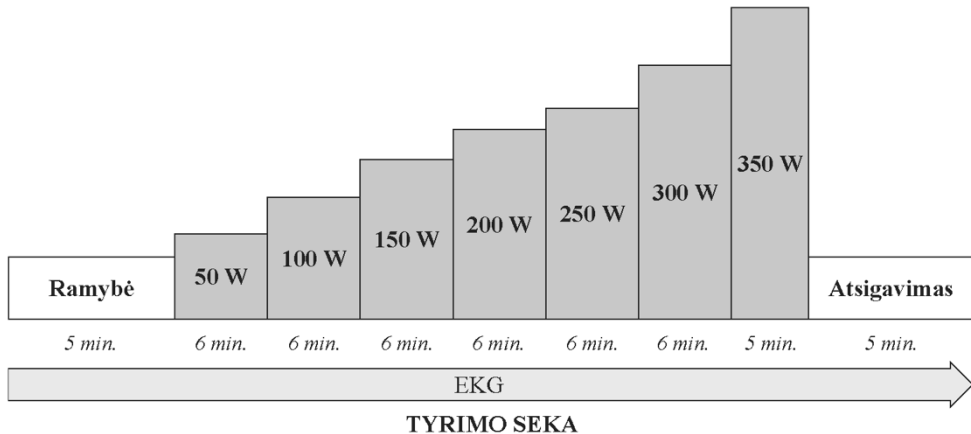
1.1 tyrimas. Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaitos ypatybės, atliekant gana lengvą fizinį krūvį.

Tiriamiesiems buvo uždedama 10 EKG užrašymo elektrodų ir po 20-ties min. adaptacijos (*sėdint*) 5 min. EKG buvo užrašoma 12-ka standartinių derivacijų. Vėliau visi tiriamieji atliko 10-ties minučių gana lengvą krūvį (25 W) – mynė veloergometro pedalus 60 apsisukimų per minutę. Po krūvio tiriamiesiems sėdint ant veloergometro toliau buvo užrašoma EKG stebint atsigavimo eigą.

1.2 tyrimas. Širdies funkcijos rodiklių kaitos ypatybės atliekant pakopomis didėjančių krūvį iki negalėjimo tęsti užduotį ir atsigavimo metu.

Šio tyrimo schema parodyta 3.1.1.2 pav. Tiriamieji po ramybės reogramos užrašymo (6 min.) atliko kas šešias minutes pakopomis didėjančių fizinį krūvį (*darbinis krūvio didinimo protokolą*) – iki negalėjimo tęsti užduotį. Prieš pradėdami krūvį, kiekvienos pakopos pabaigoje ir atsigavimo po krūvio

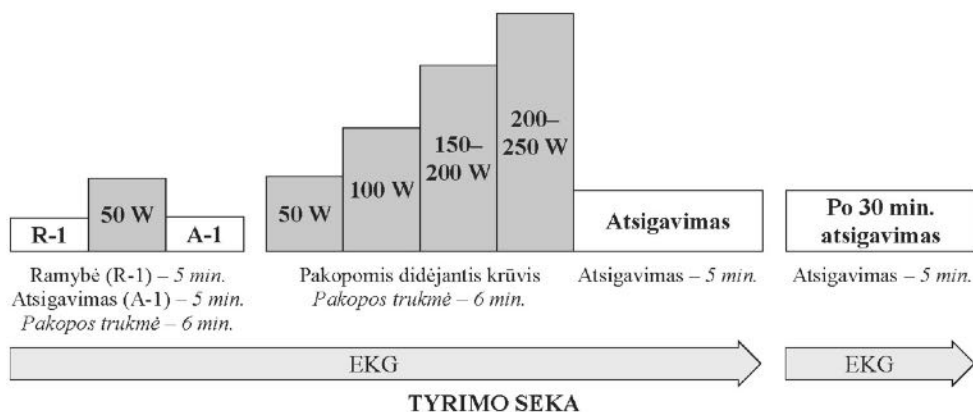
metu buvo matuojamas AKS. Tiriamojo, baigiantis paskutinei krūvio pakopos minutei, buvo prašomas 5–6 sekundes nutraukti krūvį, ir šios pertraukėlės metu buvo užrašoma reograma (*sistolinio ir minutinio kraujo tūrio pokyčiams vertinti*).



3.1.1.2 pav. Tyrimo protokolas, širdies funkcinų rodiklių kaitos ypatybės atliekant pakopomis didėjantį krūvį iki negalėjimo bei atsigavimo metu

1.3 tyrimas. ŠKS funkcijas atspindinčių rodiklių kaitos ypatybės, atliekant pakopomis didėjantį krūvį iki negalėjimo bei atsigavimo metu

Šio tyrimo schema parodyta 3.1.1.3 pav. Tiriamieji po ramybės EKG užrašymo (6 min.) atliko gana lengvą krūvį (50 W) ir 6 min. ilsėjosi sėdėdami ant veloergometro. Vėliau tiriamieji atliko kas šešias minutes pakopomis didėjantį fizinį krūvį (*darbinis krūvio didinimo protokolas*) iki negalėjimo tęsti užduotį. Prieš pradedant krūvį, kiekvienos pakopos pabaigoje ir atsigavimo po krūvio metu buvo matuojamas AKS. Atsigavimo po krūvio laikotarpiu EKG buvo užrašoma penkias minutes bei praėjus 30 min. po krūvio pabaigos.



3.1.1.3 pav. Tyrimo protokolas, vertinant EKG rodiklių kaitos ypatybes atliekant gana lengvą ir sunkų fizinį krūvį iki negalėjimo tęsti užduotį

3.1.2. Antrojo uždavinio tyrimų organizavimas ir imtis

Antrojo uždavinio tyrime dalyvavo ir atrankos kriterijus atitiko 25 tiriamieji. Iš jų vieno tiriamojo užrašyta EKG buvo nekokybiška, todėl nebuvo analizuojama. Tyrimą pradėjo 24 asmenys, kurie burtų tvarka, atsitiktinai, suskirstyti į du pogrupius po 12 tiriamųjų. Pirmoji grupė dalyvavo kontroli-name tyrime, o po penkių dienų pertraukos – okliuzinio poveikio tyrime. Kita pusė tiriamųjų atvirkščia seka, t. y. pirmas tyrimas buvo okliuzinio poveikio, o antrasis – kontrolinis tyrimas.

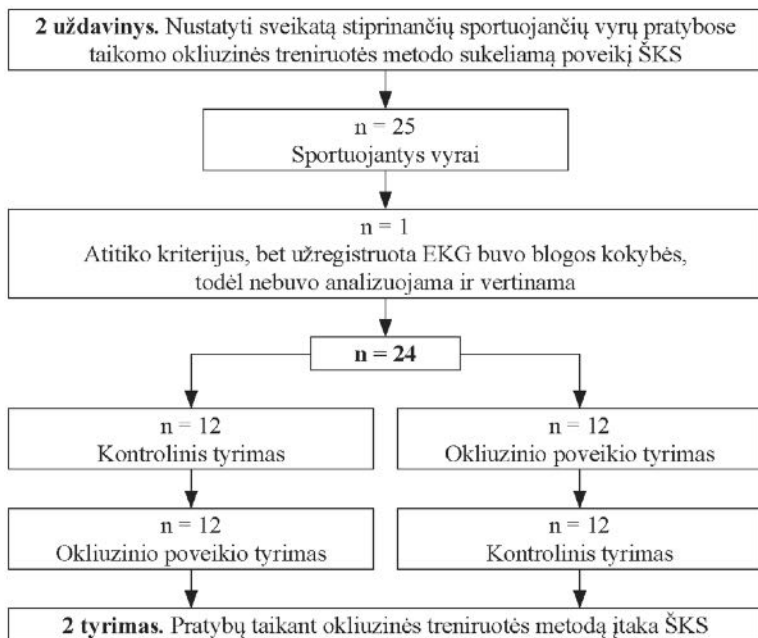
Taikytų tyrimų metodai ir užrašomi rodikliai pateikti 3.1.2.1 lentelėje. Tyrimo organizavimo schema pateikta 3.1.2.1 pav.

3.1.2.1 lentelė. 2 uždavinio tyrimų metodai ir užrašomi rodikliai

Tyrimo pavadinimas	Tyrimo metodai	Užrašomi rodikliai
2. Pratybų taikant okliuzinės treniruotės metodą įtaka ŠKS (<i>Sportuojantys vyrai, n = 24</i>)	Elektrokardiografija	EKG rodikliai: ŠSD; dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT;
	Dinamometrija	[kG]
	AKS kaitos užrašymas	Sistolinis, diastolinis
	Neinvazinė artimoji infraraudonoji spektroskopija	StO ₂ – deguonies įsotinimas raumenyse, proc.
	Venų okliuzinė pletizmografija	AK – pratekančio kraujo kiekis, ml/min./100 cm ³

Tiriamųjų kontingentas

Antrajame tyrime kvietėme dalyvauti sportuojančius vyrus. Nes tiriamųjų kontingentas atitiko darbo tikslą – įvertinti sveikatos stiprinimo pratybose taikomų fizinių krūvių sukeliamus poveikius.



3.1.2.1 pav. Antrojo uždavinio tyrimo organizavimo schema

Tyrimo protokolas

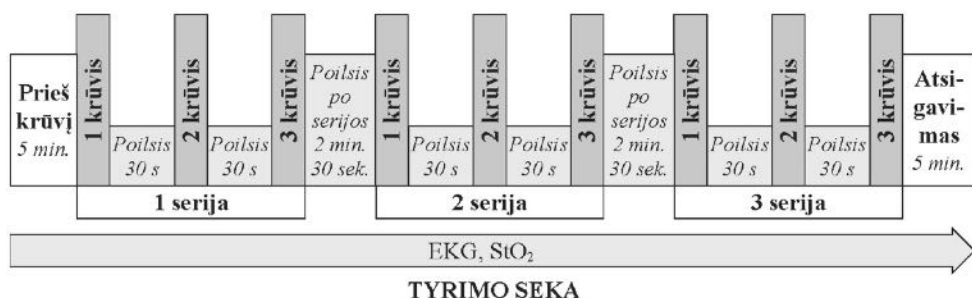
2 tyrimas. Pratybų taikant okliuzinės treniruotės metodą įtaka ŠKS (3.1.2.2 pav.).

Tiriamieji buvo supažindinti su tyrimo procedūra. Daug dėmesio skiriama jiems supažindinti su fizinio krūvio atlikimo ypatybėmis. Buvo matuojama jų blauzdos raumenų maksimali valinė jėga (MVJ) – pėdos lenkimas.

Per imituojamas pratybas tiriamieji atliko vietiško (*sin. lokalaus*) pobūdžio fizinio krūvio užduotį (*40 proc, nuo MVJ*):

- pratimo intensyvumas – 40 proc. nuo MVJ;
- trys pratimų serijos, kurių kiekvieną sudarė:
 - ✓ aštuoni judesio kartojimo ciklai;
 - ✓ 30 s pertrauka tarp kartojimų;
 - ✓ 2,5 min. pertrauka tarp serijų;
- 5 min. atsigavimas po tyrimo.

Prieš tyrimą buvo skiriama 20 min. adaptacijai sėdimąja padėtimi. Jos metu buvo tvirtinami EKG ir StO₂ užrašymo davikliai, manžetės – pletizmogramai registruoti bei okliudavimo procedūrai atlikti, AKS manžetė. 120 mm Hg okliuzinis slėgis buvo taikomas prieš krūvio seriją ir baigiamas po kiekvienos serijos (atsigavimo tarp serijų metu okliuzija buvo pašalinama); kontrolinio tyrimo metu okliuzija nebuvo taikoma. EKG ir StO₂ užrašoma nepertraukiamai viso tyrimo metu, AKS – prieš ir po kiekvienos pratimo serijos, raumenų arterinė kraujotakos matavimai – prieš, po kiekvienos pratimo serijos: po 30, 60, 120 sekundžių.



3.1.2.2 pav. Okliuzinės treniruotės metodo įtakos ŠKS, tyrimo schema

3.1.3. Trečiojo uždavinio tyrimų organizavimas ir imtis

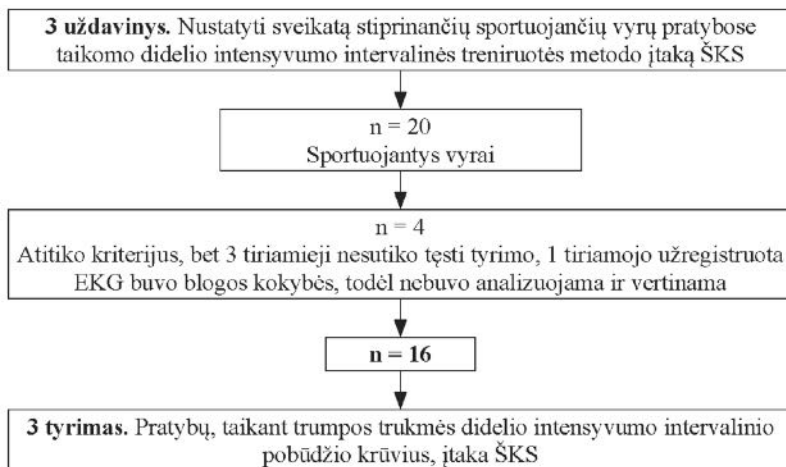
Trečiojo uždavinio tyrime dalyvavo ir atrankos kriterijus atitiko 20 tiriamųjų. Du tiriamieji atsisakė tęsti tyrimą, atlikę tik du intensyvaus krūvio kartojimus. Vienas tiriamasis atliko visus keturis krūvio kartojimus, tačiau vos tik prasidėjus atsigavimui po krūvio pajuto galvos svaigimą, ir taip pat išreiškė norą nutraukti tyrimą. Vieno tiriamojo užrašytos EKG buvo išskirtinai blogos kokybės, todėl jos nebuvo analizuojamos. Visą tyrimo programą pradėjo **16 tiriamųjų**. Taikytų tyrimų metodai ir užrašomi rodikliai pateikti 3.1.3.1 lentelėje. Tyrimo organizavimo schema pateikta 3.1.3.1 pav.

3.1.3.1 lentelė. 3 uždavinio tyrimų metodai ir registruojami rodikliai

Tyrimo pavadinimas	Tyrimo metodai	Registruojami rodikliai
3. Pratybų, taikant trumpos trukmės didelio intensyvumo intervalinio pobūdžio krūvius, įtaka ŠKS (Sportuojantys vyrai, $n = 16$)	Elektrokardiografija	EKG rodikliai: ŠSD; ST – segmento depresija, dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT)
	Veloergometrija	Galingumas [W]; Apkrova – 1 W, 1 kg kūno masės, pagal Wingeito testo protokolą
	AKS kaitos užrašymas	Sistolinis, diastolinis

Tiriamųjų kontingentas

Trečiame tyrime kvietėme dalyvauti sportuojančius vyrus, nes tiriamųjų kontingentas atitiko darbo tikslą – įvertinti sveikatos stiprinimo pratybose taikomų fizinių krūvių sukeltus efektus.

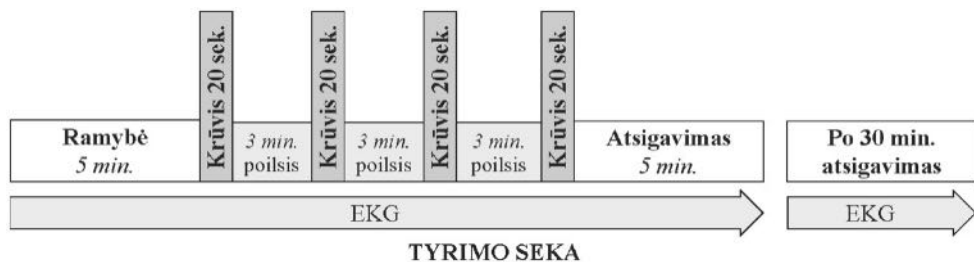


3.1.3.1 pav. Trečiojo uždavinio tyrimų organizavimo schema

Tyrimo protokolai

3 tyrimas. Per pratybas taikomo didelio intensyvumo intervalinės treniruotės metodo įtaka ŠKS (3.1.3.2 pav.).

Tiriamieji prieš tyrimą buvo supažindinami su imituojamųjų pratybų eiga ir krūvio atlikimo ypatybėmis. Jiems pasakyta, jog gali bet kuriame tyrimo etape nutraukti dalyvavimą jame. Atvykę į tyrimą jie pasirašydavo Asmens informavimo formą. Po 5 minučių apšilimo (50 W) ne mažiau kaip penkios minutės buvo skiriamos poilsui prieš pagrindinį pratybų krūvį. Šio poilsio metu buvo tvirtinami EKG elektrodai. DIIT pratybų turinį sudarė keturi 20 sekundžių trukmės krūviai, apkrova – 1 W, 1 kg kūno masės pagal Wingeito testo protokolą. Atlikdami krūvius tiriamieji turėjo stengtis minti veloergometro pedalus didžiausiu galimu dažnumu. Pertraukos atsigauti tarp krūvių buvo trys minutės. Visų pratybų metu ir pirmąsias penkias min. po krūvio buvo nepertraukiamai užrašoma EKG. EKG dar kartą buvo užrašoma praėjus 30 minučių nuo pratybų pabaigos.



3.1.3.2 pav. Didelio intensyvumo intervalinės treniruotės metodo įtaka ŠKS, tyrimo schema

3.1.4. Ketvirtojo uždavinio tyrimų organizavimas ir imtis

Ketvirtojo uždavinio tyrime dalyvavo ir atrankos kriterijus atitiko 75 tiriamieji. Iš jų vieno tiriamojo užrašyta EKG buvo blogos kokybės, todėl nebuvo analizuojama. Tyrimus pradėjo 74 asmenys, suskirstyti į nesportuojančių asmenų ($n = 57$), sportuojančių asmenų ($n = 8$) ir didelio sportinio meistriškumo sportininkų ($n = 9$) pogrupius. 4.4 tyrime pasirinkti trys pogrupiai: nesportuojančių asmenų ($n = 9$), sportuojančių asmenų ($n = 8$) ir didelio sportinio meistriškumo sportininkų ($n = 9$). Taikytų tyrimų metodai ir užrašomi rodikliai pateikti 3.1.4.1 lentelėje. Tyrimo organizavimo schema pateikta 3.1.4.1 pav.

3.1.4.1 lentelė. 4 uždavinio tyrimų metodai ir užrašomi rodikliai

Tyrimo pavadinimas	Tyrimo metodai	Užrašomi rodikliai
4.1. Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita atliekant nesudėtingą pusiausvyros išlaikymo užduotį. (<i>Nesportuojantys vyrai, n = 24</i>)	Elektrokardiografija	EKG rodikliai: ŠSD; dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT)
4.2. Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita atliekant vis sudėtingesnes, koordinacinių pastangų reikalaujančias užduotis. (<i>Nesportuojantys vyrai, n = 12</i>)	Elektrokardiografija	EKG rodikliai: ŠSD; dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT)
4.3. Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita, kai nesportuojantys asmenys aerobinio krūvio metu atlieka papildomas užduotis (dvigubos užduoties metodas) (<i>Nesportuojantys vyrai, n = 12</i>)	Elektrokardiografija	EKG rodikliai: ŠSD; dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT)
	Veloergometrija	Galingumas [W]
4.4. Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita atliekant diferencinio mokymo metodu grindžiamas užduotis. (<i>Didelio sportinio meistriškumo sportininkai, n = 9; sportuojantys asmenys, n = 8; nesportuojantys asmenys, n = 9</i>)	Elektrokardiografija	EKG rodikliai: ŠSD; dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT)

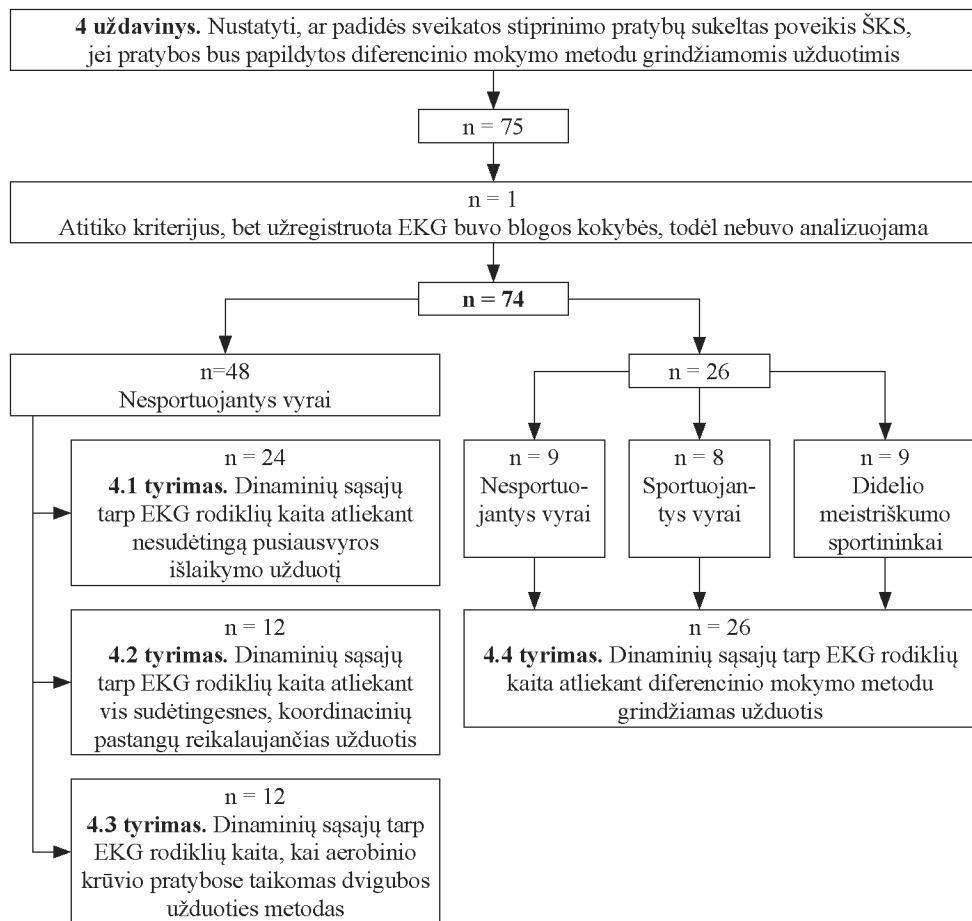
Tiriamųjų kontingentas

4.1, 4.2, 4.3 tyrimuose kvietėme dalyvauti nesportuojančius asmenis, nes tiriamųjų kontingentas atitiko darbo tikslą – įvertinti sveikatos stiprinimo pratybose taikomų fizinių krūvių sukeltus poveikius.

4.4 tyrime pasirinkti trys pogrupiai, vadovaujantis šiais motyvais.

Jeigu šiame tyrime tiriamieji būtų tik sportuojantys asmenys, galima būtų svarstyti, ar tokia kaita nėra jų fizinio parengtumo atspindys. Taigi tyrime buvo sudarytas ir nesportuojančių asmenų pogrupis. Trečiasis pogrupis – didelio sportinio meistriškumo sportininkai (tinklininkai) buvo įtraukti vadovaujantis šiais motyvais. Diferencinio mokymo / treniravimo metodas grindžiamas nuolatine variacija, t. y. dažniausiai, kiekviena kita užduotis yra tam tikra variacija anksčiau buvusios užduoties. Šio tyrimo metu tiriamasis, eidamas ant bėgtakio, atlieka vis naujas užduotis rankomis (judesiai įvairiose plokštumose, ratai / cirkumudacijos (sukimai) riešo, po to – alkūnės, peties sąnario ir t. t.). Tokią judesių rankomis įvairovę, atliekant globalaus pobūdžio fizinius krūvius (*kai atliekant krūvį dalyvauja didžioji dalis kūno raumenų masės*), turi tinklinio sporto šakos atstovai. Būtent jų dalyvavimas tyrime

galėtų leisti įvertinti, ar koordinaciniai judamieji gebėjimai turi įtakos atliekant diferencinio mokymo metodu grindžiamas užduotis. Užduotys buvo formuluotos sudėtingumo didėjimo kryptimi.



3.1.4.1 pav. Ketvirtojo uždavinio tyrimų organizavimo schema

Tyrimo protokolai

4.1 tyrimas. Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita atliekant nesudėtingą pusiausvyros išlaikymo užduotį.

Tiriamieji atliko 10-ties minučių trukmės pusiausvyros išlaikymo frontalinėje plokštumoje užduotį stovėdami ant dinaminės platformos. Tiriamieji kompiuterio ekrane stebėjo užrašomos kreivės kitimus ir iškart žinojo, ar sėkmingai atliko užduotį. Jie buvo skatinami atlikti užduotį kuo kokybiškiau. Viso tyrimo metu buvo nepertraukiamai užrašoma EKG.

4.2 tyrimas. Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita atliekant vis sudėtingesnes, koordinacinių pastangų reikalaujančias užduotis.

Tiriamieji turėjo atlikti dvi užduotis. Pirmoji užduotis lygiai tokia pati kaip ir ankstesniame tyrime – pusiausvyros išlaikymas frontalinėje plokštumoje stovint ant dinaminės platformos. Antroji užduotis – pusiausvyros išlaikymo metu tiriamasis pagal tyrėjo nurodymus privalėjo atlikti vis naują užduotį, sunkinančią pusiausvyros išlaikymą. Tai buvo įvairios pusiau pritūpimų, kamuoliuko (-ų) metimo ir sugavimo užduotys. Viso tyrimo metu buvo nepertraukiamai užrašoma EKG.

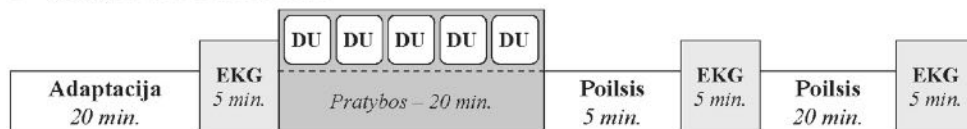
4.3 tyrimas. Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita, kai per aerobinio krūvio pratybas taikomas dvigubos užduoties metodas.

Tiriamieji buvo tirti du kartus, t. y. atsitiktinai sudaryta seka, atliko dvi 20 min. trukmės fizinio krūvio pratybas su trijų dienų pertrauka tarp jų. Tai buvo gana lengvas (25 W) krūvis, minant veloergometro pedalus 60 aps./min. dažniu. Vienas iš tyrimo uždavinių buvo nustatyti aerobinio krūvio, kitas – dvigubos užduoties metodo įtaką EKG rodiklių dinaminių sąsajų kaitai. Pastarųjų pratybų ypatybė – tiriamajam minant veloergometro pedalus pro tarpiais buvo prašoma ranka (rankomis) atlikti nesudėtingas, bet koordinacinių pastangų reikalaujančias užduotys, o kiekviena paskesnė užduotis buvo vis nauja prieš tai buvusios užduoties variacija. Tiriamųjų ŠKS funkcinės būklės vertinimai buvo atliekami prieš pratybas, praėjus 5 min. ir 30 min. po pratybų. Tyrimo organizavimo schema parodyta 3.1.4.2 pav. Naudojantis kompiuterine EKG užrašymo ir analizės sistema „Kaunas – krūvis“ buvo nuolatos užrašoma 12-ka standartinių derivacijų EKG prieš pratybas, praėjus 5 min. ir 30 min. po pratybų.

A – aerobinio krūvio pratybos



B – pratybos su DU užduotimis

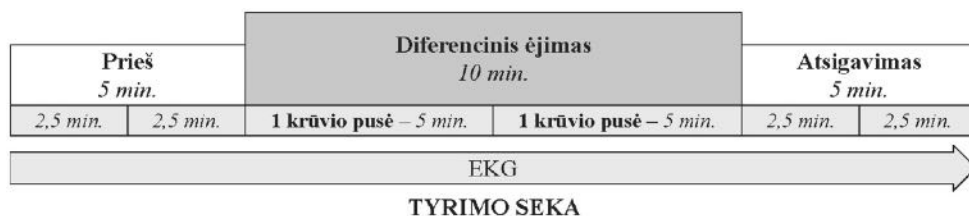


3.1.4.2 pav. Aerobinio krūvio pratybų, per kurias taikomas dvigubos užduoties metodas, tyrimo organizavimo schema

4.4 tyrimas. Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita atliekant diferencines užduotis.

Tiriamieji atliko įvairias jiems pasiūlomas užduotis eidami 3 km/val. greičiu ant bėgimo takelio takelio „HORIZON Paragon 5“ (*Johnson health tech, 2016 m.*). Bendra šio tyrimo trukmė po 20 min. adaptacijos tyrimo sąlygomis – 20 min. Po santykinės ramybės būklės užrašymo (EKG) tiriamieji 10 minučių atliko diferencinio ėjimo užduotį. EKG nuolatos buvo užrašoma viso diferencinio ėjimo metu ir viso stebėto penkių minučių atsigavimo po krūvio metu. Tyrimo schema pateikta 3.1.4.3 pav.

Diferencinį ėjimą sudarė vis naujos užduotys ėjimo metu. Jų tiriamieji pogrupiai (*nesportuojantys ir didelio sportinio meistriškumo sportininkai*) iki šiol nepraktikavo, o sportuojančių vyrų grupė jau mokėjo ir jų pratybose tokios užduotys jiems buvo įprastos. Šios užduotys – tai ėjimo metu atliekami vis sudėtingesni kompleksiniai judesiai rankomis, pečių juosta ir liemeniu. Judamųjų užduočių naujos variacijos pasiūlomos kas 30–40 s (3 priedas).



3.1.4.3 pav. Tyrimo, vertinant diferencinio ėjimo įtaką ŠKS, schema

3.2. Tyrimo metodai

Per tyrimus buvo taikyti šie metodai:

- Elektrokardiografija
- Reografija
- Venų okliuzinė pletizmografija
- Arterinio kraujospūdžio (AKS) matavimas
- Neinvazinė artimoji infraraudonoji spektroskopija
- Dinamometrija
- Veloergometrija
- Posturografija
- Suvokiamų pastangų metodas (Borgo skalė)

Elektrokardiografija

Dvylikai standartinių derivacijų EKG užrašyti buvo naudojama Kauno medicinos universitete Kardiologijos institute sukurta kompiuterinė EKG užrašymo ir analizės sistema „Kaunas – Krūvis W03“. Minėta sistema buvo nepertraukiamai užrašoma EKG ir matuojami kiekvieno kardiociklo metu užrašytų rodiklių vertės. Kompiuterizuota sistema „Kaunas – Krūvis W03“ ne tik matuodavo, bet ir apskaičiuodavo pasirinktų rodiklių dinaminių sąsajų vertes. Išsamiau dinaminių sąsajų vertinimo apskaičiavimo metodika pateikta 3.3 skyriuje. Buvo analizuojami ir vertinami šie rodikliai: RR intervalo trukmė (arba ŠSD); JT intervalo ir QRS komplekso trukmės; bei ST segmento depresija.

Reografija

Audinių elektrinės varžos pokyčių užrašymas (reografija) yra metodas, taikomas širdies sistolinio ir minutinio kraujo tūrio kitimams vertinti. Šis metodas grindžiamas tuo, kad aukštojo dažnio srovių plitimas krūtinės segmente yra modifikuojamas kiekvienos širdies sistolės metu išstumiamo kraujo kiekio ir jo nutekėjimo į periferines kraujagysles. Širdies sistolės metu reogramos kreivė kyla proporcinga širdies išstumtam kraujo kiekiui – elektrinė varža mažėja.

Tyrime naudotas reopletizmografas RPG2-02 (*gamint. Ukraina, 1996*). Sistolinis kraujo tūris apskaičiuotas pagal plačiai taikomą Kubiček'o su bendraautorais pasiūlytą formulę[195]:

$$V_s = K \cdot p \frac{L^2}{Z^2} Ad \cdot Ti,$$

kur: K – paklaidos koeficientas, priklausantis nuo elektrodų uždėjimo vietos, naudojamo prietaiso tipo, mūsų sąlygomis jis – 0,9; p – kraujo varža, koreguota pagal hemotokritą 150 omų (Ω); L – nuotolis tarp matavimo elektrodų (cm); Z – pagrindinė pilnutinė varža (sin. impedansas), nustatoma pagal reografo skalę (Ω); Ad – diferencinės reogramos amplitudė (Ω/s); Ti – kraujo išstūmimo laikas (s).

Nuotoliai tarp reogramos anakrotų dantelių teikia informaciją apie ŠSD, minutinis kraujo tūris buvo apskaičiuotas kaip ŠSD ir sistolinio kraujo tūrio sandauga.

Venų okliuzinė pletizmografija

Pratekančio arterinio kraujo kiekį vertinome pagal pletizmogramos kilimo greitį per pirmąsias sekundes po okliuzijos. Venoms okliuduoti buvo naudojama 12 cm pločio manžetės, uždedamos proksimaliau tiriamojo segmento (*blauzdos raumenys*), t. y. tiriamojo segmento didėjimas yra tiesiogiai proporcingas pratekančio arterinio kraujo kiekiui, nes per tokį trumpą laiko tarpą slėgis venose ir arterijose nekinta dėl veninių kraujagyslių tamprumo. Todėl tiriamojo segmento apimties didėjimas dėl trumpalaikės venų okliuzijos atspindi pratekančio arterinio kraujo kiekį segmente. Oras į okliuzinę manžetę buvo pripučiamas labai greitai (per 0,5 s). Pletizmograma buvo užrašoma Vitnėjaus (*Whitney*) pletizmografu, sujungtu Vitstono (*Wheatstone*) elektroniniu tilteliu.

Arterinio kraujospūdžio (AKS) matavimas

Arterinis kraujospūdis buvo matuojamas įprastu Korotkovo metodu, t. y. manžetę uždedant kairės rankos žasto srityje. Buvo vertinami šie AKS rodikliai: sistolinis slėgis (S), diastolinis slėgis (D), pulsinis slėgis (S–D).

Neinvazinė artimoji infraraudonoji spektroskopija (StO₂)

Atliekant fizinius krūvius, t. y. krūvio metu ir po jo, deguonies įsotinimo kaita raumenyje buvo vertinama neinvaziniu artimosios infraraudonosios spektroskopijos būdu, naudojant fotojutiklį (*Hutchinson Technology – Inspectra Tissue Spectrometer – Model 325*). Jutiklis buvo tvirtinamas ant pagrindinės raumenų grupės, atliekančios judesį. Deguonies įsotinimo (StO₂) laipsnis užrašomas nepertraukiamai (*suvidurkinti matavimo duomenys prietaiso vaizduoklyje (displėjuje) buvo gaunami kas 2,5 s*) viso krūvio ir 4 minutes po krūvio.

Dinamometrija

Pėdos lenkiamųjų raumenų jėgai pamatuoti ir fizinio krūvio dydžiui parinkti buvo matuojama pėdos lenkiamųjų raumenų maksimali valinga jėga (MVJ). Tam buvo naudojamas specialus dinamometrinis įrenginys (*pagamintas Maskvos medicininės įrangos mokslinio tyrimo institute, 1991*), leidžiantis tvirtai fiksuoti blauzdos segmentą ir vietiskai (*sin. lokaliai*) pamatuoti MVJ ir dozuoti fizinio krūvio užduotis. Koją buvo tvirtinama 90⁰ kampu per kelio sąnaryje ir 70⁰ – čiurnos sąnaryje. Nustatant pėdos lenkiamųjų raumenų jėgą, tiriamiesiems sėdint buvo leidžiama rankomis laikytis už dinamometrinio įrenginio. Tiramieji atlikdavo po tris matavimus, protokole buvo užrašoma didžiausia šių trijų matavimų vertė.

Veloergometrija

Vietiško (*sin.* lokalaus) (A) ir globalaus (B) pobūdžio fiziniam krūviui dozuoti buvo taikomas ergometrijos metodas.

A – Vietiška (sin. lokali) ergometrija

Tiriant, vadinamosios okliuzinės treniruotės metodo įtaką, tiriamieji atliko lokalius fizinius krūvius, pėdos tiesimo judesius pakeldami ir nuleisdami svorį (40 proc. nuo MVJ) pagal metronomo dūžius, t. y. 30 judesių per minutę.

B – Veloergometrija

Veloergometrinius krūvius tiriamieji atliko mindami veloergometrą „Monark – 928G3“ (*gamint. Monark Exercise, 2018*). Visais atvejais buvo pasirinkta pedalų mynimo dažnumas – 60 apskukų per minutę. Prieš tyrimą individualiai pagal tiriamojo kūno individualias ypatybes buvo sureguliuojama sėdynės ir vairo rankenų padėtys ir pedalų tvirtinimo dirželių įtempimas, užtikrinantis patogų mankštinimosi užduoties atlikimą.

Buvo taikytas kas minutę didėjančio provokacinio krūvio protokolas, didinant krūvį po 50 W. Ramybės metu prieš krūvį, krūvio metu ir 5 min. atsigavimo metu kompiuterine EKG užrašymo ir analizės sistema „Kaunas–krūvis“ buvo užrašoma 12 standartinių derivacijų EKG ir kas 1 min. matuojamas AKS.

Posturografija

Tiriamieji atliko pusiausvyros išlaikymo užduotis stovėdami ant pusiausvyros kontrolės platformos „LIBRA Balance-board“ (*42 × 42 cm platforma, svoris 2,7 kg*). Kompiuterizuota užduoties atlikimo vertinimo programa pateikdavo integralų užduoties atlikimo tikslumo įvertinimą balais, integruodama užrašymo kreivės apibrėždavo nukrypimų užduoties plotą.

Suvokiamų pastangų metodas (Borgo skalė)

Vartodami Borgo skalę tiriamieji po krūvio įvertindavo pratybose atlikto krūvio sunkumą pagal 10 balų skalę [196].

3.3. Dinaminių sąsajų vertinimai ir statistika

Dinamines sąsajas tarp užrašytų EKG rodiklių vertinome taikydami Lietuvos mokslininkų sukurtą algebrinių duomenų kointegracijos metodą [167, 187, 197, 198].

Dinaminių sąsajų vertinimo metodika išsamiai aprašyta daugelyje publikacijų [116, 167, 189, 191, 192, 199, 200], toliau pateikiami esminiai šio vertinimo momentai.

Pagal šią metodiką, vertinant dviejų elektrokardiogramos rodiklių sąveiką, buvo sudaromos dvi sinchronizuotos skaitmeninės laiko eilutės $(x_n; n = 0, 1, 2, \dots)$ bei $(y_n; n = 0, 1, 2, \dots)$, čia x_n ir y_n realūs skaičiai, t. y. elektrokardiogramos pasirinktų rodiklių seka. Siekiant juos palyginti pradiniai duomenys buvo normuojami pagal formulę:

$$x_{\text{nauja reikšmė}} = \frac{x_{\text{sena reikšmė}} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}},$$

čia $x_{\min}$ ir $x_{\max}$ – minimali ir didžiausia nagrinėjamo parametro fiziologinė vertė.

Turint dvi duomenų sekas $(x_n; n = 0, 1, 2, \dots)$ bei $(y_n; n = 0, 1, 2, \dots)$ iš jų buvo sudaroma matricinė laiko eilutė $(A_n; n = 0, 1, 2, \dots)$. Čia $A_n := \begin{bmatrix} a_n & b_n \\ c_n & d_n \end{bmatrix}$; o koeficientai a_n, b_n, c_n, d_n sudaromi taip: $a_n := x_n$, $d_n := y_n$, $b_n := \alpha(x_{n-1} - y_{n-1})$, $c_n := \beta(x_{n+1} - y_{n+1})$, kai parametrai α, β yra parenkami atsižvelgiant į laiko eilučių $(x_n; n = 0, 1, 2, \dots)$ ir $(y_n; n = 0, 1, 2, \dots)$ ypatumus. Ryšį tarp dviejų sekų geriausiai apibūdina dsk $A_n = (\text{dfr} A_n)^2 + 4 \text{cdp} A_n$ (diskriminantas).

Verinant gautų tyrimų rezultatus svarbu pažymėti, kad matricų analizės teorijoje išskiriamos dvi svarbios matricų rūšys. I matrica yra vadinama idempotentu (*pastovios galios matrica*), jeigu $I^2 = I$, o matricą N – nulpotentu (*matrica, netenkančia galios*), jeigu $N^2 = \mathbf{0}$, kai $\mathbf{0} := \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$. Jeigu

matricų A_n diskriminantai artėja prie nulio, tai matricos A_n iš idempotentinių matricų virsta nulpotentinėmis. Tai rodo, kad duotosios dvi duomenų sekos $(x_n; n = 0, 1, 2, \dots)$ ir $(y_n; n = 0, 1, 2, \dots)$ panašėja, mažėja individualus jų

informatyvumas, vadinasi, jos aprašo vis labiau sąveikaujančią dviejų procesų generuojančių subjektų sistemą. Taigi diskriminanto (*Dsk*) mažėjimas atspindi sąsajos stiprėjimą, ir atvirkščiai, *Dsk* verčių didėjimas – sąsajos silpnėjimą [189, 191, 192, 200].

Vertinant tirtų sveikatos stiprinimo pratybose taikomų poveikių (*proceso kaitos kryptčiai nustatyti*) trijų dinaminių sąsajas, *Dsk* vertės buvo sumuojamos (pagal Y. Bar Yam kompleksiskumo profilio logiką) [201]:

$$DSK_{sum} = DskRR_QRS + DskRR_JT + DskQRS_JT,$$

kur:

DskRR_QRS – tarp RR intervalo ir QRS kompleso;

DskRR_JT – tarp RR intervalo ir JT intervalo;

DskQRS_JT – tarp QRS kompleksi ir JT intervalo.

Matematinė statistika

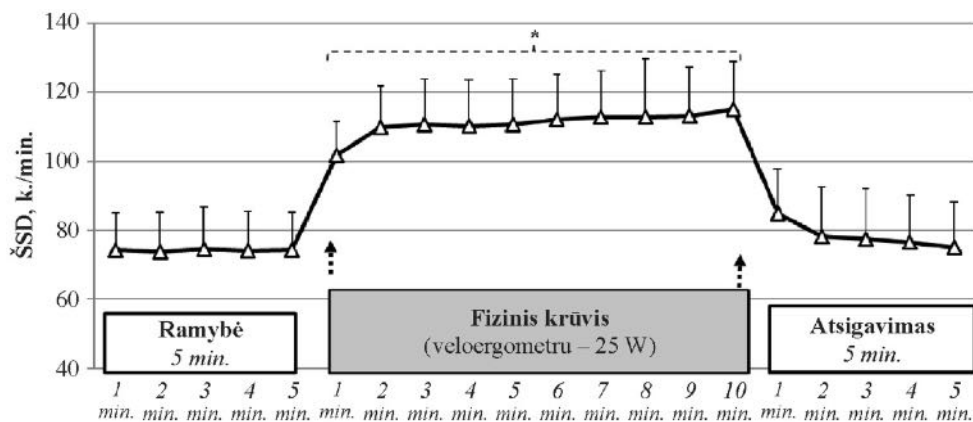
Statistinė duomenų analizė buvo atlikta *SPSS 23.0 for Windows* bei *Microsoft Excel 2017* kompiuterio programomis. Dviem priklausomoms imtims palyginti, kai duomenys atitiko normalumo prielaidą, taikytas porinis Stjudento *t* testas, kai netenkino – neparametrinis Vilkoksono kriterijus. Dviem nepriklausomoms imtims palyginti vartotas Manio Vitnio testas. Rezultatai pateikti kaip aritmetinis vidurkis ir standartinis nuokrypis ($m \pm SD$). Skirtumas laikytas statistiškai reikšmingas, kai $p < 0,05$.

4. TYRIMŲ REZULTATAI

4.1. Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaitos ypatybės, atliekant santykinai lengvus ir varginančius fizinius krūvius bei atsigavimo po jų metu

4.1.1. Sąsajų dinamikos tarp EKG rodiklių kaitos ypatybės, nesportuojantiems vyrams atliekant gana lengvą fizinį krūvį

Nesportuojančių vyrų ($n = 24$) suvidurkinta ŠSD kaita. Šio tyrimo rezultatai pateikti 4.1.1.1 pav. Prieš fizinį krūvį, tiriamiesiems ramiai sėdint, ŠSD šiek tiek svyravo, t. y. $74,1 \pm 10,9$ k./min. – mažiausia vertė ir $75,7 \pm 11,1$ k./min. – didžiausia vertė, pradėjus krūvį ŠSD greitai didėjo pirmąsias dvi minutes iki $110,9 \pm 12$ k./min. Toliau didėjimas buvo labai mažas, t. y. iki krūvio pabaigos padidėjo vidutiniškai iki $114,9 \pm 13,8$ k./min. Gauti ŠSD kaitos rezultatai parodė, kad tiriamiesiems atliekant gana lengvą krūvį veloergometru ŠSD vertės statistiškai reikšmingai skyrėsi nuo ramybės būklės užrašytų ŠSD verčių ($t(16) = 8,187$; $p < 0,001$). Atsigavimo po krūvio metu stebėjome greitą ŠSD mažėjimą, ir jau antrąją atsigavimo minutę ŠSD vidutiniškai buvo $80,3 \pm 14,4$ k./min.; penktąją minutę po krūvio – $76,8 \pm 13,1$ k./min.

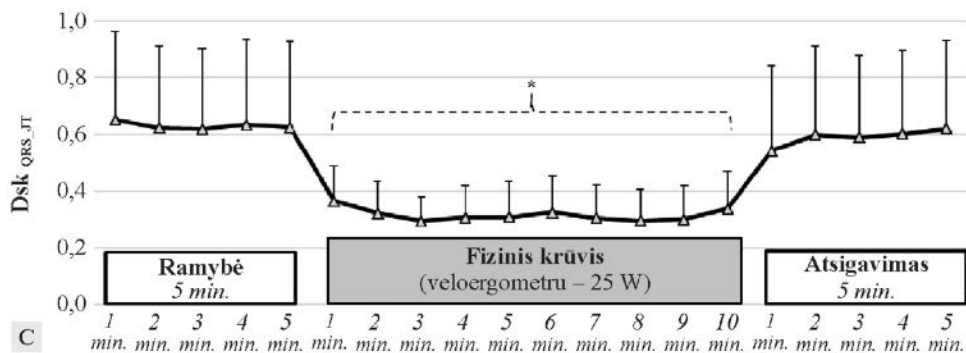
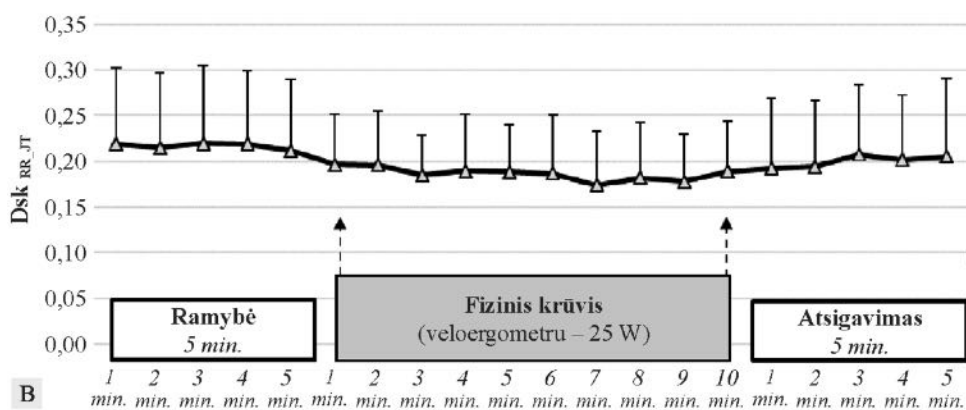
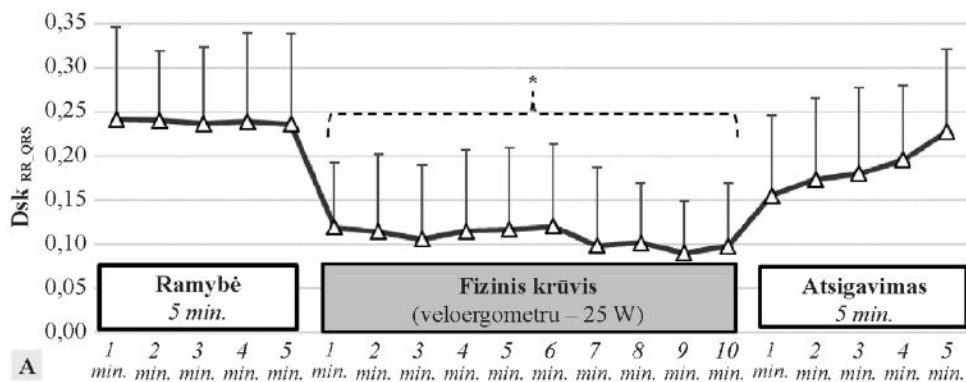


4.1.1.1 pav. Nesportuojančių vyrų ŠSD kaita atliekant lengvą (25 W) krūvį veloergometru

* – statistiškai reikšmingas skirtumas, palyginti su pradinėmis vertėmis.

4.1.1.1 lentelė. Suvidurintos EKG rodiklių vertės nesportuojantiems vyrams atliekant fizinį krūvį велоergometru (25 W) ir atsigavimo po krūvio metu

EKG rodiklis	Prieš krūvį	Atliekant fizinį krūvį						Atsigavimo metu				
		1 min.	2 min.	3 min.	6 min.	8 min.	10 min.	1 min.	2 min.	3 min.	4 min.	5 min.
RR intervalas, ms	809,6 ± 28,9	590,4 ± 54,5	546,7 ± 58,6	542,3 ± 62,3	535,5 ± 60,1	532,0 ± 61,3	528,5 ± 61,4	707,6 ± 89,3	768,3 ± 128,5	774,4 ± 133,6	786,2 ± 130,1	800,9 ± 125,7
JT intervalas, ms	257,0 ± 23,9	223,7 ± 18,5	215,5 ± 19,5	214,7 ± 21,3	211,2 ± 20,6	212,1 ± 21,6	209,1 ± 19,1	252,5 ± 17,3	252,8 ± 18,2	253,7 ± 19,7	251,6 ± 19,2	255,5 ± 18,5
QRS trukmė, ms	81,5 ± 7,6	79,5 ± 4,9	79,8 ± 4,4	80,5 ± 5,6	79,2 ± 4,6	78,8 ± 4,3	77,7 ± 3,9	81,8 ± 6,8	81,4 ± 5,6	81,7 ± 7,8	82,0 ± 8,1	81,1 ± 7,7

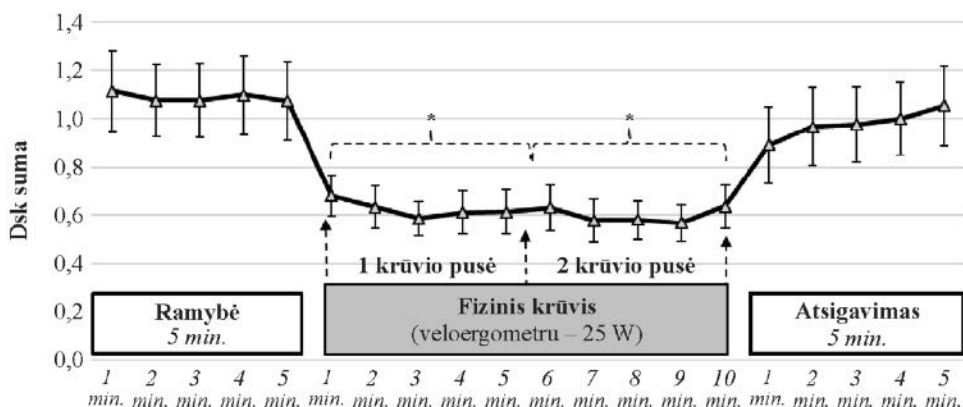


4.1.1.2 pav. Nesportuojančių vyrų dinaminių sąsajų kaita atliekant santykinai lengvą fizinį krūvį: **(A)** sąsaja tarp RR_QRS; **(B)** sąsaja tarp RR_JT; **(C)** sąsaja tarp QRS_JT

* – statistškai reikšmingas skirtumas, palyginti su pradinėmis vertėmis.

Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT) kaita parodyta 4.1.1.2 (A–C) pav. Tiriamiesiems ramiai sėdint prieš krūvį Dsk vertės ramybės būklėje svyravo nedaug ir vidutiniškai buvo $Dsk_{RR_QRS} - 0,239 \pm 0,095$; $Dsk_{RR_JT} - 0,217 \pm 0,082$ ir $Dsk_{QRS_JT} - 0,630 \pm 0,298$. Fizinio krūvio pradžioje stebėjome greitą Dsk_{RR_QRS} ir Dsk_{QRS_JT} statistiškai reikšmingą sumažėjimą, atitinkamai, Dk_{RR_QRS} – iki $0,119 \pm 0,074$, ($t(16) = 4,971$; $p < 0,001$). ir Dsk_{QRS_JT} – iki $0,365 \pm 0,124$, ($t(16) = 5,453$; $p < 0,001$). Dsk_{RR_JT} kaitą galima apibūdinti, jog buvo silpnai išreikšta mažėjimo tendencija, tačiau tai nebuvo statistiškai reikšmingi pasikeitimai. Po krūvio stebėjome Dsk atsigavimą, t. y. grįžimą iki pradinių verčių.

Integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų (Dsk_{RR_QRS} ; Dsk_{RR_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) kaita pateikta 4.1.1.3 pav. Susumuotos Dsk vertės ramybės būklėje vidutiniškai, buvo $1,086 \pm 0,039$. Pirmojo krūvio pusėje stebėjome statistiškai reikšmingą dinaminių sąsajų sustiprėjimą, t. y. Dsk sumažėjimą iki $0,625 \pm 0,021$ ($Z = -5,137$; $p = 0,001$). Antroje krūvio pusėje Dsk išliko sumažėjęs $0,599 \pm 0,021$, ($t(50) = 6,287$; $p = 0,001$). Atsigavimo penktąją minutę Dsk statistiškai reikšmingai nesiskyrė nuo pradinių verčių ($Z = -2,348$; $p = 0,019$).



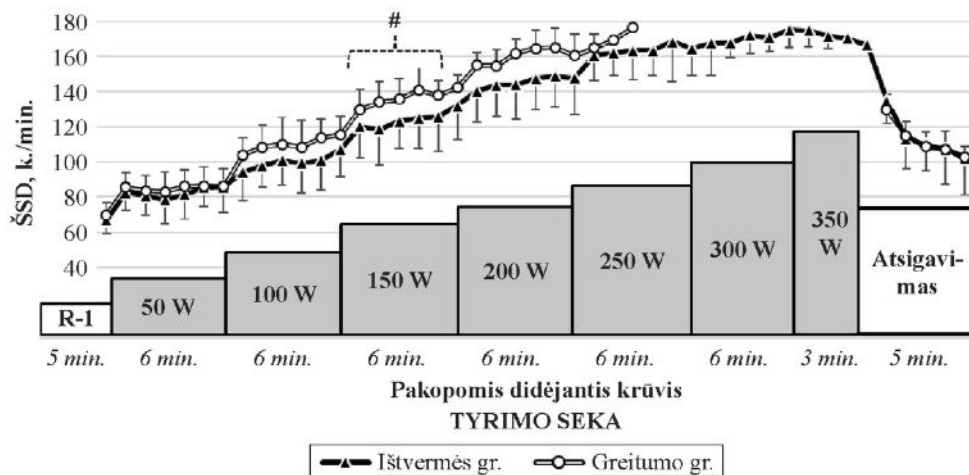
4.1.1.3 pav. Nesportuojančių vyrų integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų (Dsk_{RR_QRS} ; Dsk_{RR_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) kaita fizinio krūvio metu ir penktąją atsigavimo minutę

* – statistiškai reikšmingas skirtumas, palyginti su pradinėmis vertėmis.

4.1.2. Širdies funkcijos rodiklių kaitos ypatybės didelio meistriškumo sportininkams atliekant pakopomis didėjančių krūvių iki negalėjimo tęsti užduotį bei atsigavimo metu

Gauti tyrimo rezultatai tiriant didelio meistriškumo sportininkų (*greitumo* $n = 12$ ir *ištvermės grupių* $n = 12$) ŠKS rodiklių kaita ir jų dinaminės sąsajos pateiktos 4.1.2.1–4.1.2.4 paveiksluose ir 4.1.2.1 lentelėje.

ŠSD rodiklių kaita atliekant pakopomis didėjančius fizinius krūvius parodyta 4.1.2.1 pav. Nebuvo statistiškai reikšmingo skirtumo tarp grupių kai lyginome pradinės ŠSD vertes užrašytas prieš fizinio krūvio atlikimą ($67,2 \pm 7,9$ k./min. – ištvermės grupėje ir $70,0 \pm 6,8$ k./min. – greitumo grupėje). Atliekant fizinį krūvį ŠSD didėjo su kiekviena didėjančio krūvio pakopa tik greitumo grupėje, šis didėjimas buvo greitesnis ir atliekant 150 W krūvio pakopą skirtumas tarp grupių pasiekė statistiškai reikšmingas ribas ($U = 21$, $p = 0,002$). Tačiau palyginę užrašytas didžiausias ŠSD vertes atliekant paskutiniąją krūvio pakopą, statistiškai reikšmingo skirtumo tarp grupių neradome $U = 36$, $p = 0,041$, ($171,9 \pm 7,4$ k./min. – ištvermės grupėje ir $169,2 \pm 4,6$ k./min. greitumo grupėje).



4.1.2.1 pav. Didelio meistriškumo sportininkų ŠSD rodiklių kaita greitumo ir ištvermės grupėse atliekant pakopomis didėjančius fizinius krūvius

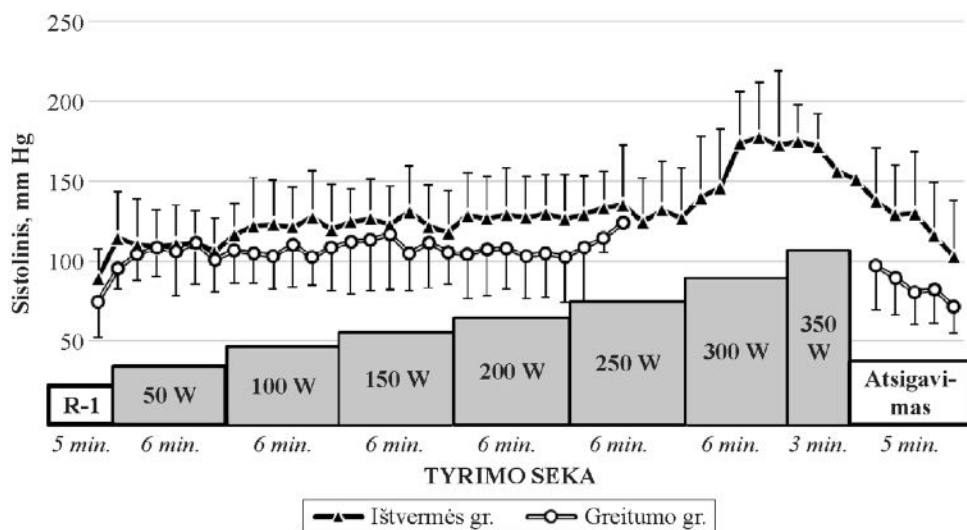
(R-1) – ramybė prieš fizinį krūvį. # – statistiškai reikšmingas skirtumas palyginant skirstinius tarp grupių.

AKS matavimai atlikti krūvio pakopos šeštąją minutę. Paskutiniąsias krūvio pakopas gebėjo atlikti ne visi tiriamieji.

4.1.2.1 lentelė. Sistolinio ir diastolinio AKS kaita didelio meistriškumo sportininkų atliekant pakopomis didėjančią krūvį

Rodikliai		Tiriamieji			
		Greitumo grupė		Išvermės grupė	
		Sistolinis AKS, mm Hg	Diastolinis AKS, mm Hg	Sistolinis AKS, mm Hg	Diastolinis AKS, mm Hg
Tyrimo etapai					
Prieš krūvį		116,8 ± 1,5	75,9 ± 1,1	120,6 ± 1,9	79,0 ± 0,9
Krūvis	50 W	141,4 ± 3,0	60,9 ± 1,3	141,9 ± 3,1	64,6 ± 1,2
	100 W	162,3 ± 6,1	45,9 ± 1,8	158,3 ± 3,6	51,8 ± 2,2
	150 W	181,8 ± 5,1	25,5 ± 3,4	191,7 ± 5,1	22,9 ± 5,1
	200 W	200,0 ± 4,9	21,3 ± 8,4	191,7 ± 5,1	22,9 ± 5,1
	250 W	–	–	210,5 ± 5,7	13,9 ± 6,2
	300 W	–	–	228,0 ± 7,2	12,7 ± 8,7
Atsigavimas	1 min.	171,4 ± 7,8	36,4 ± 6,3	179,2 ± 8,0	22,9 ± 4,7
	2 min.	150,9 ± 6,5	54,1 ± 4,9	158,8 ± 7,2	38,8 ± 4,0
	3 min.	139,5 ± 5,6	61,8 ± 3,6	141,4 ± 5,5	53,5 ± 2,9
	4 min.	132,3 ± 5,4	68,6 ± 2,3	129,1 ± 3,7	62,8 ± 2,7
	5 min.	126,8 ± 3,9	72,3 ± 2,6	122,8 ± 3,1	68,5 ± 2,5

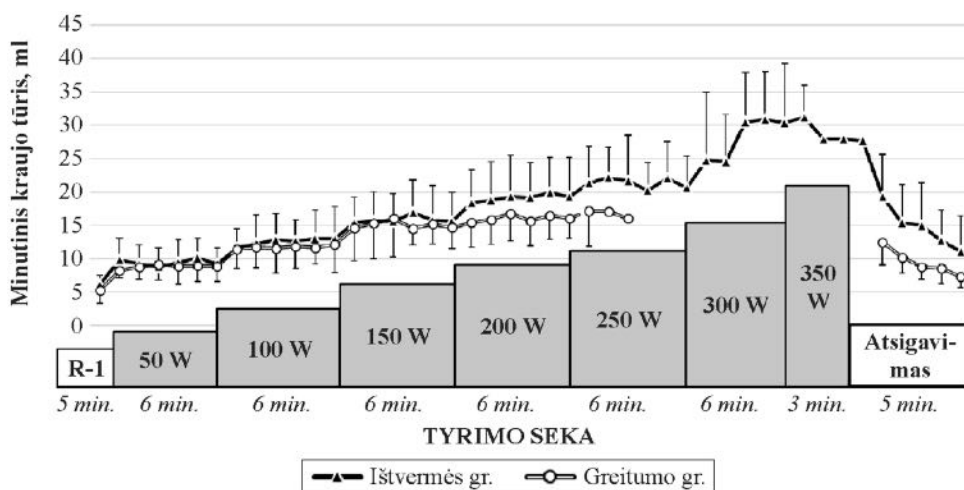
Sistolinio tūrio kaita pateikta 4.1.2.2 pav. Išvermės grupės tiriamiesiems buvo stebėta kiek didesnės sistolinio kraujo tūrio vertės ramybėje ($89,1 \pm 5,1$ ml – išvermės ir $74,8 \pm 6,7$ ml – greitumo grupėse) tačiau tai nebuvo statistiškai reikšminga. Sistolinis širdies tūris didėjo didėjant atliekamam krūviui, tačiau atliekant 150 W fizinį krūvį, statistiškai reikšmingai didesnės sistolinio kraujo tūrio vertės buvo stebimos pas išvermės grupės tiriamuosius ($130,5 \pm 7,8$ ml) stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas tarp grupių $U = 12$, $p = 0,001$. Atliekant 200 W krūvio pakopą arba palyginus maksimalias tiriamųjų sistolinio tūrio vertes, stebime statistiškai reikšmingą skirtumą tarp grupių $U = 18$, $p = 0,001$.



4.1.2.2 pav. Didelio meistriškumo sportininkų sistolinio tūrio kaita greitumo ir išvermės grupėse atliekant pakopomis didėjančius fizinius krūvius

(R-1) – ramybė prieš fizinį krūvį.

Minutinio kraujo tūrio kaita pateikta 4.1.2.3 pav. Minutinis kraujo tūris didėjo su kiekviena atliekamo krūvio pakopa, t. y. daugiausia padidėdavo pirmąją atliekamo naujos krūvio pakopos minutę. Šį laipsnišką didėjimą stebėjome krūviui didėjant iki 250 W. Minutinio kraujo tūrio padidėjimas buvo didesnis, kai išvermės grupės tiriamieji atliko 200–250 W krūvio pakopas, taip pat buvo užrašytos didesnės minutinio kraujo tūrio vertės atliekant paskutiniąsias krūvio pakopas ($30,4 \pm 7,8$ l/min. – išvermės grupėje ir $17,1 \pm 5,3$ l/min. – greitumo grupėje).



4.1.2.3 pav. Didelio meistriškumo sportininkų minutinio kraujo tūrio kaita greitumo ir ištvermės grupėse atliekant pakopomis didėjančius fizinius krūvius

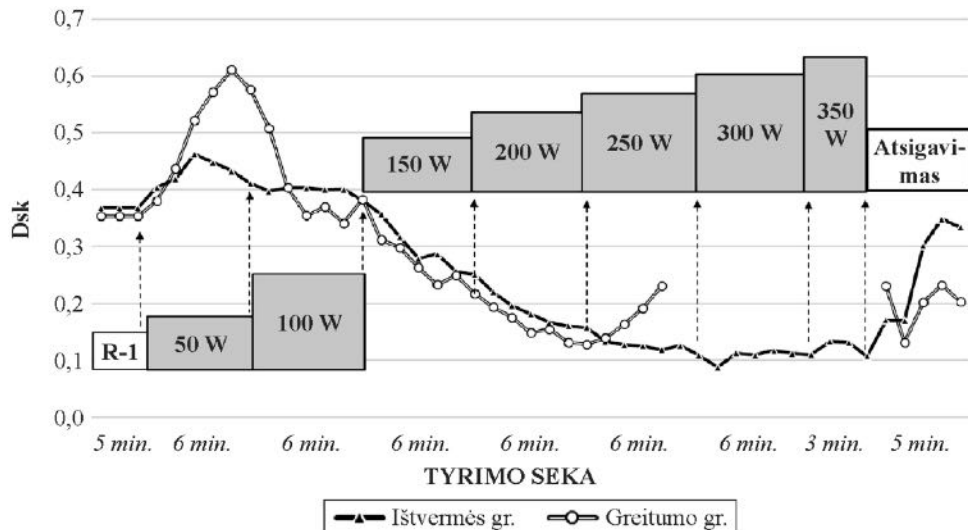
(R-1) – ramybė prieš fizinių krūvį.

Sąsajos tarp sistolinio ir minutinio kraujo tūrio kaita. Prieš fizinių krūvį, t. y. santykinės ramybės būklėje, apskaičiuotos Dsk vertės buvo mažesnės greitumo grupėje ($0,35 \pm 0,06$) nei ištvermės grupėje ($0,37 \pm 0,04$), tačiau skirtumas tarp grupių nebuvo statistiškai reikšmingas. Krūvio pradžioje sąsaja tarp minutinio ir širdies tūrio rodiklių kaitos silpnėjo, t. y. Dsk vertės didėjo, ir tai buvo būdinga abejoms tiriamųjų grupėms, ir apskritai, visiems tiriamiesiems. Skirtumas tarp grupių buvo stebimas šio pradinio diskriminanto didėjimo laipsnyje ir šio didėjimo trukmėje. Esminis skirtumas tarp grupių buvo nustatytas palyginant pradinės Dsk vertės jų didėjimo greitį ir didėjimo trukmę (4.1.2.4 pav.).

Ištvermės grupėje Dsk didėjo pirmąsias penkias fizinio krūvio minutes (iki $0,46 \pm 0,06$), palyginant su pradinėmis Dsk vertėmis, užrašytomis prieš krūvį, buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($Z = -5,159$; $p = 0,005$). Po to DSK vertės pradėjo mažėti. Greitumo grupėje Dsk vertės didėjimas (iki $0,61 \pm 0,07$) truko ilgiau (iki 7-osios krūvio minutės), tai buvo žymiai daugiau nei ištvermės grupėje, stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($Z = -6,156$; $p = 0,001$).

Abiejų grupių tiriamiesiems tolimesnis krūvio atlikimas, didėjant apkrovai, sukėlė Dsk verčių mažėjimą. Greitumo grupės Dsk vertės mažėjo iki 25-osios atliekamo krūvio minutės ir pasiekė $0,13 \pm 0,04$, o vėliau Dsk vertės pradėjo didėti. Ištvermės grupei buvo būdinga tokia pati Dsk kaitos tendencija kaip ir greitumo grupei; tačiau Dsk mažėjimas truko žymiai ilgiau ($Z = -$

2,186; $p = 0,001$). Atliekant paskutiniąsias santykinai sunkaus fizinio krūvio pakopas visiems, be išimties, tiriamiesiems buvo stebimas Dsk didėjimas, bet ištvermės grupės tiriamiesiems Dsk vertės padidėdavo mažiau.



4.1.2.4 pav. Didelio meistriškumo sportininkų sąsajos tarp sistolinio ir minutinio karaujo tūrio kaita greitumo ir ištvermės grupėse atliekant pakopomis didėjančius fizinius krūvius

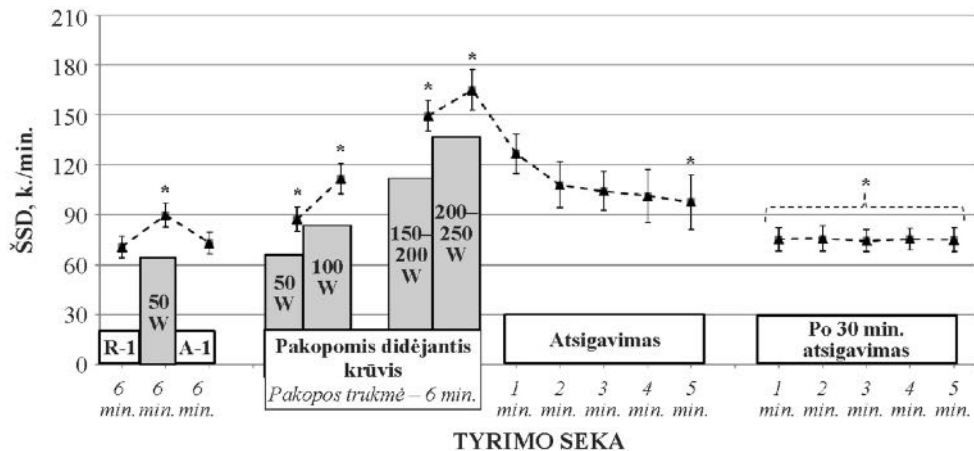
(R-1) – ramybė prieš fizinį krūvį.

4.1.3. ŠKS funkcijos ypatybės, atspindinčių rodiklių kaitos ypatybės, sportuojantiems vyrams atliekant pakopomis didėjančių krūvį iki negalėjimo bei atsigavimo metu

Sportuojančių vyrų ($n = 27$) ŠSD kaita. Šio tyrimo rezultatai pateikti 4.1.3.1 pav. Tiriamųjų ŠSD ramybės būklėje vidutiniškai buvo $70,72 \pm 6,51$ k./min. Lengvo fizinio krūvio metu ŠSD vertė išaugo iki $89,77 \pm 7,26$ k./min., stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($t(20) = -12,909$; $p = 0,001$). Atsigavimo metu per penkias minutes ŠSD sumažėjo iki $73,04 \pm 6,48$ k./min. Tęsiant tyrimą, t. y. atliekant sunkų krūvį ŠSD vis didėjo ir krūvio pabaigoje ŠSD vidutiniškai pasiekė $165 \pm 12,08$ k./min., tai buvo statistiškai reikšmingas skirtumas ($t(20) = 34,473$; $p = 0,001$).

Atsigavimo fazėje stebėjome greitą ŠSD mažėjimą ir penktąją minutę po krūvio vidutiniškai $97,66 \pm 16,40$ k./min. Stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas palyginant su pradine būkle ($t(20) = -13,613$; $p = 0,001$). Praėjus 30 min. po pratybų, tiriamųjų ŠSD vertės pasiekė $75,2 \pm 7,02$ k./min., tačiau

tai nebuvo visiškas atsigavimas. Vidutiniškai ŠSD vertės buvo reikšmingai didesnės nei prieš krūvį ($t(20) = -15,580$; $p = 0,001$).

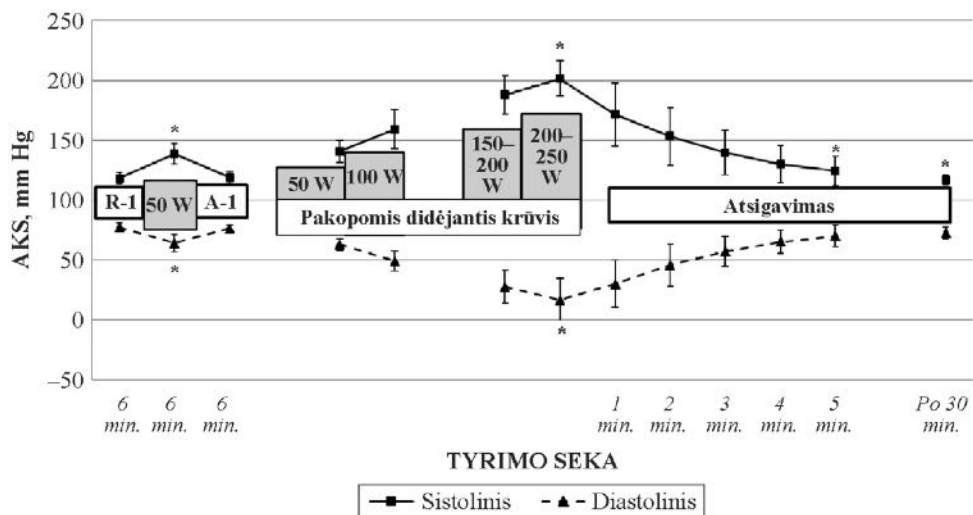


4.1.3.1 pav. Sportuojančių vyrų ŠSD kaita atliekant santykinai lengvą ir sunkų fizinį krūvį iki negalėjimo bei atsigavimo metu

(R-1) – ramybė prieš fizinį krūvį; (A-1) – atsigavimas po lengvo fizinio krūvio.

* – statistiškai reikšmingas skirtumas, palyginti su pradinėmis vertėmis.

AKS kaita. Šio tyrimo rezultatai pateikti 4.1.3.2 pav. Ramybės būklėje AKS vidutiniškai buvo: sistolinis – $118,2 \pm 4,5$ mm Hg, diastolinis $77,2 \pm 3,5$ mm Hg. Pradėjus lengvą fizinį krūvį, buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas, AKS vertės pasikeitė: sistolinis padidėjo iki $138,8 \pm 8,8$ mm Hg ($t(20) = -16,9625$; $p = 0,001$), diastolinis sumažėjo iki $64,0 \pm 7,4$ mm Hg ($t(20) = -9,709$; $p = 0,001$). Sistolinio AKS vertės atsigavimo metu po lengvo fizinio krūvio sumažėjo iki $118,8 \pm 4,7$ mm Hg, o diastolinio padidėjo iki $76,2 \pm 3,1$ mm Hg. Atliekant sunkų fizinį krūvį veloergometru (200–250 W) stebimi statistiškai reikšmingi pokyčiai, sistolinio AKS vertės padidėjo iki $201,4 \pm 14,6$ mm Hg ($t(20) = -28,316$; $p = 0,001$), diastolinio – sumažėjo iki $16,8 \pm 17,9$ mm Hg ($Z = -3,929$; $p = 0,001$). Penktąją atsigavimo minutę po sunkaus krūvio metu stebėjome greitą AKS verčių pasikeitimą: sistolinis $124,3 \pm 12,0$ mm Hg, ($Z = -3,281$; $p = 0,001$), o diastolinis $70,0 \pm 9,4$ mm Hg. Praėjus 30 min. po fizinio krūvio AKS vertės siekė: sistolinio $116,9 \pm 4,0$ mm Hg, buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($t(20) = -4,808$; $p = 0,001$) ir diastolinio $72,4 \pm 4,9$ mm Hg.

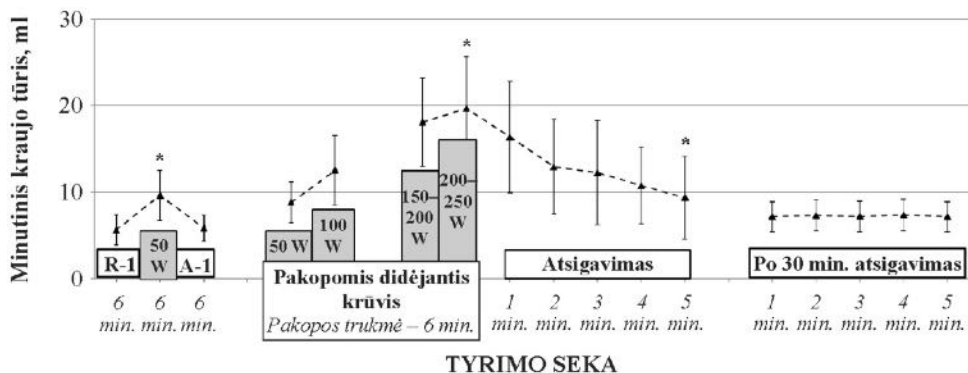


4.1.3.2 pav. Sportuojančių vyrų AKS kaita atliekant santykinai lengvą ir sunkų fizinį krūvį iki negalėjimo bei atsigavimo metu

(R-1) – ramybė prieš fizinį krūvį; (A-1) – atsigavimas po lengvo fizinio krūvio.

* – statistiškai reikšmingas skirtumas, palyginti su pradinėmis vertėmis.

Minutinio kraujo tūrio rezultatai pateikti 4.1.3.3 pav. Tiriamųjų MKT ramybės būklėje siekė $5,6 \pm 1,8$ l, tačiau pradėjus santykinai lengvą fizinį krūvį buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($t(20) = -0,9341$; $p = 0,001$). MKT vertės siekė $-9,6 \pm 2,9$ l. Atsigavimo metu, po lengvo fizinio krūvio MKT vertės siekė $5,8 \pm 1,5$ l. Sunkaus krūvio metu pasiekus 200–250 W ribą, buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($t(20) = -11,6053$; $p = 0,001$). MKT vertės padidėjo iki $19,7 \pm 6,0$ l. Atsigavimo periodu, penktąją minutę po sunkaus fizinio krūvio buvo stebimas statistiškai reikšmingas sumažėjimas ($t(20) = -3,922$; $p = 0,01$). MKT reišmės siekė $9,4 \pm 4,8$ l. Praėjus 30 minučių po pratybų MKT sumažėjo iki $7,2 \pm 1,7$.



4.1.3.3 pav. Sportuojančių vyrų minutinio kraujo tūrio kaita, atliekant santykinai lengvą ir sunkų fizinį krūvį iki negalėjimo bei atsigavimo metu

(R-1) – ramybė prieš fizinį krūvį; (A-1) – atsigavimas po lengvo fizinio krūvio.

* – statistiškai reikšmingas skirtumas, palyginti su pradinėmis vertėmis.

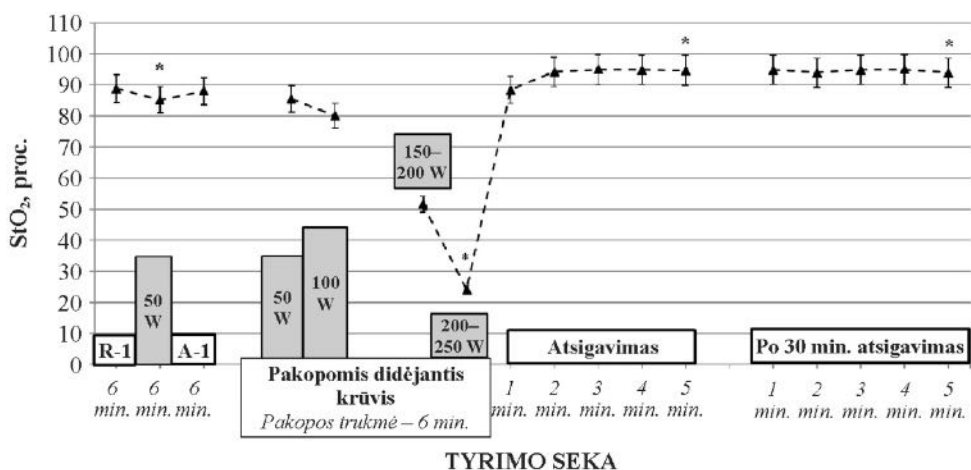
Deguonies įsisotrinimo raumens audinyje kaita. Šio tyrimo rezultatai pateikti 4.1.3.4 pav.

Tiriamųjų StO_2 vertės ramybės būklėje vidutiniškai buvo $88,8 \pm 6,6$ proc. Lengvo fizinio krūvio metu StO_2 vertės sumažėjo iki $85,2 \pm 7,4$ proc. Buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($t(19) = 3,590$; $p = 0,002$).

Tačiau atsigavimo po lengvo fizinio krūvio metu penktąją minutę StO_2 vertė padidėjo iki $88,0 \pm 7,4$ proc. Statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta ($Z = -1,505$; $p = 0,132$). Tęsiant tyrimą, t. y. atliekant sunkų krūvį StO_2 vis didėjo ir krūvio pabaigoje StO_2 vidutiniškai pasiekė $24,1 \pm 19,5$ proc. buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($t(19) = 16,272$; $p = 0,001$).

Atsigavimo fazėje stebėjome StO_2 didėjimą ir penktąją minutę po krūvio StO_2 vidutinė vertė buvo $94,7 \pm 3,8$ proc., buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($t(19) = -4,859$; $p = 0,001$).

Praėjus 30 min. po pratybų, tiriamųjų StO_2 vertės $93,9 \pm 19,8$ proc., statistiškai reikšmingai skyrėsi palyginant su pradinės būklės vertėmis ($t(19) = -4,137$; $p = 0,001$).

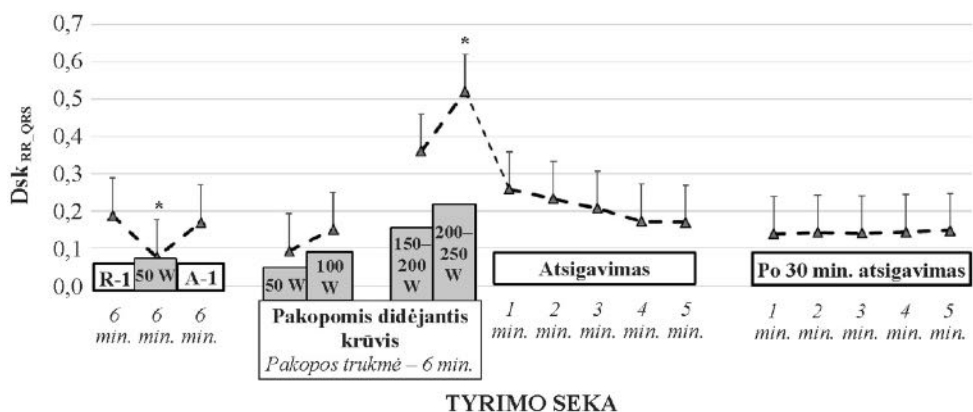


4.1.3.4 pav. Sportuojančių vyrų deguonies įsisotinimo raumens audinyje kaita, atliekant santykinai lengvą ir sunkų fizinį krūvį iki negalėjimo bei atsigavimo metu

(R-1) – ramybė prieš fizinį krūvį; (A-1) – atsigavimas po lengvo fizinio krūvio.

* – statistiškai reikšmingas skirtumas, palyginti su pradinėmis vertėmis.

Dsk_{RR_QRS} kaita. Šio tyrimo rezultatai pateikti 4.1.3.5 pav. Tiriamiesiems ramiai sėdint prieš krūvį Dsk_{RR_QRS} vertės buvo $0,188 \pm 0,118$. Lengvo fizinio krūvio pradžioje stebėjome greitą Dsk_{RR_QRS} augimą – $0,076 \pm 0,058$. Buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($Z = -2,972$; $p = 0,003$). Atsigavimo po lengvo fizinio krūvio metu Dsk_{RR_QRS} vertės – $0,170 \pm 0,122$. Palyginant Dsk_{RR_QRS} atsigavimą po lengvo fizinio krūvių ir pradinės būklės reikšmingo skirtumo nepastebėta. Sunkaus krūvio metu (200–250 W) buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($t(20) = -5,013$; $p = 0,001$). Dsk_{RR_QRS} vertės padidėjo – $0,521 \pm 0,233$. Atsigavimo po sunkaus fizinio krūvio metu Dsk_{RR_QRS} vertės ženkliai sumažėjo – $0,169 \pm 0,187$. Praėjus 30 min. po pratybių, tiriamųjų Dsk_{RR_QRS} vertės mažėjo $0,147 \pm 0,099$, statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta ($Z = -0,782$; $p = 0,434$).

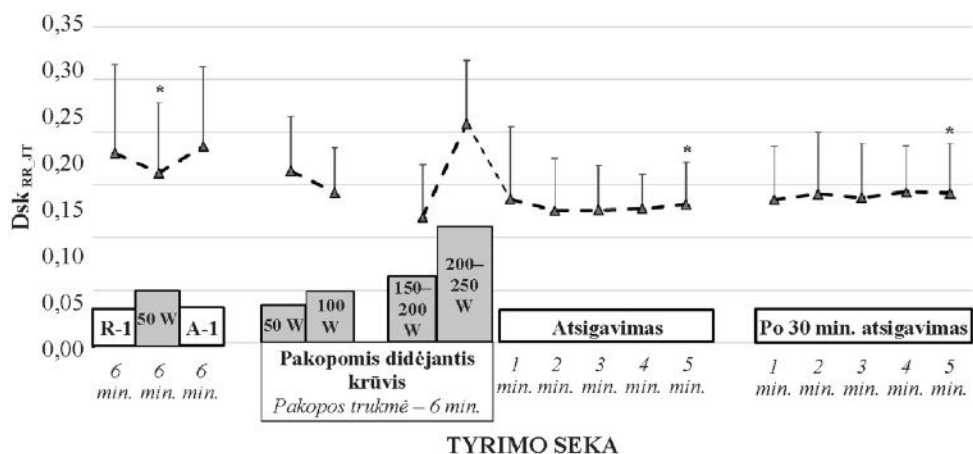


4.1.3.5 pav. Sportuojančių vyrų dinaminių sąsajų Dsk_{RR_ORS} kaita, atliekant santykinai lengvą ir sunkų fizinį krūvį iki negalėjimo bei atsigavimo metu

(R-1) – ramybė prieš fizinį krūvį; (A-1) – atsigavimas po lengvo fizinio krūvio.

* – statistiškai reikšmingas skirtumas palyginant vidurkius su pradinėmis vertėmis.

Dsk_{RR_JT} kaita. Šio tyrimo rezultatai pateikti 4.1.3.6 pav. Tiriamųjų Dsk_{RR_JT} vertės ramybės būklėje buvo $0,181 \pm 0,084$. Lengvo fizinio krūvio pradžioje stebėjome Dsk_{RR_JT} sumažėjimą – $0,161 \pm 0,067$. Atsigavimo po lengvo fizinio krūvio metu Dsk_{RR_JT} vertės padidėjo iki $0,186 \pm 0,076$ statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta. Sunkaus krūvio metu (200–250 W) buvo stebimas Dsk_{RR_JT} vertės padidėjimas – $0,208 \pm 0,060$. Atsigavimo po sunkaus fizinio krūvio metu Dsk_{RR_JT} vertės ženkliai sumažėjo iki $0,132 \pm 0,040$, buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($t(20) = 2,36$; $p = 0,03$). Praėjus 30 min. po pratybų, tiriamųjų Dsk_{RR_JT} vertės padidėjo $0,142 \pm 0,047$, buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas palyginant su ramybės būklės vertėmis ($t(20) = 2,40$; $p = 0,03$).

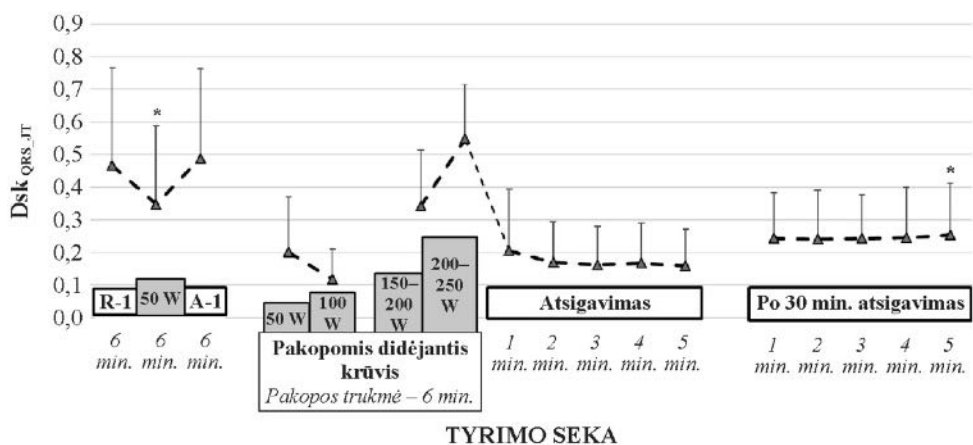


4.1.3.6 pav. Sportuojančių vyrų dinaminių sąsajų Dsk_{RR_JT} kaita, atliekant santykinai lengvą ir sunkų fizinį krūvį iki negalėjimo bei atsigavimo metu

(R-1) – ramybė prieš fizinį krūvį; (A-1) – atsigavimas po lengvo fizinio krūvio.

* – statistiškai reikšmingas skirtumas palyginant vidurkius su pradinėmis vertėmis.

Dsk_{QRS_JT} kaita. Šio tyrimo rezultatai pateikti 4.1.3.7 pav. Tiriamųjų Dsk_{QRS_JT} vertės ramybės būklėje buvo $0,466 \pm 0,300$. Lengvo fizinio krūvio pradžioje stebėjome Dsk_{QRS_JT} sumažėjimą – $0,348 \pm 0,240$. Buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($t(19) = 3,37$; $p = 0,001$). Atsigavimo po lengvo fizinio krūvio metu Dsk_{QRS_JT} vertės padidėjo iki $0,489 \pm 0,274$ statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta. Sunkaus krūvio metu buvo stebimas Dsk_{QRS_JT} vertės padidėjimas – $0,548 \pm 0,167$. Atsigavimo po sunkaus fizinio krūvio metu Dsk_{QRS_JT} vertės ženkliai sumažėjo iki $0,159 \pm 0,111$. Praėjus 30 min. po pratybų, tiriamųjų Dsk_{QRS_JT} vertės nežymiai padidėjo $0,254 \pm 0,158$, buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas palyginant su ramybės būklės vertėmis ($t(19) = -4,53$; $p = 0,002$).

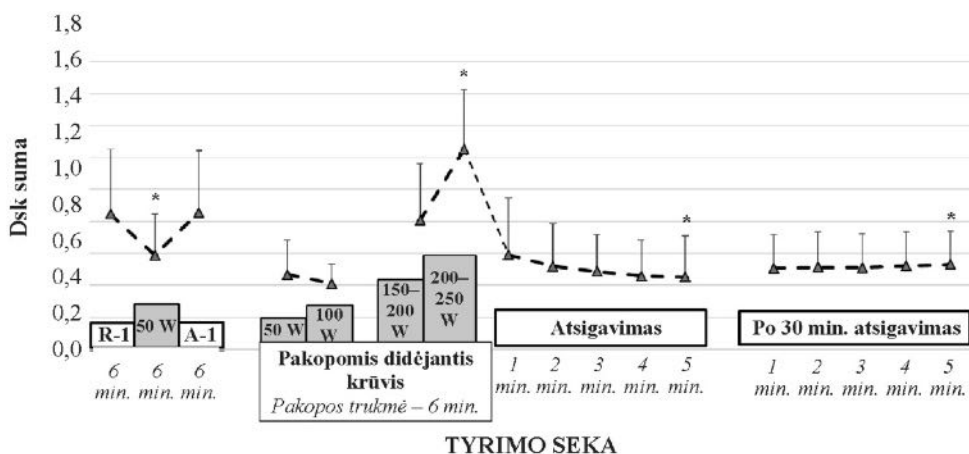


4.1.3.7 pav. Sportuojančių vyrų dinaminių sąsajų Dsk_{QRS_JT} kaita, atliekant santykinai lengvą ir sunkų fizinį krūvį iki negalėjimo bei atsigavimo metu

(R-1) – ramybė prieš fizinį krūvį; (A-1) – atsigavimas po lengvo fizinio krūvio.

* – statistiškai reikšmingas skirtumas palyginant vidurkius su pradinėmis vertėmis.

Integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų (Dsk_{RR_QRS} ; Dsk_{RR_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) kaita pateikta 4.1.3.8 pav. Dsk vertės ramybės būklėje vidutiniškai buvo $0,845 \pm 0,406$. Lengvo krūvio metu Dsk vertės sumažėjo iki $0,587 \pm 0,261$. Stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($Z = -4,556$; $p = 0,001$). Atsigavimo po lengvo krūvio metu Dsk vertės atsistatė iki pradinių verčių $0,855 \pm 0,389$. Sunkaus krūvio metu buvo stebimas Dsk verčių padidėjimas – $1,254 \pm 0,371$. Stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($Z = -3,183$; $p = 0,01$). Atsigavimo po sunkaus fizinio krūvio metu Dsk vertės statistiškai reikšmingai sumažėjo iki $0,453 \pm 0,256$, ($Z = -3,804$; $p = 0,001$). Praėjus 30 min. po pratybų, tiriamųjų Dsk vertės nežymiai padidėjo $0,531 \pm 0,208$, ir tai buvo statistiškai reikšmingas skirtumas palyginant su ramybės būklės vertėmis ($Z = -4,738$; $p = 0,001$).



4.1.3.8 pav. Sportuojančių vyrų integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų (Dsk_{RR_QRS} ; Dsk_{RR_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) kaita atliekant santykinai lengvą ir sunkų fizinį krūvį iki negalėjimo bei atsigavimo metu

(R-1) – ramybė prieš fizinį krūvį; (A-1) – atsigavimas po lengvo fizinio krūvio.

* – statistiškai reikšmingas skirtumas palyginant skirstinius su pradinėmis vertėmis

4.2. Pratybų taikant okliuzinės treniruotės metodą sportuojančių, sveikatą stiprinančių vyrų įtaka ŠKS

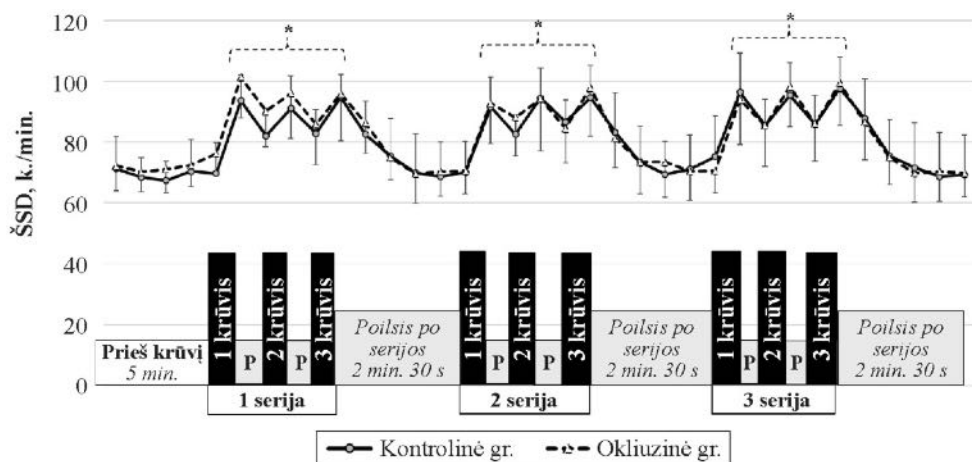
Sportuojančių, sveikatą stiprinančių vyrų ($n = 24$) suvidurkinta ŠSD kaita pateikta 4.2.1 pav. ŠSD kontrolinio tyrimo metu tiriamųjų vertės, ramybės būklėje prieš tyrimą, vidutiniškai, buvo $69,4 \pm 3,1$ k./min. Tyrimo su okliuziniu poveikiu – $71,7 \pm 3,2$ k./min. Pradėjus krūvį jau pirmojo krūvio metu ŠSD statistiškai reikšmingai padidėjo: kontrolinio tyrimo metu – iki $94,8 \pm 2,8$ k./min. ($Z = -2,079$; $p = 0,01$); okliuzinio poveikio tyrimo metu – iki $95,8 \pm 4,4$ k./min. ($Z = -3,061$; $p = 0,02$). Statistiškai reikšmingo skirtumo tarp tyrimų nebuvo ($p > 0,05$).

Po pirmosios krūvio serijos, poilsio metu, kontrolinio tyrimo metu ŠSD vertės sumažėjo iki $70,0 \pm 3,9$ k./min., okliuzinio poveikio tyrimo metu – iki $70,5 \pm 2,2$ k./min. Abiejų tyrimų metu statistiškai reikšmingo skirtumo tarp ŠSD ramybės būklėje ir ŠSD atsigavimo tarp serijų pabaigoje (*atsigavimo tarp serijų trukmė – 2,5 min.*) nebuvo.

Palyginant abiejų tyrimų metu užrašytas ŠSD vertes tarp ramybės būklės ir antrosios krūvio serijos buvo stebimi statistiškai reikšmingi skirtumai, kontrolinio tyrimo ŠSD padidėjo iki $94,6 \pm 3,9$ k./min. ($Z = -3,059$; $p = 0,04$) okliuzinio poveikio tyrimo metu – iki $97,9 \pm 4,6$ k./min. ($Z = -4,037$; $p = 0,02$). Lygindami abiejų tyrimų metu užrašytas ŠSD vertes statistiškai reikšmingų skirtumų nepastebėjome ($p > 0,05$).

Po antrosios krūvio serijos poilsio metu ŠSD vertės sumažėjo: kontrolinio tyrimo metu – iki $75,2 \pm 5,0$ k./min., okliuzinio poveikio tyrimo metu – iki $70,6 \pm 2,1$ k./min., statistiškai reikšmingo skirtumo tarp tyrimų nebuvo ($p > 0,05$).

Palyginant ramybės būklės ir trečiosios krūvio serijos metu užrašytas ŠSD vertes buvo stebimi statistiškai reikšmingi skirtumai, kontrolinio tyrimo metu ŠSD padidėjo, vidutiniškai, iki $97,7 \pm 3,9$ k./min. ($Z = -5,024$; $p = 0,02$). Okliuzinio poveikio tyrimo metu ŠSD padidėjo iki $99,5 \pm 4,1$ k./min. ($Z = -3,369$; $p = 0,02$). Atsigavimo po trečiosios serijos metu ŠSD sumažėjo, vidutiniškai, iki $69,2 \pm 5,0$ k./min. kontrolinio tyrimo metu ir iki $69,8 \pm 2,2$ k./min. – okliuzinio poveikio tyrime. Statistiškai reikšmingo skirtumo tarp šių ŠSD verčių nebuvo.



4.2.1 pav. Sportuojančių vyrų ŠSD kaita pratybose taikant tradicinę ir okliuzinės treniruotės metodą

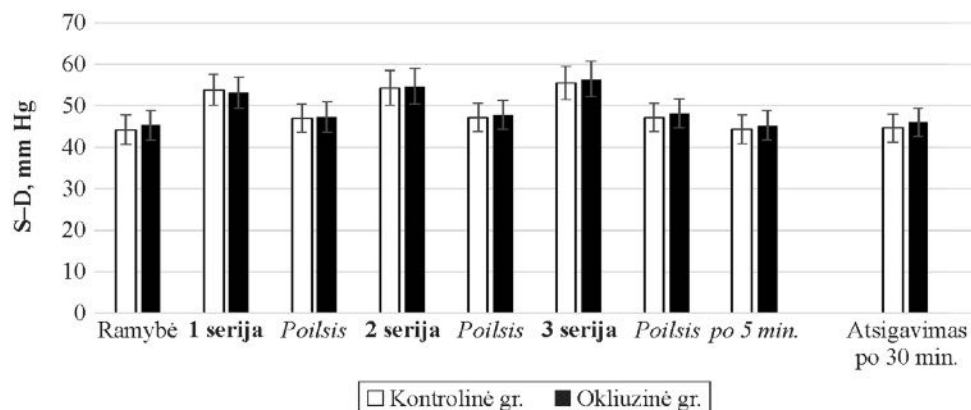
* – statistiškai reikšmingas skirtumas palyginant skirstinius su pradinėmis vertėmis.

– $p < 0,05$, reikšmingas skirtumas tarp tradicinės treniruotės ir okliuzinio poveikio grupių.

AKS kaita. Atliekant lokalaus pobūdžio fizinę krūvį AKS vertės kito santykinai nedidelėse ribose (*nebuvo drastiško slėgio padidėjimo*), todėl pratybų poveikio palyginimui pateikiame pulsinio slėgio (S–D) kaitos duomenis. Gauti šio vertinimo rezultatai pateikti 4.2.2 pav. Ramybės būklėje pulsinis AKS, vidutiniškai, buvo $44,2 \pm 3,6$ mm Hg – kontrolinio tyrimo metu ir $45,3 \pm 3,6$ mm Hg – okliuzinio poveikio tyrimo metu. Po pirmosios serijos pulsinio AKS vertės atitinkamai padidėjo iki $53,8 \pm 3,8$ mm Hg ir $53,1 \pm 3,8$ mm Hg, tačiau atsigavimo po krūvio metu, vertės vėl sumažėjo $47,0 \pm 3,5$ mm Hg ir $47,3 \pm 3,6$ mm Hg. Po antrosios krūvio serijos kontrolinio tyrimo metu pulsinio AKS vertės padidėjo iki $54,2 \pm 4,2$ mm Hg, ir okliuzinio

poveikio tyrime – iki $54,7 \pm 4,3$ mm Hg. Atsigavimo metu, po antrosios serijos pulsinio AKS vertės buvo: $47,2 \pm 3,4$ mm Hg – kontrolinio tyrimo metu ir $47,8 \pm 3,5$ mm Hg – okliuzinio poveikio tyrimo metu. Atliekant trečiąją krūvio seriją, kontrolinio tyrimo metu pulsinio AKS vertės padidėjo iki $55,4 \pm 4,0$ mm Hg, ir iki $56,4 \pm 4,2$ mm Hg – okliuzinio poveikio tyrimo metu. Atsigavimo po trečiosios serijos metu pulsinis AKS sumažėjo iki $47,2 \pm 3,4$ mm Hg – kontrolinio tyrimo metu; ir iki $48,1 \pm 3,5$ mm Hg – okliuzinio poveikio tyrimo metu. Lygindami kontroliniame tyrime ir okliuzinio poveikio tyrime gautas pulsinio AKS vertes neradome statistiškai reikšmingų skirtumų visuose tyrimų etapuose.

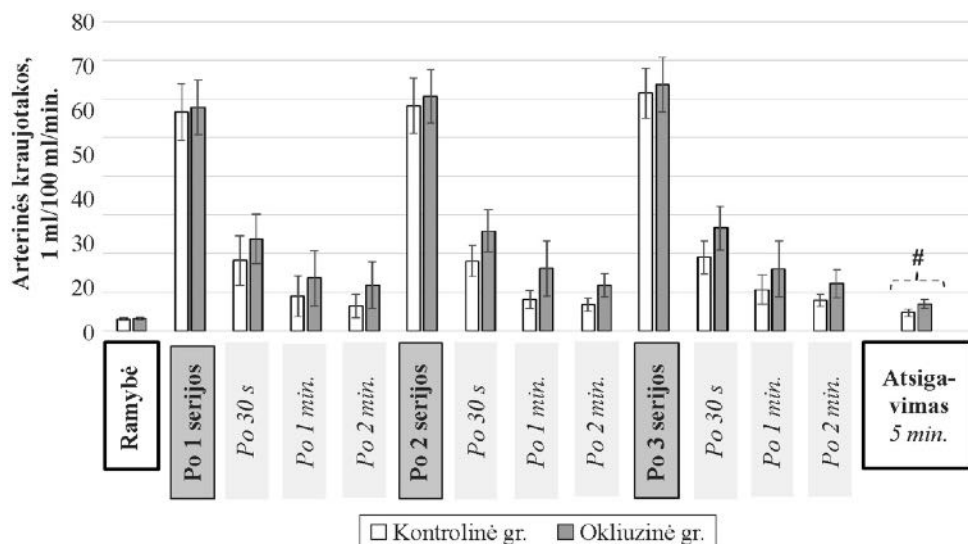
Praėjus 5 min. po pratybų stebėjome pulsinio AKS sumažėjimą: kontrolinio tyrimo metu – $44,3 \pm 3,5$ mm Hg ir okliuzinio poveikio tyrimo metu – $45,2 \pm 3,6$ mm Hg. Praėjus 30 min. po pratybų visos AKS rodiklių vertės nesiskyrė nuo pradinių verčių registruotų prieš pratybas ($p > 0,05$).



4.2.2 pav. Sportuojančių vyrų pulsinio AKS kaita pratybose taikant tradicinį ir okliuzinės treniruotės metodą

Arterinės kraujotakos blauzdos raumenyse kaita (AK). AK kaitos tyrimo rezultatai pateikti 4.2.3 pav. Ramybės būklėje AK vertės buvo: kontrolinio tyrimo metu – $3,1 \pm 0,4$ ml/100 ml/min., okliuzinio poveikio tyrimo metu – $3,2 \pm 0,3$ ml/100 ml/min. Po pirmosios fizinio krūvio serijos buvo registruojama padidėjusios AK vertės, atitinkamai, iki $56,6 \pm 7,3$ ml/100 ml/min. – kontrolinio tyrimo metu, ir iki $57,9 \pm 7,1$ ml/100 ml/min. – okliuzinio poveikio tyrimo metu. Po antrosios krūvio serijos AK vertės vidutiniškai buvo padidėjusios iki $58,2 \pm 7,2$ ml/100 ml/min., tačiau statistiškai reikšmingai nesiskyrė nuo AK verčių registruotų okliuzinio poveikio tyrimo metu – $60,6 \pm 6,9$ ml/100 ml/min. ($U = 59$, $p = 0,4780$). Po trečiosios krūvio serijos nebuvo statistiškai reikšmingo skirtumo tarp AK verčių registruotų kontrolinio tyri-

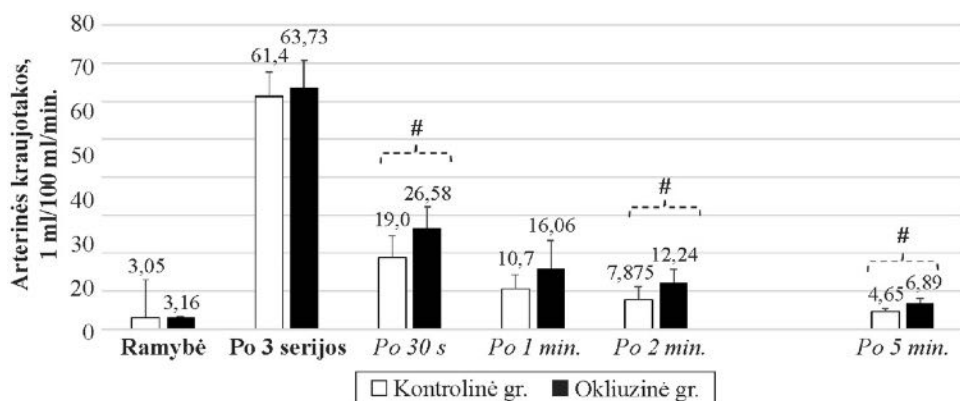
mo metu – $61,4 \pm 6,4$ ml/100 ml/min. ir okliuzinio poveikio tyrimo metu – $63,7 \pm 7,0$ mm Hg.



4.2.3 pav. Sportuojančių vyrų arterinės kraujotakos kaita blauzdoje pratybose taikant tradicinės ir okliuzinės treniruotės metodus

– $p < 0,05$, reikšmingas skirtumas tarp grupių, palyginant skirstinius.

Vertinant AK tyrimo duomenis būtina išskirti AK kaitą atsigavimo po krūvio serijos metu 4.2.4 pav. Stebėjome lėtėjantį AK atsigavimą po pratybų (po trečiosios krūvio serijos). Statistiškai reikšmingai buvo didesnės AK vertės registruotos tiek 30, 60, 120 ir net 300 s. kontrolinės tyrimo grupės: ($Z = -4,287$; $p = 0,001$). Okliuzinės tyrimo grupės ($Z = -3,059$; $p = 0,002$). Tarp grupių buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($U = 10$, $p = 0,001$).



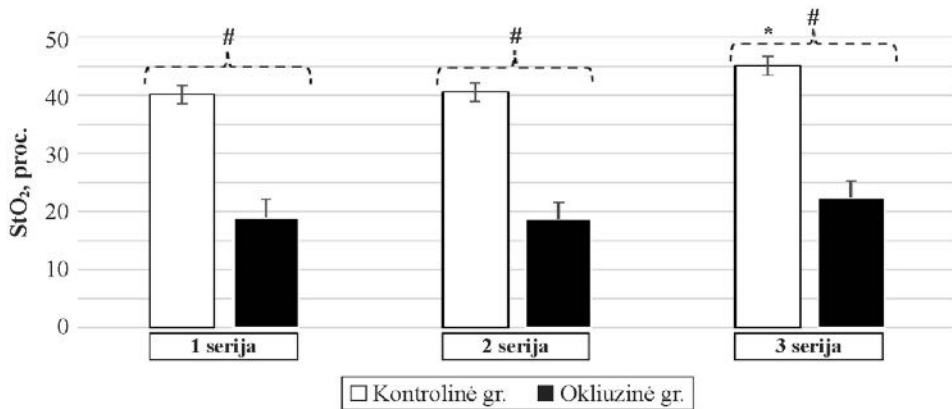
4.2.4 pav. Sportuojančių vyrų arterinės kraujotakos atsigavimas po pratybų

– $p < 0,05$, statistiškai reikšmingas skirtumas tarp grupių, palyginant skirstinius.

Sportuojančių vyrų deguonies įsisotinimo (StO_2) raumens audinyje kaita

StO_2 kaitos tyrimo duomenys pateikti 4.2.5 pav. Ramybės būklėje prieš tyrimą registruotos StO_2 buvo prilyginamos 100 proc. ir toliau, atitinkamai, pateikiama normalizuotos rodiklio vertės kaita.

Pirmosios krūvio serijos metu StO_2 vertės drastiškai mažėjo – iki $40,1 \pm 3,6$ proc. – kontrolinio tyrimo metu; ir iki $19,0 \pm 3,6$ proc. – okliuzinio poveikio tyrimo metu, tai buvo statistiškai reikšmingas skirtumas ($U = 0$, $p = 0,001$). „ $U = 0$ “ reiškia, kad įverčiai kontrolinėje grupėje yra didesnės, palyginti su okliuzinio poveikio tyrimo grupės vertėmis. Antrosios krūvio serijos metu StO_2 vertės skyrėsi: kontrolinio tyrimo metu – $40,6 \pm 3,6$ proc.; okliuzinio poveikio tyrimo metu – $18,7 \pm 2,8$ proc., Skirtumas tarp tyrimų buvo statistiškai reikšmingas ($U=0$, $p=0,001$). Palyginant pirmosios krūvio serijos metu StO_2 vertes su trečiosios krūvio serijos vertėmis stebėjome statistiškai reikšmingą skirtumą ($Z = -361$; $p = 0,002$) lygindami kontrolinio tyrimo duomenis, tačiau tokio skirtumo nebuvo, kai lyginome okliuzinio poveikio tyrimų duomenis. Trečiosios krūvio serijos metu StO_2 vertės vėlgi skyrėsi tarp tyrimų ($U = 0$, $p = 0,001$).



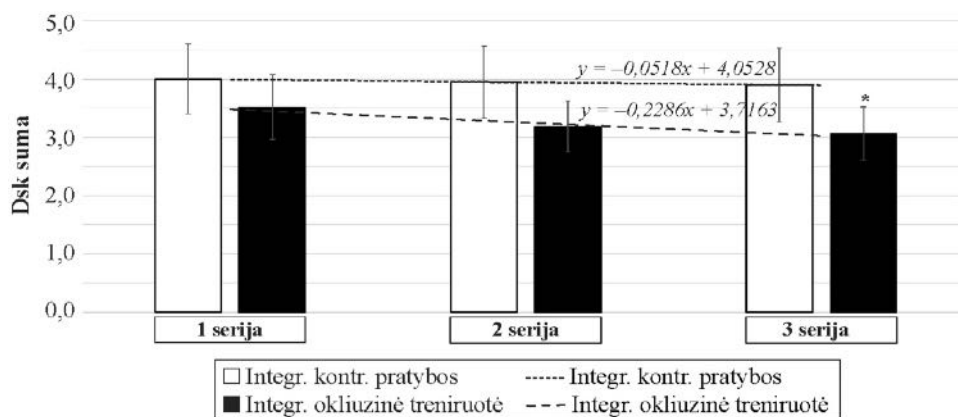
4.2.5 pav. Sportuojančių vyrų deguonies įsisotinimo raumens audinyje (StO₂) kaita tradicinės ir okliuzinės treniruotės metu

* – statistiškai reikšmingas skirtumas palyginant pirmosios serijos krūvį su trečiosios serijos krūvio vertėmis.

– $p < 0,05$, reikšmingas skirtumas tarp grupių, palyginant skirstinius.

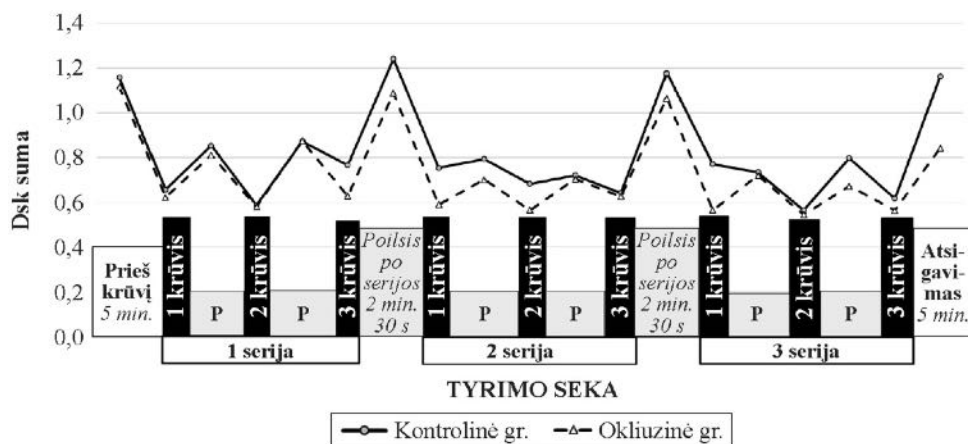
Sportuojančių vyrų integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų (Dsk_{R_{RR}_QRS}; Dsk_{R_{RR}_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) kaita pateikta 4.2.6 ir 4.2.7 paveiksluose. Prieš pratybas Dsk vertės vidutiniškai buvo $1,16 \pm 0,69$ – kontrolinio tyrimo metu, ir $1,12 \pm 0,52$ – okliuzinio poveikio tyrimo metu. Statistiškai reikšmingai šios Dsk vertės nesiskyrė ($U = 560$, $p = 0,590$).

Pirmosios tyrimo serijos metu Dsk vertės, vidutiniškai buvo $4,0 \pm 0,60$ – kontrolinio tyrimo metu, ir $3,52 \pm 0,56$ – okliuzinio poveikio tyrimo metu. Šios vertės tarpusavyje statistiškai reikšmingai nesiskyrė ($U = 637$, $p = 0,901$). Antrosios serijos krūvio metu taip pat buvo stebimas Dsk sumažėjimas: kontrolinio tyrimo metu – $3,95 \pm 0,61$; okliuzinio poveikio tyrimo metu – $3,19 \pm 0,43$. Skirtumas tarp šių verčių nebuvo statistiškai reikšmingas ($U = 604$, $p = 0,620$). Trečiosios krūvio serijos metu taip pat nebuvo reikšmingo skirtumų tarp tyrimų. Lygindami pirmosios krūvio serijos okliuzinio poveikio tyrime Dsk vertes su trečiosios krūvio serijos vertėmis, stebėjome statistiškai reikšmingą skirtumą $3,07 \pm 0,46$, ($Z = -1,540$; $p = 0,124$). Tačiau tarp grupių statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta ($U = 510$, $p = 0,669$).



4.2.6 pav. Sportuojančių vyrų integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų (Dsk_{RR_QRS} ; Dsk_{RR_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) kaita pratybose taikant tradicinį ir okliuzinės treniruotės metodą

* – statistiškai reikšmingas skirtumas palyginant skirstinius tarp pirmosios serijos krūviu ir trečiosios serijos krūvio vertėmis.



4.2.7 pav. Sportuojančių vyrų integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų (Dsk_{RR_QRS} ; Dsk_{RR_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) kaita pratybose taikant tradicinį ir okliuzinės treniruotės metodą

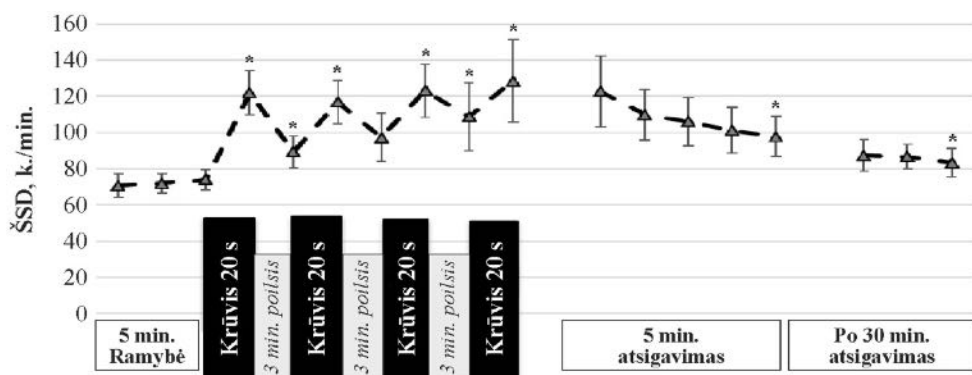
4.3. Pratybų, taikant didelio intensyvumo intervalinio pobūdžio krūvius, įtaka sportuojančių, sveikatą stiprinančių vyrų ŠKS

ŠSD kaitos ypatybės

Sportuojančių, sveikatą stiprinančių vyrų ($n = 16$) ŠSD kaita tiriamiesiems atliekant trumpos trukmės didelio intensyvumo intervalinio pobūdžio krūvius, parodyta 4.3.1 pav. Santykinės ramybės būklėje prieš pratybas tiriamųjų ŠSD vertės, svyravo nedidelėse ribose ir vidutiniškai buvo $72,2 \pm 5,9$ k./min. Vertinant suvidurkintus ŠSD kaitos rezultatus, galima išvelgti silpnai išreikštą ŠSD didėjimo tendenciją, tiriamiesiems laukiant intensyvaus krūvio užduočių. Atliekant pirmąją didelio intensyvumo užduotį, ŠSD padidėjo, vidutiniškai, iki $122,0 \pm 11,9$ k./min. Tai buvo statistiškai reikšmingas padidėjimas ($t(16) = -22,562$; $p = 0,001$); Po pirmojo krūvio poilsio metu (*atsigavimas tarp serijų buvo 3 min.*) ŠSD vertės sumažėjo iki $89,9 \pm 8,1$ k./min., tačiau tai nebuvo pilnas atsigavimas iki pradinį ŠSD verčių. Skirtumas buvo statistiškai reikšmingas ($t(16) = -9,649$; $p = 0,001$). Antrojo krūvio kartojimo metu ŠSD vertės padidėjo – $115,4 \pm 12,1$ k./min. Atsigavimo metu ŠSD vertės siekė – $96,7 \pm 13,9$ k./min. ir tai buvo statistiškai reikšmingas skirtumas lyginant su pradinėmis vertėmis ($t(16) = -17,741$; $p = 0,001$). Trečiojo krūvio metu ŠSD vertės padidėjo iki $122,8 \pm 14,2$ k./min., ketvirtojo krūvio metu – $123,72 \pm 21,6$ k./min.

Po viso planuoto keturių trumpalaikių intensyvių krūvių, ŠSD atsigavimas per penkias pirmąsias minutes buvo santykinai lėtokas, t. y. pirmąją atsigavimo po krūvio minutę – $120,1 \pm 20,2$ k./min., ir penktąją minutę – $95,5 \pm 11,6$ k./min. Šios ŠSD vertės statistiškai reikšmingai buvo didesnės nei ŠSD vertės, registruotos prieš krūvį ($t(16) = -8,750$; $p = 0,001$).

Praėjus 30 min. po pratybų ŠSD vertės sumažėjo (iki $84,6 \pm 6,4$ k./min.), tačiau jos vis dar reikšmingai skyrėsi nuo pradinį ŠSD verčių, registruotų prieš pratybas ($t(16) = -8,354$; $p = 0,001$).

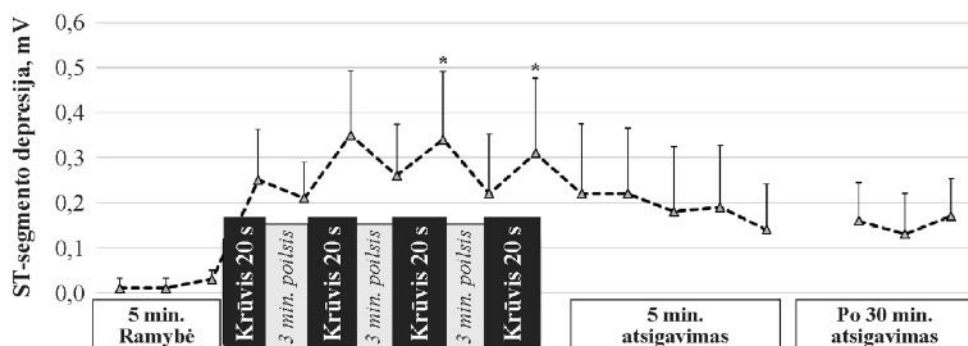


4.3.1 pav. Sportuojančių vyrų ŠSD kaita pratybose taikant trumpus didelio intensyvumo intervalinio pobūdžio krūvius

* – statistiškai reikšmingas skirtumas palyginant vidurkius su pradinėmis vertėmis.

Sportuojančių, sveikatą stiprinančių vyrų ST segmento depresijos vertinimas

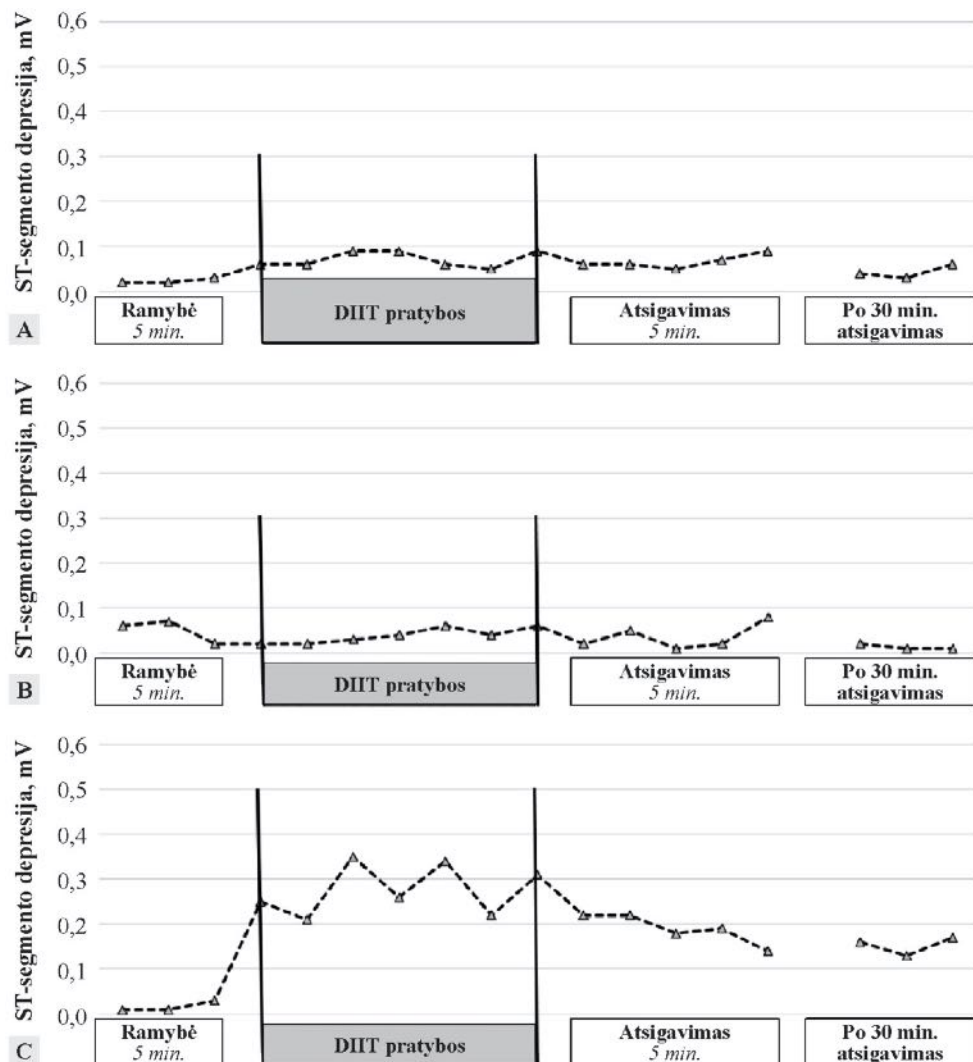
Tyrimė užrašyta ST segmento depresijos kaita pratybose taikant DIIT metodą pateikta 4.3.2 pav. Gauti suvidurkinti šio EKG rodiklio rezultatai neleidžia daryti apibendrinančių išvadų. Gautų verčių atskiruose tyrimo etapuose statistiniai palyginimai neatskleidžia kaitos ypatybių. Nors radome statistiškai reikšmingą skirtumą ($t(16) = 2,247$; $p = 0,001$) lygindami ST segmento vertes ramybės būklėje ir po paskutiniosios greito užduoties, tačiau toks dėsninumas nebuvo būdingas visiems tiriamiesiems. Būtina pažymėti, kad vertindami šio tyrimo rezultatus stebėjome daug individualių ypatybių, t. y. atskiri tiriamieji skirtingai reagavo į DIIT pratybų krūvius.



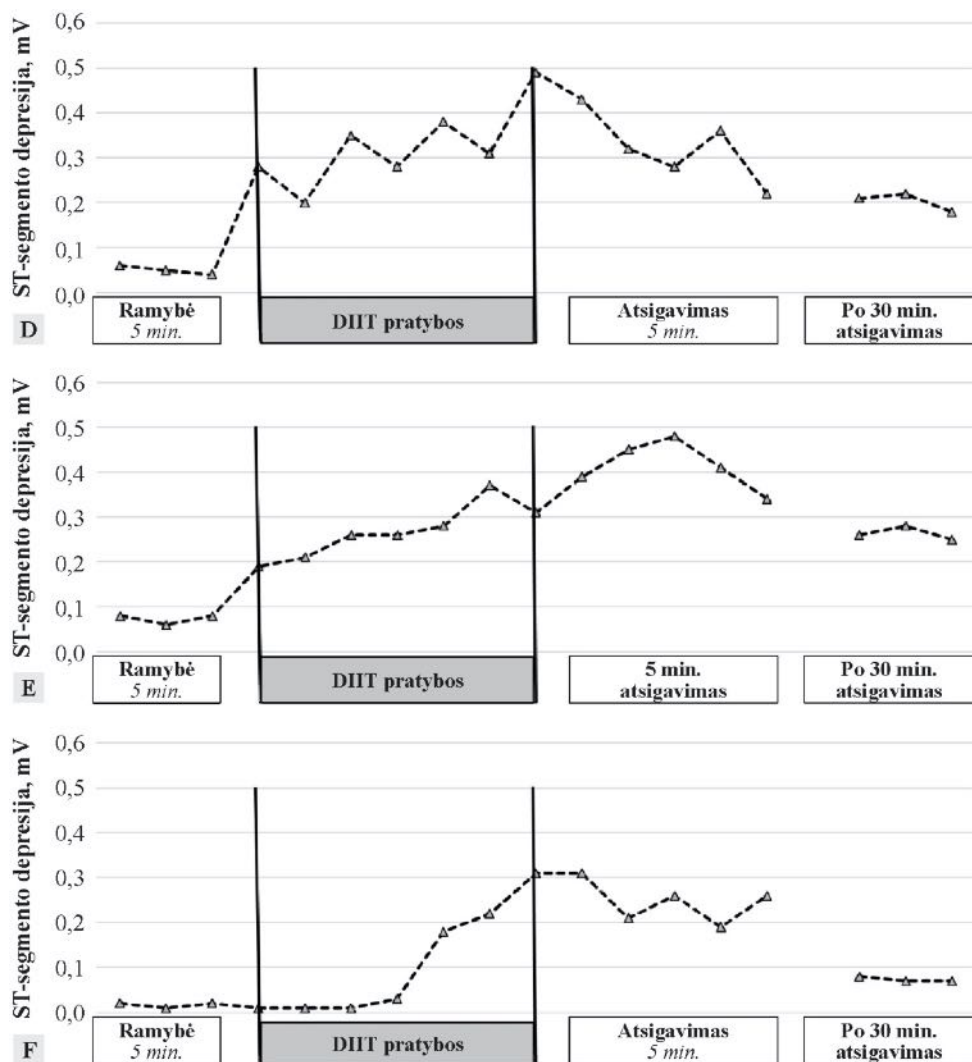
4.3.2 pav. Sportuojančių vyrų ST segmento depresijos kaita pratybose taikant trumpus didelio intensyvumo intervalinio pobūdžio krūvius

* – statistiškai reikšmingas skirtumas palyginant vidurkius su pradinėmis vertėmis.

Mūsų stebėti individualūs ypatumai pavaizduoti 4.3.3 pav. Didžiajai daliai tiriamųjų (*vienuolika atvejų*) nebuvo reikšmingų ST segmento pasikeitimų (4.3.3 pav. A, B). Dalis tiriamųjų (*trys atvejai*) reagavo į greičio užduoties atlikimą – ST segmento depresija pamažu didėjo (4.3.3 pav. C, D). Dviem tiriamiesiems didžiausios ST segmento depresijos vertės buvo stebėtos po paskutiniosios užduoties atlikimo (4.3.3 pav. E, F).



4.3.3 pav. (A–C) Sportuojančių vyrų ST segmento depresijos kaita pratybose taikant trypus didelio intensyvumo intervalinio pobūdžio krūvius (individualūs atvejai)



4.3.3 pav. (D–F) Sportuojančių vyrų ST segmento depresijos kaita pratybose taikant trypus didelio intensyvumo intervalinio pobūdžio krūvius (individualūs atvejai)

Sąsaja tarp RR intervalo ir QRS komplekso trukmės (Dsk_{RR_QRS}) (4.3.4 pav. A)

Sportuojančių vyrų ramybės būklėje Dsk_{RR_QRS} verčių vidurkis buvo $0,307 \pm 0,14$. Pirmosios aukšto intensyvumo intervalinio krūvio metu stebėjome greitą Dsk_{RR_QRS} augimą – $0,658 \pm 0,32$; Atsigavimo po pirmosios serijos metu (atsigavimas tarp serijų buvo 3 min.) Dsk_{RR_QRS} vertės – $0,211 \pm$

0,10. Antrosios serijos krūvio metu Dsk_{RR_QRS} vertės padidėjo – $0,732 \pm 0,63$. Atsigavimo po antrosios serijos metu Dsk_{RR_QRS} vertės ženkliai sumažėjo – $0,190 \pm 0,13$. Trečiosios krūvio serijos metu Dsk_{RR_QRS} vertės padidėjo iki $0,883 \pm 0,79$. Atsigavimo po trečiojo krūvio metu Dsk_{RR_QRS} vertės sumažėjo iki $0,193 \pm 0,12$. Ketvirtosios krūvio serijos metu Dsk_{RR_QRS} vertės ženkliai padidėjo iki $0,972 \pm 0,96$. Penktąją atsigavimo minutę po aukšto intensyvumo intervalinės treniruotės Dsk_{RR_QRS} vertės sumažėjo iki $0,143 \pm 0,09$. Praėjus 30 min. po pratybų buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($t(16) = 5,267$; $p = 0,001$) tiriamųjų Dsk_{RR_QRS} vertės sumažėjo iki $104,7 \pm 0,07$.

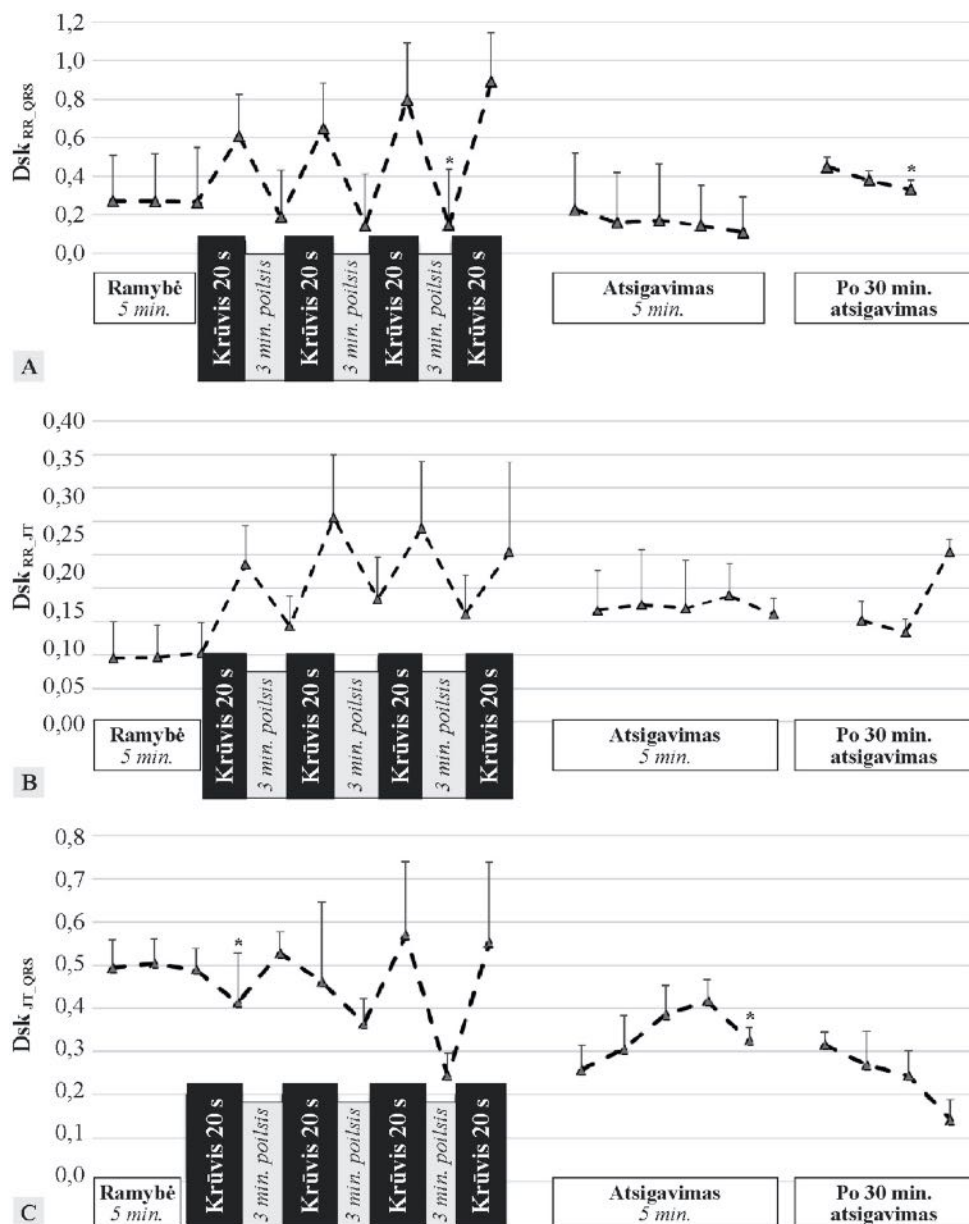
Sąsaja tarp RR ir JT intervalų (Dsk_{RR_JT}) (4.3.4 pav. B)

Sportuojančių vyrų ramybės būklėje Dsk_{RR_JT} verčių vidurkis – $0,134 \pm 0,06$. Pirmosios aukšto intensyvumo intervalinio krūvio metu Dsk_{RR_JT} vertės buvo $0,162 \pm 0,05$. Buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($t(16) = -4,449$; $p = 0,001$); Atsigavimo po pirmosios serijos metu (*atsigavimas tarp serijų buvo 3 min.*) Dsk_{RR_JT} vertės – $0,162 \pm 0,05$. Antrojo krūvio metu Dsk_{RR_JT} vertės padidėjo – $0,370 \pm 0,22$. Atsigavimo metu Dsk_{RR_JT} vertės siekė – $0,215 \pm 0,07$. Trečiojo krūvio metu Dsk_{RR_JT} vertės padidėjo iki $0,372 \pm 0,22$. Atsigavimo po trečiojo krūvio metu Dsk_{RR_JT} vertės sumažėjo iki $0,197 \pm 0,07$. Ketvirtojo krūvio metu Dsk_{RR_JT} vertės padidėjo iki $0,298 \pm 0,15$. Penktąją atsigavimo minutę po aukšto intensyvumo intervalinės treniruotės buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($t(16) = -4,501$; $p = 0,001$) Dsk_{RR_JT} vertės sumažėjo iki $0,220 \pm 0,06$. Praėjus 30 min. po pratybų Dsk_{RR_JT} vertės sumažėjo iki $158,7 \pm 0,05$.

Sąsaja tarp JT intervalo ir QRS komplekso trukmės (Dsk_{JT_QRS}) (4.3.4 pav. C)

Sportuojančių vyrų ramybės būklėje vertinamo Dsk_{JT_QRS} verčių vidurkis – $0,512 \pm 0,274$. Pirmojo aukšto intensyvumo intervalinio krūvio metu Dsk_{JT_QRS} vertės sumažėjo iki $0,430 \pm 0,206$; Atsigavimo po pirmosios serijos metu (*atsigavimas tarp serijų buvo 3 min.*) Dsk_{JT_QRS} vertės padidėjo – $0,551 \pm 0,354$. Antrojo krūvio metu Dsk_{JT_QRS} vertės nežymiai sumažėjo – $0,516 \pm 0,354$. Atsigavimo po antrojo krūvio metu Dsk_{JT_QRS} vertės sumažėjo iki $0,388 \pm 0,260$. Trečiojo krūvio metu Dsk_{JT_QRS} vertės ženkliai padidėjo iki $0,607 \pm 0,512$. Atsigavimo po trečiojo krūvio metu Dsk_{JT_QRS} vertės sumažėjo iki $0,246 \pm 0,250$. Ketvirtojo krūvio metu Dsk_{JT_QRS} vertės padidėjo iki $0,578 \pm 0,535$. Penktąją atsigavimo minutę po aukšto intensyvumo intervalinės pratybų Dsk_{JT_QRS} vertės sumažėjo iki $0,323 \pm 0,205$. Praėjus 30 min. po pratybų tiriamųjų Dsk_{JT_QRS} vertės sumažėjo iki $0,256 \pm 0,145$. Statistiškai

reikšmingo skirtumo tarp Dsk_{JT_QRS} verčių, registruotų prieš pratybas ir praėjus 30min. po pratybų, nebuvo ($p < 0,05$).

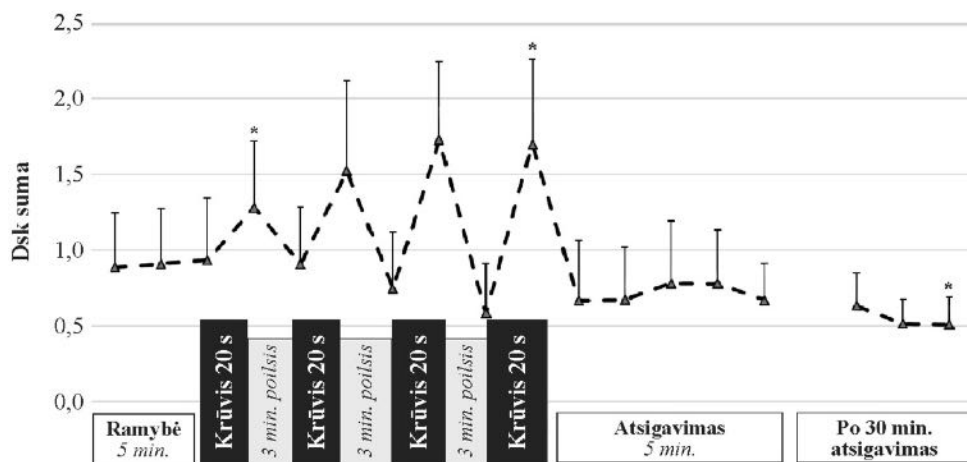


4.3.4 pav. Sportuojančių vyrų dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita, pratybose taikant didelio intensyvumo intervalinio pobūdžio krūvius

* – statistiškai reikšmingas skirtumas palyginant vidurkius su pradinėmis vertėmis.

Integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų kaita (Dsk_{RR_QRS} ; Dsk_{RR_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) (4.3.5 pav.)

Sportuojančių vyrų susumuotos Dsk vertės ramybės būklėje, buvo $0,910 \pm 0,377$. Pirmojo krūvio metu stebėjome statistškai reikšmingą ($t(16) = 5,340$; $p = 0,001$) dinaminių sąsajų sustiprėjimą, t. y. Dsk sumažėjimą iki $1,282 \pm 0,438$. Atsigavimo metu Dsk išliko sumažėjęs $0,913 \pm 0,376$. Antrojo krūvio metu Dsk vertės – $1,530 \pm 0,798$. Atsigavimo po antrojo krūvio metu Dsk vertės sumažėjo iki $0,746 \pm 0,373$. Trečiojo krūvio metu Dsk vertės ženkliai padidėjo iki $1,731 \pm 0,818$. Atsigavimo po trečiojo krūvio metu Dsk vertės sumažėjo iki $0,585 \pm 0,330$. Ketvirtojo krūvio metu Dsk vertės padidėjo iki $1,703 \pm 0,858$ stebimas statistškai reikšmingas skirtumas ($t(16) = 3,516$; $p=0,001$). Penktąją atsigavimo minutę po aukšto intensyvumo intervalinės pratybos Dsk vertės sumažėjo iki $0,671 \pm 0,244$. Praėjus 30 min. po pratybų tiriamųjų Dsk vertės sumažėjo iki $0,515 \pm 0,163$. Stebimas statistškai reikšmingas skirtumas ($t(16) = 3,973$; $p = 0,001$) tarp Dsk verčių, užrašytų prieš pratybas ir praėjus 30 min. po pratybų.



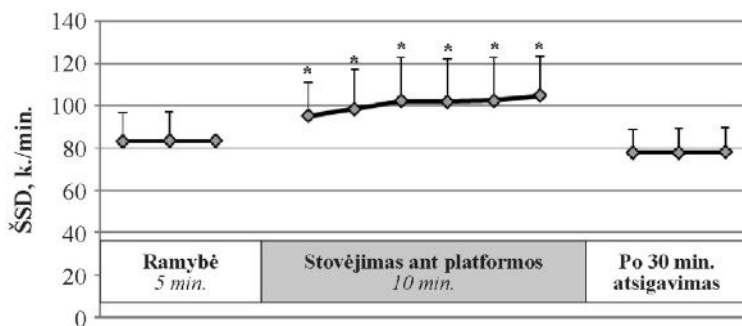
4.3.5 pav. Sportuojančių vyrų integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų (Dsk_{RR_QRS} ; Dsk_{RR_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) kaita pratybose taikant didelio intensyvumo intervalinio pobūdžio krūvius

* – statistškai reikšmingas skirtumas palyginant vidurkius su pradinėmis vertėmis.

4.4. Pratybų, taikant koordinacinių pastangų reikalaujančias bei diferencinio mokymo metodu grindžiamas užduotis

4.4.1. Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita nesportuojantiems vyrams atliekant nesudėtingą pusiausvyros išlaikymo užduotį

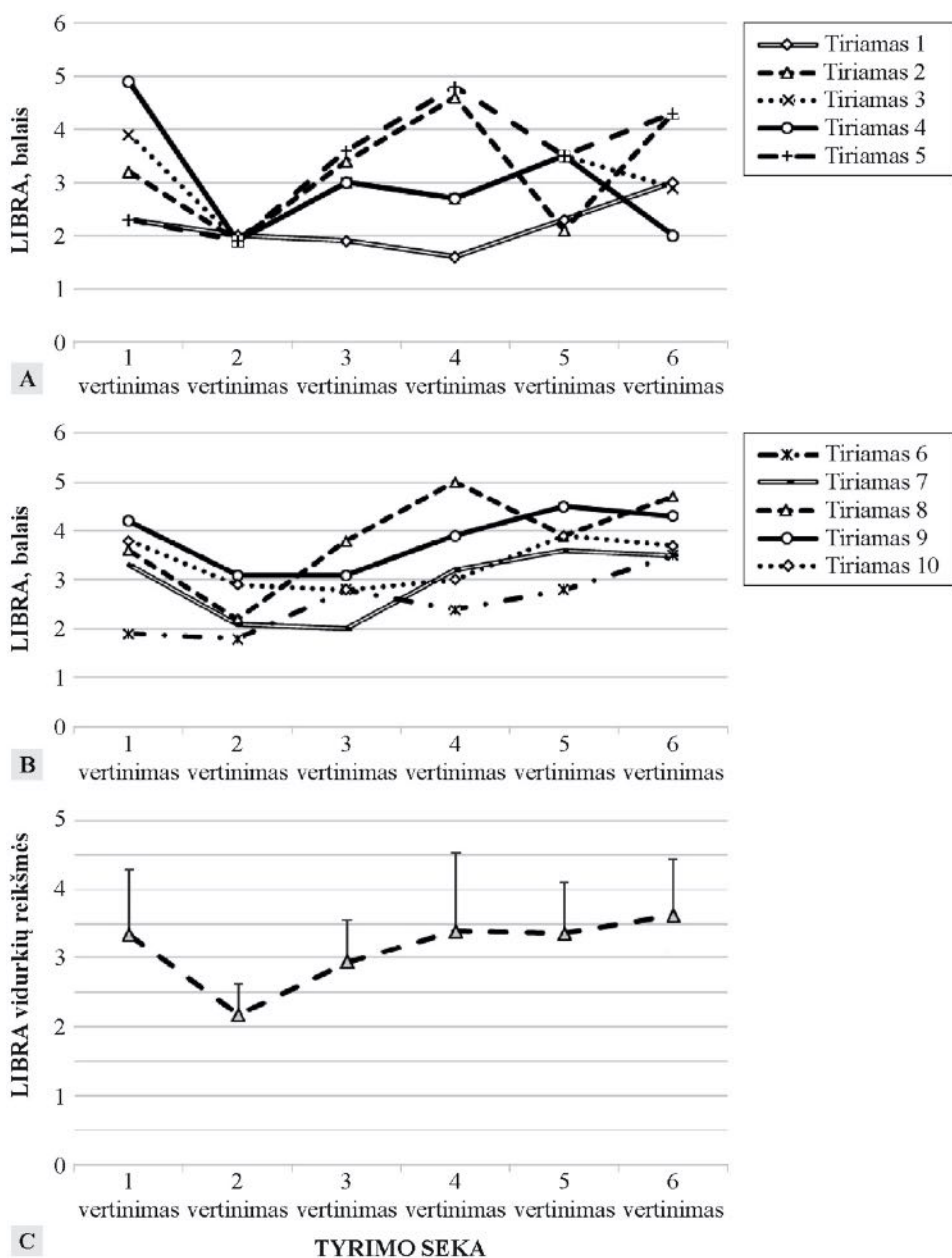
Nesportuojančių vyrų ($n = 24$) ŠSD kaita atliekant diferencinio pobūdžio krūvius (4.4.1.1 pav.).



4.4.1.1 pav. Nesportuojančių vyrų ŠSD kaita, pratybose taikant trumpus diferencinio pobūdžio krūvius

* – statistškai reikšmingas skirtumas palyginant vidurkius su pradinėmis vertėmis.

Ramybės būklėje prieš pratybas nesportuojančių vyrų ŠSD vertės, vidutiniškai buvo $83,24 \pm 13,7$ k./min. Tiriamiesiems atliekant 10-ies minučių pusiausvyros išlaikymo užduotį tyrimo protokole buvo užrašoma ir atlikties rezultatai, t. y. fiksuodavome kompiuterizuotos pusiausvyros vertinimo programos „LIBRA“ pateikiamus integralius užduoties išpildymo vertinimus balais. Tokiu būdu, per 10 užduoties atlikimo minučių, turėjome šešis vertinimus, liudijančius apie užduoties atlikimo kokybę. Šie pusiausvyros išlaikymo užduoties vertinimo rezultatai pateikti 4.4.1.2 pav. Kaip matyti šio paveikslo A ir B dalyse, individualūs gebėjimai ir kaitos kryptingumas buvo stebėtas. Daliai tiriamųjų buvo fiksuota atlikties rezultato pagerėjimas tik antrojo vertinimo metu, kai kuriems tiriamiesiems – visą pirmąją 10-ties min. užduoties pusę. Visos tiriamųjų grupės vidutinės pusiausvyros išlaikymo kokybės vertinimo rezultatai (4.4.1.2 pav., C) pradžioje gerėjo ir tolesnę jų kaitą galima nusakyti blogėjimo tendencija (*nuovargio pasireiškimas*).



4.4.1.2 pav. Nesportuojančių vyrų pusiausvyros išlaikymo užduoties vertinimo rezultatai

Stebėjome statistiškai reikšmingą ŠSD verčių didėjimą ($Z = -2,803$; $p = 0,005$). Pirmojo krūvio metu ŠSD vertės siekė $95,3 \pm 15,8$ k./min. Antrojo – $98,6 \pm 18,7$ k./min., trečiojo – $102 \pm 20,6$ k./min., ketvirtąjį – $102,1 \pm 20,2$ k./min., penktąjį – $102,6 \pm 20,4$ k./min., šeštojo – $104,9 \pm 18,5$ k./min.

Po visų planuotų šešių diferencinio pobūdžio fizinių krūvių ŠSD atsigavimas praėjus 30 min. po pratybų vyko santykinai greitai. ŠSD vertės buvo mažesnės nei registruotos prieš krūvį ir siekė $78,1 \pm 11,2$ k./min. Statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta ($Z = -1,784$; $p = 0,074$).

Sąsaja tarp RR intervalo ir QRS komplekso trukmės (Dsk_{RR_QRS}) (4.4.1.3 pav. A)

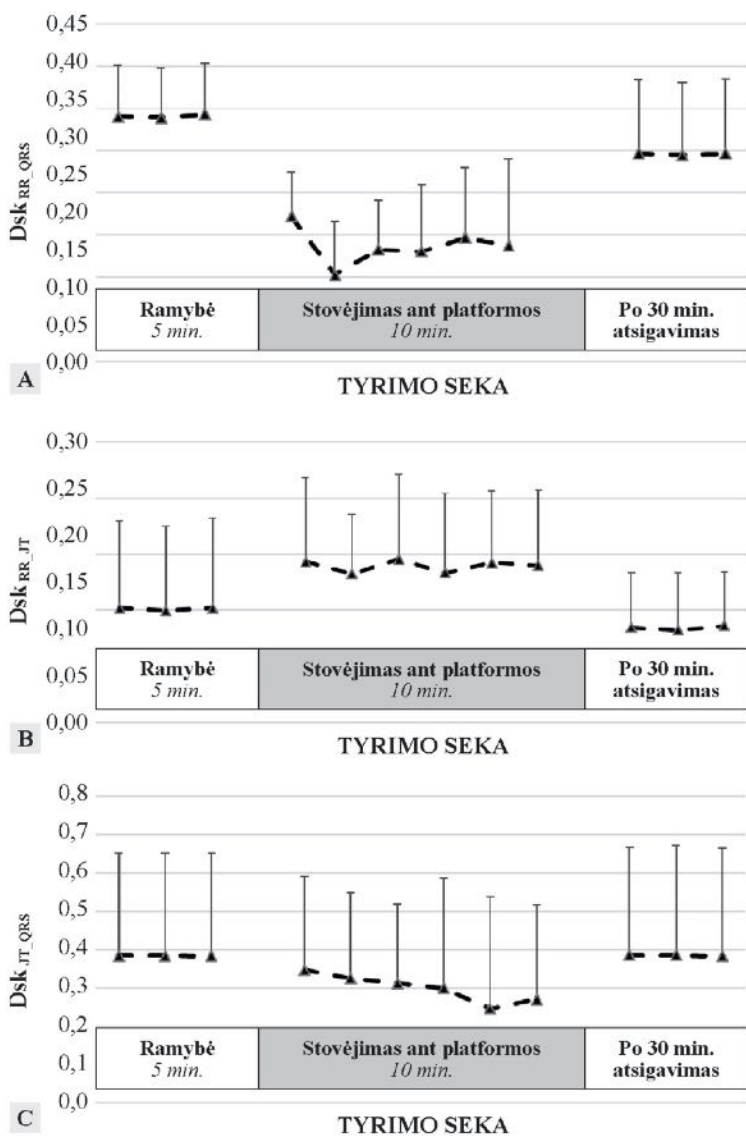
Nesportuojančių vyrų ramybės būklėje Dsk_{RR_QRS} verčių vidurkis buvo $0,291 \pm 0,360$. Atliekant šešias nesudėtingas pusiausvyros išlaikymo užduotis (*trukmė 30 sekundžių, atsigavimas tarp krūvių 1 min.*), stebimas dinaminių sąsajų sustiprėjimas, Dsk_{RR_QRS} sumažėjimas. Pirmojo krūvio metu vertės buvo $0,172 \pm 0,101$. Statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta, šeštojo krūvio metu Dsk_{RR_QRS} vertės sumažėjo – $0,137 \pm 0,102$. Praėjus 30 minučių po nesudėtingų pusiausvyros išlaikymo užduočių Dsk_{RR_QRS} verčių vidurkis išliko mažesnis nei registruotos prieš krūvį ir siekė $0,245 \pm 0,388$, tačiau statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta.

Sąsaja tarp RR ir JT intervalų (Dsk_{RR_JT}) (4.4.1.3 pav. B)

Nesportuojančių vyrų ramybės būklėje Dsk_{RR_JT} verčių vidurkis – $0,101 \pm 0,078$. Atliekant nesudėtingas pusiausvyros išlaikymo užduotis (*trukmė 30 sekundžių, atsigavimas tarp krūvių 1 min.*) Dsk_{RR_JT} vertės padidėjo ir santykinai išliko panašios. Pirmosios krūvio serijos metu siekė $0,143 \pm 0,085$, trečiojo – $0,145 \pm 0,053$, šeštojo – $0,140 \pm 0,067$. Praėjus 30 min. po pratybų Dsk_{RR_JT} vertės sumažėjo iki $0,084 \pm 0,049$. Statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta.

Sąsaja tarp JT intervalo ir QRS komplekso trukmės (Dsk_{JT_QRS}) (4.4.1.3 pav. C)

Nesportuojančių vyrų ramybės būklėje vertinamo Dsk_{JT_QRS} verčių vidurkis – $0,384 \pm 0,68$. Pusiausvyros išlaikymo užduočių metu (*trukmė 30 sekundžių, atsigavimas tarp krūvių 1 min.*) Dsk_{RR_JT} vertės keitėsi nedidelėse ribose. Pirmosios krūvio serijos metu siekė $0,347 \pm 0,344$, tačiau trečiojo krūvio metu stebima tendencija mažėti – $0,312 \pm 0,405$, šeštojo – $0,270 \pm 0,347$. Praėjus 30 min. po pratybų, statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta, Dsk_{RR_JT} vertės panašios kaip ir tyrimo pradžioje $0,385 \pm 0,484$.

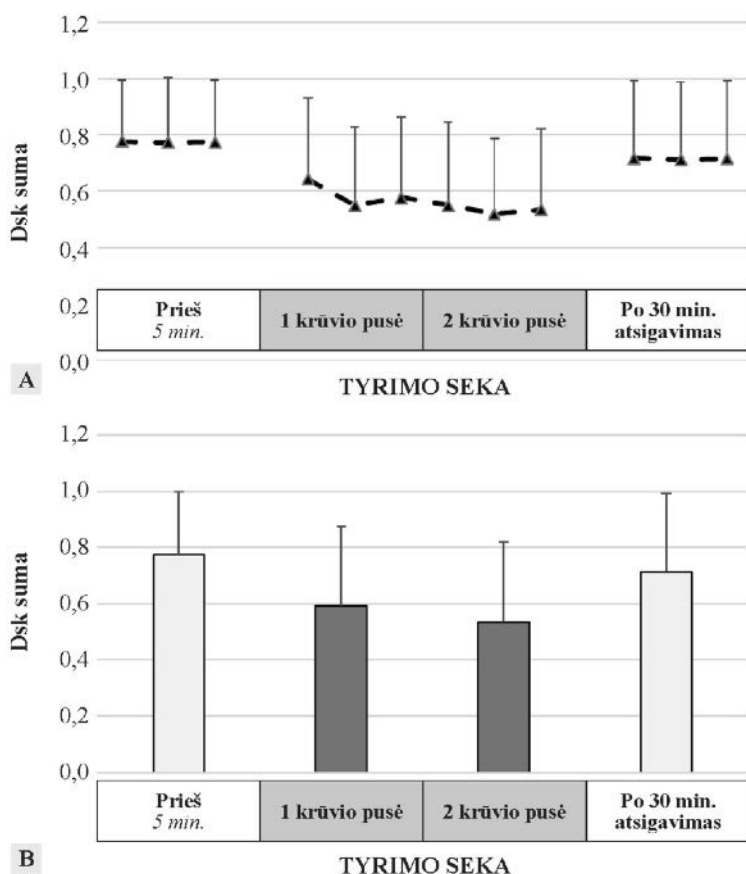


4.4.1.3 pav. Nesportuojančių vyrų dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita, pratybose taikant trumpus diferencinio pobūdžio krūvius

Integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų kaita (Dsk_{RR_QRS} ; Dsk_{RR_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) (4.4.1.4 pav. A, B)

Nesportuojančių vyrų integruotos vertintų Dsk vertės ramybės būklėje, vidutiniškai, buvo $0,777 \pm 0,820$. Tiriamiesiems atliekant pusiausvyros išlaikymo užduotį Dsk vertės sumažėjo. Statistiškai reikšmingų skirtumų nepastebėjome. Pirmosios užduoties metu, susumuotos Dsk vertės buvo $0,614 \pm 0,387$. Tęsiant tyrimą, galima pastebėti nedidelį Dsk verčių sumažėjimą, šeštojo testavimo metu, vertės siekė $0,534 \pm 0,343$.

Praėjus 30 min. po pratybų tiriamųjų Dsk vertės sumažėjo iki $0,715 \pm 0,816$. Statistiškai reikšmingo skirtumo tarp Dsk verčių, registruotų prieš pratybas ir praėjus 30 min. po pratybų, nebuvo.



4.4.1.4 pav. Nesportuojančių vyrų integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų (Dsk_{RR_QRS} ; Dsk_{RR_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) kaita pratybose taikant trumpus diferencinio pobūdžio krūvius

4.4.2. Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita nesportuojantiems vyrams atliekant vis sudėtingesnes, koordinacinių pastangų reikalaujančias užduotis

Nesportuojančių vyrų (n = 12) ŠSD kaita

Prieš tyrimą, t. y. santykinės ramybės būklėje ŠSD buvo $83,2 \pm 9,2$ k./min. Atliekant pusiausvyros išlaikymo užduotis ŠSD padidėjo, tačiau statistiškai reikšmingo skirtumo tarp ŠSD verčių registruotų atliekant paprastą pusiausvyros išlaikymo užduotį ($103,7 \pm 12,1$ k./min.) ir atliekant sudėtingą pusiausvyros išlaikymo užduotį ($107,6 \pm 11,6$ k./min.) nebuvo ($p > 0,05$).

Sąsaja tarp RR intervalo ir QRS komplekso trukmės (Dsk_{RR_QRS}) (4.4.2.1 pav. A)

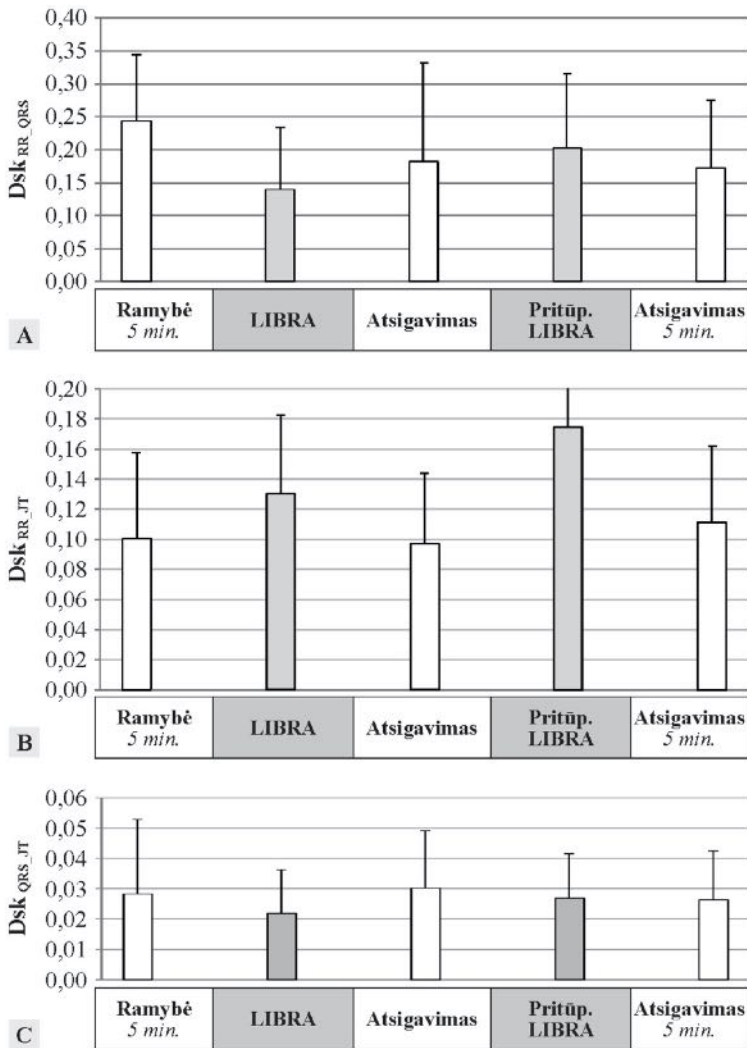
Nesportuojančių vyrų ramybės būklėje Dsk_{RR_QRS} verčių vidurkis buvo $0,244 \pm 0,3$. Atliekant pirmąją užduotį (*stovėjimas ant Libra platformos*) Dsk_{RR_QRS} vertės sumažėjo iki $0,14 \pm 0,1$. Statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta. Atliekant antrąją užduotį (*pritūpimai ant Libra platformos*) Dsk_{RR_QRS} padidėjo iki $0,18 \pm 0,2$. Atsigavimo po tyrimo metu, Dsk_{RR_QRS} verčių vidurkis išliko mažesnis nei registruotas prieš krūvį ir siekė $0,17 \pm 0,1$. Statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta.

Sąsaja tarp RR ir JT intervalų (Dsk_{RR_JT}) (4.4.2.1 pav. B)

Nesportuojančių vyrų ramybės būklėje Dsk_{RR_JT} verčių vidurkis – $0,10 \pm 0,1$. Pirmosios užduoties metu Dsk_{RR_QRS} vertės padidėjo iki $0,13 \pm 0,05$. Buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($Z = -2,828$; $p = 0,005$). Poilsio tarp užduočių metu Dsk_{RR_QRS} vertės pasiekė prieš tyrimą esančių verčių vidurkį iki $0,10 \pm 0,046$. Antrosios užduoties metus buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($Z = -3,180$; $p = 0,001$), Dsk_{RR_QRS} vertės padidėjo iki $0,17 \pm 0,05$. Atsigavimo po tyrimo metu Dsk_{RR_QRS} vertės sumažėjo iki $0,13 \pm 0,11$.

Sąsaja tarp JT intervalo ir QRS komplekso trukmės (Dsk_{JT_QRS}) (4.4.2.1 pav. C)

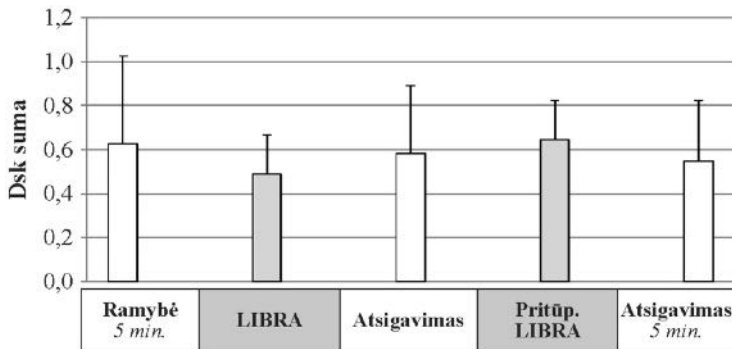
Nesportuojančių vyrų ramybės būklėje vertinamo Dsk_{JT_QRS} verčių vidurkis – $0,28 \pm 0,25$. Atliekant pirmąją užduotį Dsk_{JT_QRS} vertės buvo $0,22 \pm 0,14$. Atsigavimo po pirmosios užduoties metu Dsk_{JT_QRS} vertės padidėjo iki $0,30 \pm 0,19$. Antrosios užduoties metu Dsk_{JT_QRS} verčių vidurkis padidėjo iki $0,27 \pm 0,15$. Atsigavimo po tyrimo metu Dsk_{JT_QRS} vertės buvo $0,26 \pm 0,16$. Statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta.



4.4.2.1 pav. Nesportuojančių vyrų dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita pratybose taikant diferencinio pobūdžio krūvius

Integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų kaita (Dsk_{RR_QRS}; Dsk_{RR_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) (4.4.2.2 pav.)

Susumuotos Dsk vertės ramybės būklėje, vidutiniškai, buvo $0,63 \pm 0,40$. Atliekant pirmąją užduotį Dsk vertės buvo $0,28 \pm 0,40$. Atsigavimo po pirmosios užduoties metu Dsk vertės padidėjo iki $0,581 \pm 0,321$. Antrosios užduoties metu Dsk verčių vidurkis padidėjo iki $0,645 \pm 0,18$. Atsigavimo po tyrimo metu Dsk vertės sumažėjo iki $0,547 \pm 0,28$. Statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta.



4.4.2.2 pav. Nesportuojančių vyrų integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų (Dsk_{RR_QRS} ; Dsk_{RR_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) kaita pratybose taikant diferencinio pobūdžio krūvius

4.4.3. Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita, kai nesportuojantys vyrai aerobinio krūvio metu atlieka papildomas užduotis (dvigubos užduoties metodas)

Nesportuojančių vyrų ($n=12$) ŠSD kaita

Pagrindinis šio tyrimo tikslas buvo palyginti aerobinio krūvio pratybų ir pratybų, kuriose taikoma dvigubos užduoties metodas, įtaką ŠKS. Reikia konstatuoti, kad nebuvo reikšmingų skirtumų ($p > 0,05$) tarp šių dviejų pratybų registruotų EKG rodiklių verčių kai lyginome RR intervalo, JT intervalo bei QRS komplekso trukmes. Tiek aerobinio krūvio pratybos, tiek pratybos taikant dvigubos užduoties metodą vienodu laipsniu pakeisdavo užrašytų EKG rodiklių vertes. Pratybų fizinis krūvis (apkrova 25 W) neiššaukė didelio ŠSD padidėjimo. Pratybų pabaigoje ŠSD vertės – $121,8 \pm 2,1$ k./min. ŠSD rodiklio verčių kaita neatskleidė skirtumų tarp mūsų lyginamų pratybų poveikio. Lygiai taip pat ir kiti du elektrokardiogramos rodikliai (*JT intervalas ir QRS komplekso trukmė*) neatskleidė skirtumų tarp lyginamų pratybų sukeltų poveikių. Tačiau, šių rodiklių dinaminių sąsajų vertinimo rezultatai, didesnis liekamasis krūvio poveikis buvo, kai aerobinio krūvio pratybos buvo papildomos DM metodu grindžiamomis užduotimis.

Dinaminių sąsajų kaita

Pradinės Dsk_{RR_QRS} vertės registruotos prieš pratybas abiejų tyrimų metu statistškai reikšmingai nesiskyrė, t. y. $0,316 \pm 0,09$ ir $0,335 \pm 0,09$. Vertinant RR intervalo ir QRS komplekso trukmių sąsajos kaitą pastebėjome, kad po abiejų pratybų ši vertinama sąsaja sustiprėjo Dsk_{RR_QRS} buvo sumažėjęs, stebimi statistškai reikšmingi skirtumai aerobinių krūvio pratybose ($Z = -2,338$; $p = 0,019$), ir pratybose kai buvo taikytas dvigubos užduoties metodas

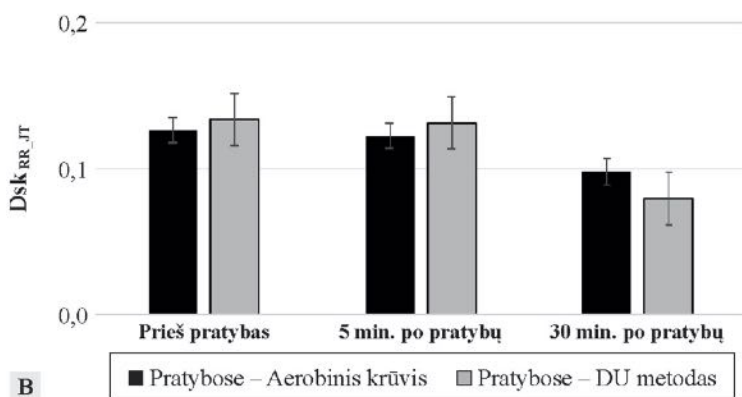
($Z = -3,288$; $p = 0,001$). Praėjus 30 min. po pratybų sustiprėjusi sąsaja tarp EKG RR intervalo ir QRS komplekso kaitos išliko, skirtumas tarp pradinių Dsk_{RR_QRS} verčių ir verčių registruotų po 30 min. buvo stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas: aerobinio krūvio pratybų ($Z = -2,228$; $p = 0,005$), ir pratybų su DU užduotimis ($Z = -4,146$; $p = 0,002$). Stebimi statistiškai reikšmingi Dsk_{RR_QRS} skirtumai tarp grupių ($U = 21$, $p = 0,002$).

4.4.3.1 pav. B pateikta $Dsk_{(RR/JT)}$ vertės įvairiuose tyrimo etapuose. Vertinant šio rodiklio kaitą galima pažymėti, kad nei po aerobinio krūvio pratybų, nei po pratybų, kuriose buvo taikomas dvigubos užduoties metodas Dsk_{RR_JT} vertės statistiškai reikšmingai nesiskyrė, tačiau praėjus 30 min. po pratybų buvo stebimas sąsajos tarp RR ir JT intervalų kaitos sustiprėjimas (Dsk_{RR_JT} sumažėjimas) ir tai buvo statistiškai reikšmingas skirtumas ($Z = -3,469$; $p = 0,002$). Stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas tarp tyrimų ($U = 28$, $p = 0,001$), t. y. stipresnė sąsaja buvo konstatuota po pratybų kai buvo taikoma dvigubos užduoties metodas.

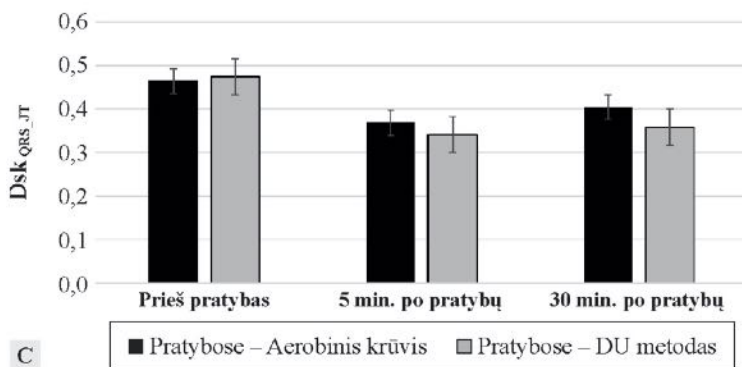
4.4.3.1 pav. C pateikta Dsk_{QRS_JT} vertės užrašytos įvairiuose tyrimo etapuose. Pradinės Dsk_{QRS_JT} vertės registruotos prieš pratybas statistiškai nesiskyrė ($p > 0,05$), t. y. $0,464 \pm 0,09$ ir $0,474 \pm 0,08$. Tiek aerobinio krūvio pratybų metu, tiek pratybose taikant dvigubos užduoties metodą sąsaja tarp EKG QRS komplekso ir JT intervalo, palyginant su pradinėmis vertėmis buvo statistiškai reikšmingai sustiprėjusi: aerobinių krūvio pratybų ($Z = -1,852$; $p = 0,02$), DU ($Z = -2,456$; $p = 0,05$). Praėjus 30 min. po pratybų buvo stebimas sąsajos sustiprėjimas (Dsk_{QRS_JT} sumažėjimas), stebimas statistiškai reikšmingas skirtumas ($Z = -2,689$; $p = 0,001$) palyginant su pradinėmis vertėmis, registruotomis prieš pratybas. Skirtumas tarp tyrimų buvo statistiškai reikšmingas ($U = 18$, $p = 0,002$), t. y. sąsaja stipresnė buvo konstatuota po pratybų kai buvo taikoma dvigubos užduoties metodas.



A



B



C

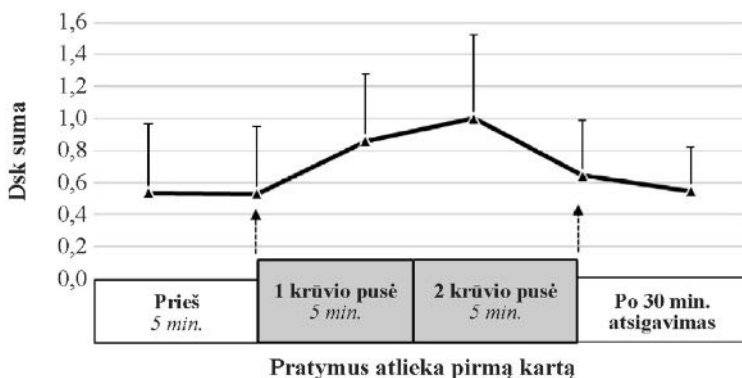
4.4.3.1 pav. Nesportuojančių vyrų dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita, kai pratybose taikytas aerobinis krūvis arba dvigubos užduoties metodas

4.4.4. Dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaita atliekant diferencinio mokymo metodu grindžiamas užduotis

Nesportuojančių vyrų grupės ($n = 9$) (pratimus atliko pirmąjį kartą) integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų kaita (Dsk_{RR_QRS} ; Dsk_{RR_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) pateikta 4.4.4.1 pav.

Tyrimė dalyvavo nesportuojančių vyrų grupė, kuriems pratimai nebuvo žinomi. Juos atliko pirmą kartą, klausydamis tyrėjo nurodymų.

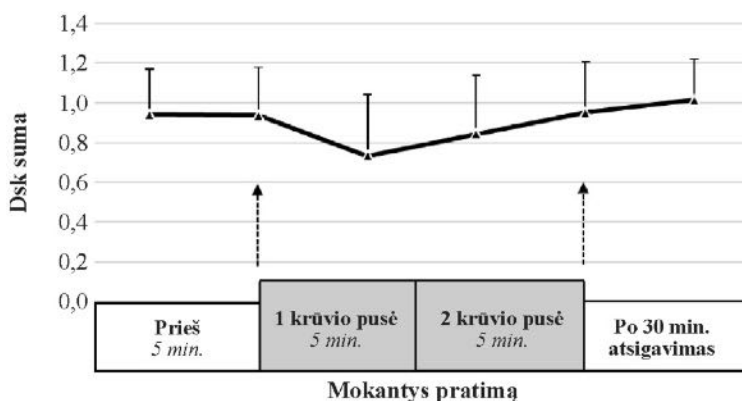
Susumuotos Dsk vertės ramybės būklėje, vidutiniškai, buvo $0,532 \pm 0,425$. Pradėjus fizinį krūvį, t. y. diferencinio pobūdžio užduotį (*ėjimą ant bėgimo takelio*) pirmojo krūvio pusėje stebėjome Dsk padidėjimą $0,859 \pm 0,421$. Antrojoje krūvio pusėje Dsk vertės padidėjo iki $1,001 \pm 0,522$. Tačiau statistškai reikšmingo skirtumo nepastebėta. Atsigavimo po tyrimo metu Dsk vertės sumažėjo iki $0,983 \pm 0,636$. Statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta.



4.4.4.1 pav. Nesportuojančių vyrų grupės (pratimus atliko pirmąjį kartą) Integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų (Dsk_{RR_QRS} ; Dsk_{RR_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) kaita pratybose taikant diferencinio pobūdžio krūvius

Sportuojančių vyrų grupės ($n = 8$) (mokantys pratimą) integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų kaita (Dsk_{RR_QRS} ; Dsk_{RR_JT} ir Dsk_{QRS_JT}) pateikta 4.4.4.2 pav.

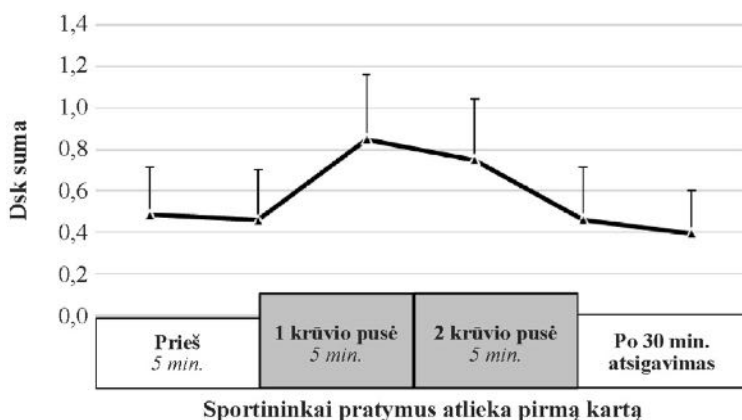
Sportuojančių vyrų grupei, diferencinio pobūdžio pratimai buvo žinomi. Tiriamieji pratimus atliko savarankiškai. Susumuotos Dsk vertės ramybės būklėje vidutiniškai buvo $0,940 \pm 0,506$. Pradėjus diferencinio pobūdžio užduotį (*ėjimą ant bėgimo takelio*), pirmojo krūvio pusėje, stebėjome Dsk sumažėjimą $0,734 \pm 0,395$. Antrojoje krūvio pusėje Dsk vertės padidėjo iki $0,843 \pm 0,412$. Tačiau statistškai reikšmingo skirtumo nepastebėta. Atsigavimo po tyrimo metu Dsk vertės sumažėjo iki $0,983 \pm 0,636$. Statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta.



4.4.4.2 pav. Sportuojančių vyrų grupės (mokantys pratimą) integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų ($DskRR_QRS$; $DskRR_JT$ ir $DskQRS_JT$) kaita pratybose taikant diferencinio pobūdžio krūvius

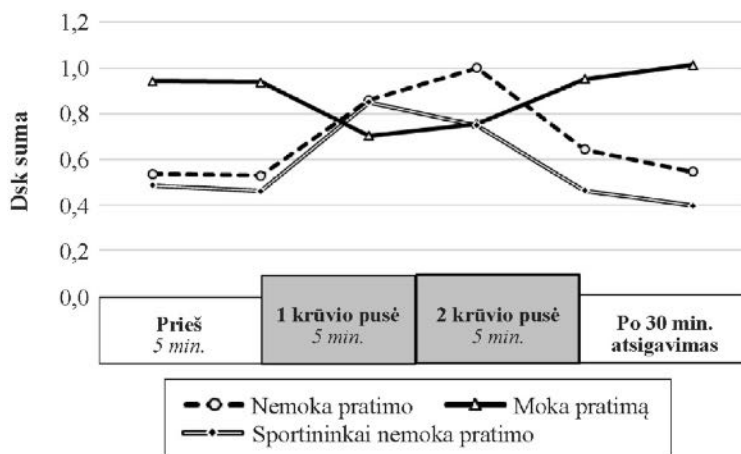
Didelio meistriškumo sportininkų tiriamųjų grupės ($n = 9$) (pratimus atliko pirmąjį kartą), integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų kaita ($DskRR_QRS$; $DskRR_JT$ ir $DskQRS_JT$) pateikta 4.4.4.3 pav.

Susumuotos Dsk vertės ramybės būklėje vidutiniškai buvo $0,472 \pm 0,235$ pradėjus diferencinio pobūdžio užduotį (ėjimą ant bėgimo takelio), pirmojo krūvio pusėje, stebėjome Dsk padidėjimą $0,850 \pm 0,310$. Antrojoje krūvio pusėje Dsk vertės sumažėjo iki $0,749 \pm 0,295$. Tačiau statistškai reikšmingo skirtumo nepastebėta. Atsigavimo po tyrimo metu Dsk vertės sumažėjo iki $0,428 \pm 0,230$. Statistiškai reikšmingo skirtumo nepastebėta.



4.4.4.3 pav. Didelio meistriškumo sportininkų grupės (pratimus atliko pirmąjį kartą), integruota trijų vertintų dinaminių sąsajų ($DskRR_QRS$; $DskRR_JT$ ir $DskQRS_JT$) kaita pratybose taikant diferencinio pobūdžio krūvius

Bendra tyrimo grupių, integruota vertintų dinaminių sąsajų kaita ($DskRR_QRS$; $DskRR_JT$ ir $DskQRS_JT$) pateikta 4.4.4.4 pav.



4.4.4.4 pav. Bendra tyrimo grupių integruota dinaminių sąsajų ($DskRR_QRS$; $DskRR_JT$ ir $DskQRS_JT$) kaita pratybose taikant diferencinio pobūdžio krūvius

5. REZULTATŲ APTARIMAS

Sąsajų dinamikos tarp EKG rodiklių kaitos ypatybės

Fiziniam krūviui atlikti aprūpinančiųjų sistemų funkcijos turi aktyvėti atsakydamos į padidėjusį energijos poreikį [202–204], ir atvirkščiai – po krūvio vykstančių atsigavimo procesų intensyvumas ir trukmė priklauso nuo krūvio metu įvykusių pokyčių visumos [31, 205, 206]. Pirmojo tyrimo (*nesportuojančių asmenų (n = 27) dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaitos ypatybės, atliekant gana lengvą fizinį krūvį*) rezultatai rodo, kad atliekamas 10-ties minučių trukmės fizinis krūvis buvo gana lengvas (*ŠSD padidėjimas buvo gana mažas, nebuvo reikšmingo ŠSD didėjimo tęsiant krūvį, po krūvio visi mūsų užrašyti rodikliai per 5 minutes atsigavo iki pradinių verčių*). Lygiai taip pat galima aprašyti ir mūsų vertintų dinaminių sąsajų kaitą. Taigi šio tyrimo rezultatai vaizdžiai rodo, kad vertintos dinaminės sąsajos po krūvio greit grįžta iki pradinių verčių, jeigu krūvis nesukėlė reikšmingo nuovargio. Yra nemažai mokslo publikacijų, kuriose parodyta, kad dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių sustiprėja krūvio pradžioje ir, sunkėjant fiziniam krūviui, silpnėja [207–210]. Lygiai tokia pati vertinamų dinaminių sąsajų kaita buvo stebėta ir mūsų tyrimo metu. Siekdami patikrinti, ar ir kitų, ne tik EKG rodiklių, tarpusavio sąsajos kinta taip pat [171, 172, 208], atlikome antrąjį tyrimą (*didelio sportinio meistriškumo sportininkų (n = 24) širdies funkcijos rodiklių kaitos ypatybės atliekant pakopomis didėjančią krūvį iki negalėjimo tęsti užduotį bei atsigavimo metu*). Šiuo tyrimu siekėme nustatyti dinaminių sąsajų tarp pačių reikšmingiausių ŠKS funkcinį rodiklių (*sistolinio ir minutinio kraujo tūrio*) kaitos ypatybes didelio sportinio meistriškumo sportininkams (*n=24*). Laikoma, kad širdies kaip siurblio funkcijos galimybes nusako šie du funkciniai rodikliai: sistolinis ir minutinis kraujo tūris [211, 212].

Mūsų tyrime tiriamieji (*tiesiogiai išsivermės, tiesiogiai prie greičio krūvių adaptuoti asmenys*), atlikdami pakopomis didėjančią велоergometrinį krūvį, tęsė fizinio krūvio užduotį iki negalėjimo. Diskriminanto tarp minutinio ir sistolinio kraujo tūrio padidėjimas krūvio pradžioje greit pasikeitė į mažėjimą, ir tik krūviui subjektyviai sunkėjant Dsk vertės imdavo didėti. Taigi šio tyrimo rezultatai rodo, kad fizinio krūvio metu dinaminės sąsajos tarp ŠKS rodiklių sustiprėja, t. y. jų kaitos pobūdis yra panašus kaip ir sąsajos tarp EKG rodiklių. Panašią diskriminantų kaitos dinamiką, atliekant pakopomis didėjančius krūvius велоergometru, tik vertindami įvairių EKG rodiklių kaitą, stebėjo ir kiti tyrėjai [171, 199, 209]. Deja, negalime diskutuoti su užsienio šalių tyrėjais, nes šis duomenų analizės metodas buvo sukurtas Lietuvos mokslininkų ir mūsų atlikti tyrimai yra skirti šio metodo galimybėms patikrinti.

Palyginta greitumo ir ištvermės prie fizinių krūvių adaptuotų asmenų vertintų dinaminių sąsajų kaita. Galima pažymėti, kad ištvermės grupės tiriamiesiems būdingas mažesnis dinaminių sąsajų kaitos greitis, ilgiau trunkanti santykinė stabilioji sustiprėjusios sąsajos fazė bei didesnis sąsajos sumažėjimas krūvio pabaigoje, nei greitumo grupės tiriamiesiems. Tačiau vertindami dinaminių sąsajų kaitos pobūdį, tiek greitumo, tiek ištvermės grupėse stebėjome sąsajos sustiprėjimo fazę bei jos mažėjimą, kai krūvis tapo sunkus. Didžiausios diskriminanto vertės buvo stebimos krūvio pabaigoje, t. y. prieš tiriamajam atsisakant tęsti krūvį. Toks dinaminių sąsajų kaitos pobūdis didėjančio nuovargio sąlygomis buvo būdingas visiems asmenims.

Literatūroje pabrėžiama, kad daugelio fiziologinių mechanizmų ir funkcijų suderinamumas yra didelio meistriškumo klasės sportininkų organizmo ypatybė [213, 214]. Ištvermę lavinančių, sportuojančių asmenų gebėjimas ilgiau tęsti didelio intensyvumo fizinių krūvių yra siejamas su daugelio kitų kompensacinių mechanizmų atsiradimu ir darna [215, 216].

Vertinant šio tyrimo rezultatus, svarbu yra fiziologinė diskriminanto pasikeitimo prasmė. Papievienės disertacijoje pateikta, kad krūvio pradžioje dinaminė sąsaja tarp daugelio ŠKS funkcinių rodiklių (*minutinio kraujo tūrio, ŠSD, arterinės kraujotakos intensyvumo raumenyse, AKS rodiklių*) sustiprėja, tačiau prieš darbo pabaigą prasidedantis reikšmingas sąsajos mažėjimas lemia atsisakymą tęsti fizinių krūvių [171]. Taigi išvada, kurią galėtume daryti vertindami kitų tyrėjų, taikiusių algebrinį duomenų kointegracijos metodą, ir mūsų tyrime gautus rezultatus – sąsajų tarp ŠKS rodiklių kryptingi pokyčiai prasideda vos tik pradėjus atlikti fizinių krūvių, bet pasiekus tam tikrą funkcinę būklę (*nuovargis*) sąsajos stiprėjimas pasikeičia jos silpnėjimu. Vadinas, tarp vertinamų ŠKS funkcinių rodiklių suderinamumas sumažėja ir tiriamasis nesugeba toliau tęsti fizinio krūvio.

Tyrimo rezultatai parodė, kad sąsajų tarp sistolinio ir minutinio kraujo tūrio kaita, atliekant pakopomis didėjančių krūvių iki negalėjimo, turi tas pačias ypatybes kaip ir sąsajos tarp EKG rodiklių, t. y. stebima sąsajos sustiprėjimas, kuris tęsiasi iki atsirandant reikšmingam nuovargiui, t. y. atliekant paskutines krūvio pakopas sąsaja silpnėja. Toks sąsajos kitimo faziškumas buvo stebimas ir prie greitumo, ir prie ištvermės fiziniams krūviams adaptuotų asmenų grupėse.

Trečiojo tyrimo metu, tirdami sportuojančius vyrus ($n = 27$), siekėme nustatyti dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių (*RR, JT, QRS*) kaitos ypatybes kintant funkcinėi būklei. Šio tyrimo protokolas buvo sudarytas taip, kad galėtume stebėti atsigavimą po santykinai lengvo fizinio krūvio ir atsigavimą po krūvio sukeliančio didelį nuovargį. Kiekviena krūvio pakopa truko šešias minutes ir kiekvienos kitos krūvio pakopos metu apkrova padidėdavo po 50 W, ir krūvis buvo tęsiamas iki negalėjimo. Beveik visi šiame tyrime daly-

vavę tiriamieji subjektyviai vertino nuovargį 10 balų. Objektīvūs fiziologiniai rodikliai, užrašyti krūvio pabaigoje, taip pat rodė didžiausią susitelkimą, o sulėtėjęs jų atsigavimas greitojoje atsigavimo fazėje – didelį nuovargį. Aptariant šio tyrimo rezultatus pagrindinis mus dominantis faktas – dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių atsigavimo po krūvio metu išliko sustiprėjusios tiek pirmąsias penkias minutes po krūvio, tiek praėjus 30 min. po krūvio. ŠKS tyrime Dsk vertinimas gali būti panaudotas individo nuovargiui po krūvio nusakyti.

Organizmo funkcijų lavėjimas nusakomas histerezės principu (*vėlyvasis poveikis*), ir procesai, vykstantys atsigavimo po krūvio metu, lemia ilgalaikės adaptacijos ypatybes [217, 218]. Tiriant ŠKS reakciją į fizinius krūvius, analizuojant sveiką stiprinančių pratybų sukeltus poveikius, dinaminių sąsajų vertinimai būtų išties vertingi ir tinkami. Šio tyrimo rezultatų analizė leidžia teigti, kad toks vertinimas tiksliau nei ŠSD, AKS, minutinis kraujo tūris ar StO_2 rodo liekamuosius krūvio poveikius, t. y. atlikto fizinio krūvio arba pratybų įtaką ŠKS.

Trečiojo tyrimo metu nustatyti rezultatai (*vertinta dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaitos ypatybės, atliekant pakopomis didėjančią krūvį iki negalėjimo bei atsigavimo metu*) iš dalies pakartojo pirmojo tyrimo rezultatus (*išvadą*). Mūsų vertinamos dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių stiprėjo atliekant lengvą krūvį ir greitą atsigavimą nutraukus jį. Tačiau, kai krūvis buvo atnaujintas ir tęsiamas iki negalėjimo, – dinaminių sąsajų kaita jau turėjo kitas ypatybes. Išskirtinai, kad sunkaus krūvio metu sąsajos reikšmingai susilpnėdavo; baigus krūvį – vėl sustiprėdavo, ir šis sąsajų sustiprėjimas buvo išlikęs net praėjus 30 min. po krūvio. Kitų tyrėjų duomenys apie sąsajų kaitą fizinių krūvių metu visiškai sutampa su mūsų tyrime gautais rezultatais, tačiau liekamieji krūvio poveikiai kitų tyrėjų nebuvo vertinami.

Kiti užrašyti fiziologiniai rodikliai (*ŠSD, AKS, minutinis kraujo tūris, StO_2*) dar nespėjo atsigauti per pirmąsias penkias minutes po krūvio, o praėjus 30 min. užrašytos rodiklių vertės jau nesiskyrė nuo pradinių. Vadinas, šių rodiklių vertės neatspindi liekamojo nuovargio, kitaip tariant, organizmo būklės, kurias sporto teorija (*sporto mokslas*) nusako terminu „liekamasis pratybų poveikis“, t. y. po krūvio arba pratybų įvykusių pasikeitimų visuma, dar neišnykę nuovargio požymiai. Tačiau dinaminių sąsajų kaita turėjo kitų kaitos ypatybių. Be anksčiau minėtų (*sustiprėjimas krūvio pradžioje ir atliekant krūvį, bei susilpnėjimas, kai krūvis tampa subjektyviai sunkus*), buvo konstatuota ir kita ypatybė, kad dinaminės sąsajos išliko sustiprėjusios (*neatsigavo*) tiek praėjus penkioms minutėms po krūvio, tiek praėjus 30 minučių po krūvio.

Daugelio ŠKS rodiklių tarpusavio dinaminės sąsajos ir jų kaita buvo tyrinėta kitų tyrėjų [171, 189, 191, 208, 209, 219]. Beveik visi tyrėjai stebėjo

sąsajų sustiprėjimą krūvio pradžioje ir sustiprėjusias sąsajas krūvio metu. Parodyta, kad atliekant didėjančią krūvį iki negalėjimo, tęsti užduotį vertinamos sąsajos pradeda silpnėti ir reikšmingas jų silpnėjimas stebimas prieš tiriamajam atsisakant tęsti fizinio krūvio užduotį [171].

Taigi apibendrinant visų trijų tyrimų rezultatus galima daryti išvadą, kad dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių jautriai reaguoja (*kinta*) kintant ŠKS funkcinei būklei. Šie duomenys teikia galimybę tyrinėti ŠKS funkcijos ypatybes, galbūt vertinti sveikatos stiprinimo pratybų bei fizinių krūvių poveikius.

**Pratybų, taikant okliuzinės treniruotės metodą,
įtaka sportuojančių ($n = 24$), sveikatą stiprinančių
asmenų širdies ir kraujagyslių sistemai**

Okliuzinės treniruotės metodo kūrėjai pabrėžia, kad nedidelio intensyvumo krūviai, atliekami pristabdžius raumenų kraujotaką, yra veiksmingi, t. y. sukelia raumenų pokyčius, panašius į didelio intensyvumo pratimus [40, 64, 220]. Tačiau šiose publikacijose, tarp jų ir apžvalginiuose straipsniuose, yra labai mažai tyrimų, kuriuose buvo vertinta ir parodyta okliuzinės treniruotės įtaka ŠKS [66–68]. Bene išsamiausiai šis klausimas buvo nagrinėtas K. Buinevičiaus disertaciniame darbe [61]. Minėtame darbe buvo tyrinėjama tiek okliuduojančio slėgio įtaka, tiek fizinės apkrovos kaitos ypatybės tam tikroms pratyboms, ir vienas tyrimas buvo skirtas tokio poveikio įtakai širdies funkcijai vertinti. Remiantis EKG rodiklių ir AKS kaitos vertinimu buvo padaryta išvada, kad atliekant pratimus, iš dalies ribojant kraujotaką kirkšnies srityje, širdies veikla nėra papildomai sunkinama, okliuzinis poveikis neturi reikšmingos įtakos širdies susitraukimo dažniui ir AKS. Todėl tokios pratybos nelavina širdies funkcinių galimybių, tokios pratybos sukelia raumenų pokyčius, panašius į didelio intensyvumo pratimus.

Aptariant mūsų gautų tyrimų rezultatus būtina išskirti centrinės ir periferinės kraujotakos ypatybes. Pirma, ŠSD, AKS ir kiti EKG rodikliai netiesiogiai rodė santykinai nedidelį centrinės kraujotakos aktyvumą, ir kiekvieną krūvio seriją arba krūvio kartojimą šių rodiklių padidėjimas buvo to paties lygmens, t. y. pratybų metu nebuvo ryškaus suminio poveikio. Taikydami okliuzinės treniruotės metodą, stebėjome ryškią vietiškos raumenų kraujotakos ir StO_2 kitimą. Tokį vertinimą darome vadovaudamiesi tiek savo, tiek kitų tyrėjų pateikiamais duomenimis apie šių rodiklių kaitos normas ir ribas [221–224]. Mūsų tyrime užrašyti vietiškos raumenų kraujotakos ir StO_2 kaitos duomenys rodo, kad dalinis kraujotakos ribojimas, atliekant pratybose planuotą fizinio krūvio seriją, modifikuoja šių rodiklių kaitą aktyviuose raumenyse. Taip pat stebėjome lėtesnį arterinės kraujotakos intensyvumo atsigavimą po krūvio serijos bei labai lėtą StO_2 atsigavimą poilsio tarp krūvio serijų metu.

Mūsų tyrimo rezultatai iš dalies patvirtina kitų tyrėjų [61, 212, 225, 226] teiginius, kad pratybose, taikant okliuzinės treniruotės metodą, širdies veikla nepatiria ekstremalių apkrovų. Tačiau vertinimas, kad tokios pratybos nelavina funkcinį miokardo galimybių, yra netikslus. Mūsų pasirinktas duomenų kointegracijos metodas, vertinant EKG rodiklių dinaminių sąsajų (DskRR_QRS; DskRR_JT ir DskQRS_JT) kaitą pratybose taikant tradicinį ir okliuzinės treniruotės metodą, akivaizdžiai rodo, kad širdies būklės kitimas tokių pratybų metu skiriasi nuo pratybų, be aktyvių raumenų kraujotakos ribojimo (4.2.7 pav.). Pateiktos rodiklio (Dsk) kaitos krypties koeficiento rezultatai akivaizdžiai rodo okliuzinio poveikio suminį poveikį pratybų eigai. Kaip minėjome, fizinių gebėjimų lavėjimas yra nusakomas histerezės principu (*vėlyvasis poveikis*) [103, 217], organizmo būklės kaita – tiesioginiu; liekamuoju; suminiu bei kumuliaciniu pratybų poveikiu [31]. Todėl galima teigti, kad atliekant pratimus, kai iš dalies yra ribojama raumenų kraujotaka, širdies veikla bus stipriau paveikiama ir toks poveikis atsispindės ilgalaikės adaptacijos procese.

Apibendrinant šio tyrimo rezultatus galima teigti, kad fizinio krūvio pratybos, kai iš dalies yra ribojama raumenų kraujotaka, nesukelia ryškių širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinį rodiklių pokyčių, išskyrus didelį vietiškos kraujotakos suaktyvėjimą. Tokių pratybų metu širdies veikla yra paveikiama stipriau nei atliekant pratimus be kraujotakos ribojimo. Šis krūvio atlikimo metodas yra saugus ir gali būti rekomenduojamas sveikatos stiprinimo tikslais.

Pratybų, taikant didelio intensyvumo intervalinio pobūdžio krūvius sportuojančių, sveikatą stiprinančių vyrų ($n = 16$) įtaka širdies ir kraujagyslių sistemai

Kaip minėjome šio darbo įvade, gana nauja ir populiarinama fizinio aktyvumo forma yra didelio intensyvumo intervalinė treniruotė (DIIT). Literatūroje pabrėžiamas jos veiksmingumas ir tai, kad taikant šį metodą sutrumpėja laiko sąnaudos [46–48, 71, 72]. Pateikiama tyrimų, įrodančių, kad DIIT sukelia įvairius ŠKS bei medžiagų apykaitos pasikeitimus, panašius ar net didesnius nei tie, kurie gaunami reguliariai atliekant reguliarius aerobinius pratimus [88, 227]. Šį treniravimo metodą dažnai naudoja sportininkai [49]. Tačiau yra darbų, teigiančių kad toks metodas gali būti taikomas ir nesportuojantiems asmenims. Netgi pabrėžiama, kad netreniruotiems asmenims ir širdies sveikatos problemų turintiems asmenims tai gali būti veiksminga tradicinių ištvermės pratimų alternatyva [73, 74]. Kai kuriuose tyrimuose buvo parodyta, kad dėl tokio treniravimo metodo pagerėjo atsvario ir nutukusių žmonių sveikatos rodikliai [52–54, 210, 211].

Šio tyrimo metu prieš pratybas tiriamųjų santykinės ramybės metu ŠSD vertės beveik nekito, bet buvo galima įžvelgti silpnai išreikštą ŠSD didėjimo tendenciją, tiriamiesiems laukiant intensyvaus krūvio užduočių. Tai, be abejo, žinomas prieš-startinio jaudulio fenomenas, kuris išsamiai buvo vertintas ir parodytas Venskaitytės darbuose [209]. Nustatyta, kad sportininkams laukiant krūvio, daug dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių pradeda stiprėti, tai vertintina kaip sportininko nusiteikimas arba organizmo pasirengimas būsimam krūviui atlikti.

Fizinį krūvį pratybose lemia penki komponentai (*krūvio intensyvumas; trukmė, kartojimų skaičius, poilsio intervalų trukmė; poilsio pobūdis*). Pratybose galima variuoti šiais fizinio krūvio komponentais ir atitinkamai siekti skirtingų ilgalaikės adaptacijos poveikių [86, 230]. Dažniausiai DIIT pratybos trunka ne ilgiau kaip 20 minučių. Mūsų tyrime buvo pasirinkta gana trumpos krūvio užduotys, nes jų taikymo tikslingumas sportuojantiems asmenims vis tik kelia abejonių dėl galimos rizikos. Didelio intensyvumo arba maksimalių pastangų reikalaujantys krūviai yra rizikingi ir nerekomenduotini [12, 90, 231]. Siekdami atsakyti į klausimą, ar pratybų trukmės sutrumpinimas, taikant jose DIIT krūvius, nekelia rizikos sportuojantiems – sveikatą stiprinantiems asmenims, mes ir tyrėme šių krūvių įtaką ŠKS. Gauti tyrimo rezultatai parodė, kad atliekant tokio pobūdžio krūvius ŠKS yra stipriai paveikiama. Pirmiausia – trys tiriamieji iš 20-ties kviestųjų dalyvauti tyrime nutraukė dalyvavimą tyrime, o iš likusių 16 vertinamų tiriamųjų trims buvo konstatuota ryškūs funkciniai išeminiai miokardo požymiai krūvio arba iš karto po krūvio – tai rodo tokių pratybų neadekvatumą. Darome išvadą, kad tokio pobūdžio pratybos negali būti rekomenduotinos visiems asmenims. Jos kelia riziką, ir tik reguliariai sportuojantys asmenys bei gydytojo leidimą atlikti tokio pobūdžio fizinius krūvius turintys asmenys gali taikyti šį treniravimosi metodą. Formuluojamą išvadą patvirtina ir faktas, kad Dsk verčių svyravimai pratybose, kaitaliojantis krūvio kartojimams ir poilsio intervalams, vis didėja.

Pratybų, taikant koordinacinių pastangų reikalaujančias bei diferencinio mokymo metodu grindžiamas užduotis, įtaka ŠKS

Ankstesniuose, tiek mūsų, tiek kitų tyrėjų, darbuose [189, 232] buvo parodyta, kad krūvio pradžioje dažniausiai stebime dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių sustiprėjimą, ir tik atsirandant nuovargiui – jų silpnėjimo tendenciją. Mūsų taikomas EKG analizės metodas, vertinant dinaminių sąsajų kaitą atliekant fizinius krūvius, buvo taikytas daugelio autorių, tačiau mums neteko surasti nė vieno darbo, kuriame būtų parodyta jų kaita atliekant koordinacinių pastangų reikalaujančias užduotis. Pusiausvyros išlaikymas natūralių lokomocijų metu yra įprasta kasdienė užduotis [233, 234] ir mūsų

parinkta užduotis nesportuojantiems vyrams ($n=24$) (*pusiausvyros išlaikymas frontalinėje plokštumoje stovint ant dinaminės platformos*) nėra išskirtinai nepažįstama užduotis tiriamiesiems. Gauti šio vertinimo rezultatai (4.1 ir 4.2 tyrimai) parodė, kad atliekant nesudėtingas koordinacijos pastangų reikalaujančias užduotis dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių sustiprėja, tačiau baigus užduotį gana greitai jos atsigauna. Tačiau kada koordinacinė užduotis tampa sudėtingesnė (ir tai nėra įprasta kasdienė užduotis), dinaminių sąsajų kaita tampa įvairaus kryptingumo, ir daugelių atveju stebimas dinaminių sąsajų susilpnėjimas. Tokią situaciją stebėjome vertindami dinaminių sąsajų tarp EKG rodiklių kaitą tiriamiesiems (nesportuojantiems asmenims) pusiausvyros išlaikymo metu atliekant kamuoliuko mėtyimų-sugavimų ir įvairių pritūpimų užduotis.

Vienu iš tyrimų mes bandėme atsakyti į klausimą, ar galima sukelti stipresnį poveikį ŠKS, jeigu nesportuojantiems asmenims ($n = 12$) taikysime dviejų užduočių metodą. Kaip rodo ŠSD kaita, tai buvo subjektyviai lengva aerobinio krūvio užduotis, nes po įsidirbimo fazės jokio tolesnio ŠSD didėjimo stabiliosios fazės metu nebuvo ir ŠSD greitai atsigavo tik baigus krūvį. Tai rodo ir vertinamų Dsk kaita – nebuvo jokio Dsk didėjimo, kuris rodytų besikaupiantį nuovargį, o baigus krūvį Dsk greitai sugrįžo iki pradinių verčių. Šis tyrimas atskleidė, kad pratybose taikant dviejų užduočių metodą ŠKS galima sukelti stipresnį liekamąjį pratybų poveikį, nei tai įvyksta atliekant 20 minučių aerobinio krūvio užduotį. Mokslo publikacijose pateikiama daug tyrimų, kuriuose vertinama dvigubos užduoties metodo įtaka žmogaus judesių valdymui. Parodyta, kad šis metodas gerina koordinacinius gebėjimus, gerina kasdinių buitinių darbinių judesių atlikimą, mažina vyresnio amžiaus asmenų atsitiktinius griuvimus [235–237]. Tačiau literatūroje neteko surasti tyrimų, kuriuose būtų tyrinėjamas šio metodo poveikis ŠKS. Mūsų tyrime sustiprėjusios sąsajos tarp užrašytų EKG rodiklių praėjus 30 minučių galbūt turi būti vertinamos kaip teigiamas pokytis, sukeltas pratybose atliekant užduotis. Taigi, kai aerobinio krūvio pratybose tiriamieji atlikdavo papildomas užduotis, pratybų sukeltas poveikis buvo stipresnis. Daroma išvada, kad aerobinio krūvio pratybos, papildytos dviejų užduočių metodo principais, efektyviau paveikia nesportuojančių vyrų ŠKS funkcinę būklę. Krūvio metu sustiprėjusios sąsajos tarp ŠKS funkcinę būklę atspindinčių rodiklių atsigavimo po krūvio metu išlieka stipresnės.

Diferencinis mokymas – tai judesių kartojimo metodo alternatyva [51]. Asmuo įvairiais paties pasirenkamais būdais arba pagal instruktoriaus nurodymus turi atlikti vis naujas užduotis, ieškodamas optimalaus atlikimo varianto. Teigiama, kad taip mokydamasis asmuo lavina gebėjimą rasti individualius optimalius atlikimo modelius, greičiau prisitaiko prie nuolat kintamų sąlygų.

Moksliniai tyrimai patvirtino reikšmingai didesnę šio metodo veiksmingumą mokantis naujų judesių arba tobulinant fizinius gebėjimus [51, 238].

CNS aktyvinimas prieš jėgos lavinimo pratybas reikšmingai didina jėgos didėjimo tempus [239], t. y. padaro lavėjimą efektyvesnį. Literatūroje galima surasti įvairių tyrimų, kuriuose buvo tyrinėjama fizinių pratimų ir įvairių veiksmų sąveika [240, 241]. Taigi pastarasis ir kiti anksčiau paminėti faktai rodo organizmo kompleksiskumo ypatybes ir stiprų – tiek vidinių, tiek išorinių – veiksmų moduliuojamąjį poveikį organizmui. Šio tyrimo (*diferencinio ėjimo įtakos ŠKS vertinimas*) hipotezė buvo – papildomos užduotys (*kompleksinių sistemų požiūriu – tai trikdžiai arba perturbacijos*) pratybose, atliekant aerobinį krūvį, turėtų stipriau paveikti ŠKS. Pradinė tyrimo idėja buvo rasti apibendrintą atsakymą į klausimą, kaip kinta dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių pratybose taikant diferencinio mokymo metodą, neišskiriant asmens fizinio aktyvumo, jo fizinių gebėjimų, treniruotumo lygmens ir kitų ypatybių. Dalyvauti šiame tyrime buvo pakviesti nesportuojantys vyrai ($n = 9$), sportuojantys vyrai ($n = 8$) ir didelio sportinio meistriškumo sportininkai ($n = 9$). Gauti tyrimo rezultatai rodo individualias integruoto Dsk kaitos ypatybes. Suvidurkinti tyrimo rezultatai tarsi ir patvirtino ankstesnio tyrimo išvadą, kad atliekant neįprastą, koordinaciniu atžvilgiu sudėtingą fizinio krūvio užduotį Dsk didėja (*sąsaja tarp EKG rodiklių susilpnėja*). Kyla klausimas, ar didelio sportinio meistriškumo sportininkų sąsajų kaita tarp EKG rodiklių yra tokia pati, ar ji turi tam tikrų ypatybių. Gauti surinktų duomenų analizės rezultatai nustebino, kad didelio sportinio meistriškumo sportininkų pogrupio atsakas, atliekant šią diferencinio mokymo metodu grindžiamą užduotį, buvo panašus kaip ir nesportuojančių vyrų – krūvio pradžioje sąsaja tarp EKG rodiklių susilpnėdavo. Reguliariai sportuojančių ir mokančių atlikti šią judėjimo užduotį sąsaja tarp EKG rodiklių iš pradžių sustiprėdavo. Be abejo, tęsiant užduotį ir atsirandant nuovargiui, dinaminių sąsajų kaitai įtakos turi individualios tiriamojo ypatybės, daugeliu atvejų sąsaja tarp EKG rodiklių pradėdavo silpnėti. Negalime palyginti šio tyrimo rezultatų su kitų tyrėjų duomenimis, nes literatūroje tokių tyrimų nesuradome. Be to, reikia pripažinti, kad šis tyrimas taip pat turi tam tikrų ribotumų dėl per mažo tiriamųjų skaičiaus pogrupiuose. Norint formuluoti tokią išvadą, būtina užrašyti dinaminių sąsajų kaitą naujos užduoties mokymosi procese, stebėti ir vertinti judėjimo užduoties atlikimo kokybės kaitą. Mūsų gauti tyrimo rezultatai leidžia tik kelti hipotezę, kad atliekant nežinomą, koordinaciniu atžvilgiu sudėtingą judamąją užduotį, sąsaja tarp EKG rodiklių susilpnėja ir asmens treniruo-tumas tokiai rodiklio kaita neturi įtakos.

Atliekant fizinius pratimus aktyvėja įvairių funkcinių sistemų veikla, aktyvinami visi organizmo sandaros lygiai: polastelinis (*sin. subceliulinis*), ląstelių, audinių, organų, sistemų [232, 242, 243]. Morfologinių, fiziologinių,

psichologinių ypatumų sąveika, atliekant fizinius krūvius, bei aplinkos įtaka sukuria nepakartojamus fiziologinių reakcijų derinius ir tai negali būti vertinama pasinaudojant tik statistiniais vertinimo metodais [13, 199, 242, 244]. Vertindami gautus tyrimo rezultatus, galime manyti, kad atliekant naują ligtol nežinomą pratimą, organizmas galbūt stengiasi aktyvinti daugiau fiziologinių mechanizmų, kad kontroliuotų situaciją ir atliktų šią gana sudėtingą užduotį (*grįžtamojo ryšio vertės išauga, kompleksiskumas didėja*). Baigus pratimą vyksta atsigavimas – sumažėjus nervų ir raumenų (sin. neuromuskulinės) sistemos vyravimui grįžtamojo ryšio svarba jau nėra tokia didelė. Išmokus naujojo sudėtingo pratimo technikos, grįžtamajam ryšiui užtikrinti nereikia aktyvinti daug įvairių fiziologinių mechanizmų pratimo atlikimo kontrolei užtikrinti. Taigi kompleksiskumas sumažėja, ir priešingai, yra situacijos, kai sąmoningai stengiamasi kontroliuoti judesių atlikimo kokybę.

Sinergija – tai adaptyvus sistemos dalių prisitaikymas viena prie kitos ir prie visos sistemos kaip visumos [245]. Sinergijos pagrindas – kai biologinę sistemą ir joje susidariusią sinergiją veikia išoriniai ar vidiniai trikdžiai (*perturbacijos*), visa tai yra kompensuojama kitų biologinės sistemos komponentų, esančių sinergijoje. Kompensacija yra atliekama tokiu būdu, kad būtų išlaikomas funkcinis integralumas ir būtų pasiektas pagrindinis tikslas. Ko gero, nagrinėjant gautų tyrimo rezultatų vertinimus reikėtų neatmesti ir savitvarkos principų. Savitvarka yra pagrindinis mechanizmas, kurį naudoja gamta formuodama savo elgsenos tipą erdvėje ir laike. Tai būdinga sistemoms, kurios yra atviros energijos, informacijos apsikeitimui su aplinka [246]. Tačiau pabrėžiama, kad nenatūrali variacija (*vadinamosios klaidos*) sistemos komponentuose yra kompensuojamos prisiderinant (*kovarijuojant*) kituose komponentuose tam, kad funkcija išliktų stabili ir patenkintų užduoties reikalavimus.

IŠVADOS

1. Algebrinio duomenų kointegracijos metodo vertinamos sąsajos tarp EKG rodiklių arba tarp reografijos rodiklių kinta ir priklauso nuo širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinės būkės. Tai teikia galimybę tyrinėti ŠKS funkcijos ypatybes, vertinti sveikatos stiprinimo pratybų ir fizinių krūvių poveikius. Toks vertinimas tiksliau nei širdies susitraukimo dažnis, arterinis kraujospūdis, minutinis kraujo tūris arba deguonies įsisotinimo raumens audinyje kaita rodo liekamuosius krūvio poveikius.
2. Okliuzinės treniruotės metodas, taikomas sportuojantiems ir sveikatą stiprinantiems vyrams, nesukelia ekstremalių širdies apkrovų. Tačiau vertinimas, kad tokios pratybos nelavina miokardo funkcinių galimybių, yra netikslus. Krūvio atlikimas, iš dalies okliudavus kraujotaką, sukelia didelę aktyvių raumenų deguonies desaturaciją ir didelį vietiškos kraujotakos suaktyvėjimą po pratimų atlikimo. Tokių pratybų metu širdies veikla yra paveikiama daugiau, nei atliekant tokio paties intensyvumo krūvį be kraujotakos ribojimo.
3. Sportuojančių ir sveikatą stiprinančių vyrų pratybose taikomi didelio intensyvumo intervalinės treniruotės metodu atliekami fiziniai krūviai paveikia širdies ir kraujagyslių sistemą. Tačiau tokio pobūdžio pratybos kelia riziką, ir tik reguliariai sportuojantiems bei gydytojo leidimą atlikti tokio pobūdžio fizinius krūvius turintiems asmenims galima rekomenduoti taikyti šį treniravimosi metodą.
4. Aerobinio krūvio pratybų, papildytų diferencinio mokymu metodo grįstomis užduotimis, įtaka širdies ir kraujagyslių sistemai yra stipresnė nei tokio paties intensyvumo aerobinio krūvio pratybos – dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių sustiprėjimas po pratybų išlieka ilgiau.

PRAKTINĖS REKOMENDACIJOS

- Algebriniu duomenų kointegracijos metodu įvertinamos dinaminės sąsajos tarp EKG rodiklių geriau nei atskirai paimtas kitas EKG rodiklis leidžia vertinti sveikatos stiprinimo pratybų sukeltą liekamąjį poveikį.
- Papildomas CNS aktyvinimas nesudėtingomis judėjimo užduotimis nesportuojantiems vyrams atliekant mažo intensyvumo aerobinę krūvį gali padidinti fizinio krūvio efektyvumą ir kartu – sukelti reikšmingesnius ilgalaikės adaptacijos poveikius.
- Sveikatą stiprinančių vyrų pratybose taikant okliuzinės treniruotės ir didelio intensyvumo intervalinės treniruotės metodus ar diferenciniu mokymo metodu grindžiamas užduotis sukeliami reikšmingi širdies ir kraujagyslių sistemos pokyčiai. Šie krūvio atlikimo metodai gali būti rekomenduojami pirminės profilaktikos tikslais.

SUMMARY

ACRONYMS AND ABBREVIATIONS

CVS	– cardiovascular system
ECG	– electrocardiogram
HR	– heart rate
ABP	– arterial blood pressure
JT interval	– ECG interval: from the junction point J to the end of the T wave
QRS	– duration of the QRS complex in ECG
StO₂	– tissue oxygen saturation index
ABF	– arterial blood flow in the calf segment
Disc	– discriminant
Disc_RR_QRS	– discriminant between ECG RR interval and the duration of the QRS complex
Disc_RR_JT	– discriminant between ECG RR interval and the duration of the JT interval
Disc_{QRS}_JT	– discriminant between the QRS complex and the duration of the JT interval
Disc_{sum}	– the sum of all the evaluated discriminant values: $Disc_{sum} = Disc_{R}R_{QRS} + Disc_{R}R_{JT} + Disc_{QRS_JT}$
HIIT (HIIT)	– high-intensity interval training
DL (DL)	– differential learning

INTRODUCTION

Throughout all periods of human life, physical exercises and physical activity are important factors in disease prevention, health enhancement, deceleration of the aging processes, and the improvement of the quality of life. Numerous studies have been performed worldwide about the effect of physical activity on health [1–3]. In order to encourage people to exercise and strengthen their health, a variety of novelties have been proposed, including completely new or modified exercising techniques. These novelties have also been widely discussed in scientific literature [4–7]. Researchers have noted that the evaluation and scientific substantiation of the application of these novel techniques as well as the assessment of their effectiveness are relevant issues from both the scientific and the practical perspectives.

New and increasingly modern research and data evaluation techniques are continuously being invented and applied, which significantly expands research possibilities. Currently, evaluation techniques for complex systems

are rapidly gaining popularity [13–15] in the evaluation of both system complexity and peculiarities of the changes in that complexity. The researchers’ aspirations for a continuous improvement of the methods is logical and understandable, as is their natural willingness to contribute to the overcoming of challenges arising in computer science, mathematics, and other related sciences.

Scientific novelty. This work tackles the issue of increasing the effectiveness of primary prevention by evaluating the influence of physical training techniques applied in health-enhancing exercises on the cardiovascular system (CVS):

- The study evaluated the suitability of exercising based on occlusion training, high-intensity interval training, and differential learning in developing the functional abilities of the CVS.
- The study showed that aerobic exercise complemented with the dual task technique or differential learning-based tasks had a greater impact on the CVS than traditional aerobic exercises did.
- The study analyzed the new analytical possibilities of the algebraic data co-integration method in the evaluation of the dynamics of concatenation between ECG or reography indices. The obtained results showed that these concatenations became stronger during physical exercise; however, when complex coordination tasks were applied or when the physical load increased and became inadequate, the dynamics of concatenation weakened. The dynamics of concatenation between ECG indices evaluated via the data co-integration method reflected the changes in the CVS functional status during health-enhancing exercises, and thus this technique may be applied when evaluating the effect of the exercises.

1. THE AIM AND THE OBJECTIVES OF THE STUDY

Aim

The aim of the study was to apply the novel algebraic data co-integration method in order to evaluate whether the effect of health-enhancing exercises on the cardiovascular system (*the effectiveness of primary prevention*) may be increased by applying occlusion training, high-intensity interval training, and aerobic exercising combined with tasks based on the differential learning method.

Objectives

1. To determine whether the analysis of the dynamics of concatenation between ECG or reography indices (discriminant change) is a suitable technique for the evaluation of the residual effect of the applied physical training techniques on the CVS in not actively exercising individuals, actively exercising individuals, and high-level professional athletes.
2. To determine the effect of occlusion training on the CVS in individuals who were actively exercising for health enhancement.
3. To determine the effect of high-intensity interval training on the CVS in individuals who were actively exercising for health enhancement.
4. To determine whether the effect of health-enhancing exercising on the CVS may be increased by complementing it with tasks based on the differential learning method.

2. THE STUDIED SAMPLE AND THE METHODS OF THE STUDY

The study was carried out at the Clinical Department of Sports Medicine of the Lithuanian University of Health Sciences and at the laboratory of Kinesiology of Lithuanian Sports University during April 2017 – February 2019. The study was performed with the permission of Kaunas Regional Biomedical Research Ethics Committee (No. BE-2-10). Research data were de-identified, and all evaluations were performed in accordance with the requirements set in the obtained permission (No. 2R-2384 (2.6-1)) of the State Data Protection Inspectorate.

The sample size was 192 subjects. All subjects were healthy and had physicians' permissions to exercise. The subjects' characteristics are presented in Table 2.1.

2.1. Research organization and study protocols

According to the objectives of the study, the subjects were selected from different populations: not actively exercising individuals, actively exercising individuals, and high-level professional athletes (Table 2.1.1). For this purpose, *convenience sampling* was applied. In the population of high-level professional athletes, *total population sampling* was applied.

Three populations were identified in the study:

- *Not actively exercising individuals* – i.e. individuals who characterized themselves as not regularly exercising or visiting the gym.
- *Actively exercising individuals* – i.e. individuals who were regularly (*at least twice a week*) exercising independently or in the gym for health enhancement and physical fitness.
- *High-level professional athletes* – i.e. individuals who were regularly training in the selected field of sports for sports achievements and who participated in Lithuanian championships and international sports competitions.

Exclusion criteria:

- Female sex
- The presence of cardiac diseases
- Age <20 years or >35 years

Table 2.1.1. *Subjects' characteristics by subgroups*

No.	Subjects	Studied subjects, n	Age (years) (mean $\pm$ SD)	BMI (mean $\pm$ SD)
1.	Not actively exercising individuals	84	24.6 $\pm$ 2.1	24.2 $\pm$ 0.9
2.	Actively exercising individuals	75	23.6 $\pm$ 1.6	22.2 $\pm$ 0.6
3.	High-level professional athletes	33	22.3 $\pm$ 2.3	23.6 $\pm$ 0.6

Table 2.1.2. *Subjects' distribution by the objectives of the study*

	Subjects	Sample size, n	Total number of subjects
Objective I	Not actively exercising individuals	27	78
	Actively exercising individuals	27	
	High-level professional athletes	24	
Objective II	Actively exercising individuals	24	24
Objective III	Actively exercising individuals	16	16
Objective IV	Not actively exercising individuals	57	74
	Actively exercising individuals	8	
	High-level professional athletes	9	

2.1.1. Research organization and study sample of the first objective

The research of the first objective included 80 subjects who met the inclusion criteria. In two subjects, the ECG were of poor quality and thus were excluded from the analysis. Consequently, 78 individuals entered the research. They were distributed into subgroups of not actively exercising individuals ($n = 27$), actively exercising individuals ($n = 27$), and high-level professional athletes ($n = 24$). The research methods applied and the indices registered are presented in Table 2.1.1.1.

Table 2.1.1.1. Research methods and indices registered in the first objective

Research title	Research methods	Indices registered
1.1 Peculiarities of changes in the dynamics of concatenation between ECG indices under relatively low workload. <i>(not actively exercising individuals, $n=27$)</i>	Electrocardiography	<u>ECG indices:</u> HR; dynamics of concatenation between ECG indices (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT)
	Bicycle ergometry	Power output [W]
	Registration of ABP changes	Systolic, diastolic
1.2 Peculiarities of changes in CVS function indices under stepwise incremental workload until inability to continue the task and during recovery. <i>(high-level professional athletes, $n=24$)</i>	ABP measurements	Systolic, diastolic
	Reography	Stroke volume and cardiac output
	Bicycle ergometry	Power output [W]
1.3 Peculiarities of CVS functions reflecting the peculiarities of changes in the CVS indices under stepwise incremental workload until inability to continue the task and during recovery. <i>(actively exercising individuals, $n=27$)</i>	Electrocardiography	<u>ECG indices:</u> HR; dynamics of concatenation between ECG indices (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT)
	Registration of ABP changes	Systolic, diastolic
	Reography	Cardiac output
	Bicycle ergometry	Power output [W]
	Non-invasive near-infrared spectroscopy	StO ₂ – muscle oxygen saturation

Research protocols

Research 1.1. Peculiarities of changes in dynamic concatenations between ECG indices under relatively low physical load.

On each subject, 10 ECG electrodes were placed, and after 20-minute adaptation (*in the sitting position*), 12-lead standard ECG was recorded for 5 minutes. Following that, all subjects performed relatively light (25 W) 10-minute physical exercising on a bicycle ergometer at 60 rpm. After the load, with the subjects still sitting on the bicycle ergometer, ECG was further recorded to observe the course of recovery.

Research 1.2. Peculiarities of changes in the cardiac function under stepwise incremental loading until inability to continue the task and during the recovery phase.

The protocol of this research is presented in Fig. 2.1.1.1. After the reography at rest (6 min), the workload was incremented in steps every 6 minutes (*according to the workload incremental protocol*) until the subjects were unable to continue the exercise task. ABP was measured before the exercise, at the end of each step, and during the recovery after the workload. By the end of the last minute of each workload incrementation step, the subjects were asked to stop exercising for 5–6 seconds, and reography was performed during that break (*to register changes in stroke volume and cardiac output*).

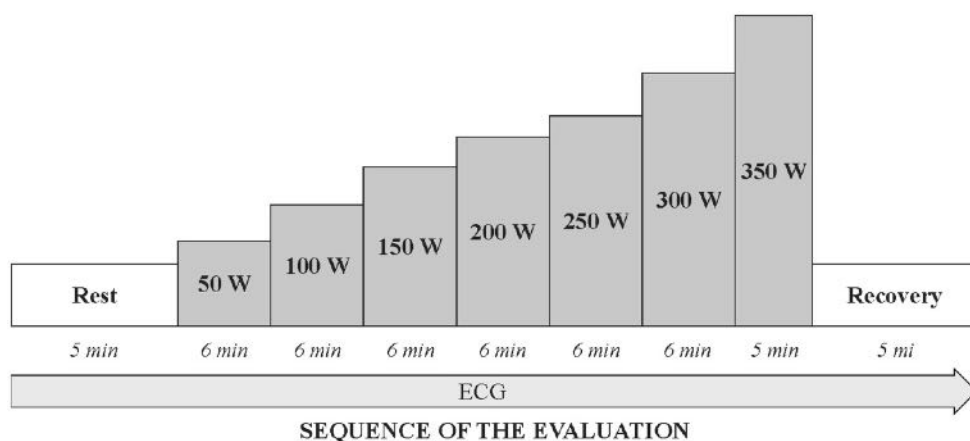


Fig. 2.1.1.1. Research protocol of the evaluation of the peculiarities of changes in the cardiac function under stepwise incremental loading until inability to continue the task and during the recovery period

Research 1.3. Peculiarities of changes in the indices of the CVS function under stepwise incremental loading until inability to continue the task and during recovery (Fig. 2.1.1.2.).

The protocol of this research is presented in Fig 3. After the recording of the ECG at rest (for 6 min), the subjects received a relatively light workload (50 W), and then rested sitting on the bicycle ergometer for 6 minutes. Following that, they were subjected to workload that was increasing in steps every 6 minutes (*according to the workload incremental protocol*) until the subjects were unable to continue the exercise. Prior to the physical load, at the end of each step, and during the recovery period, the subjects' ABP was measured. During the recovery period, ECG was recorded for 5 minutes and at 30 minutes after the completion of the exercise.

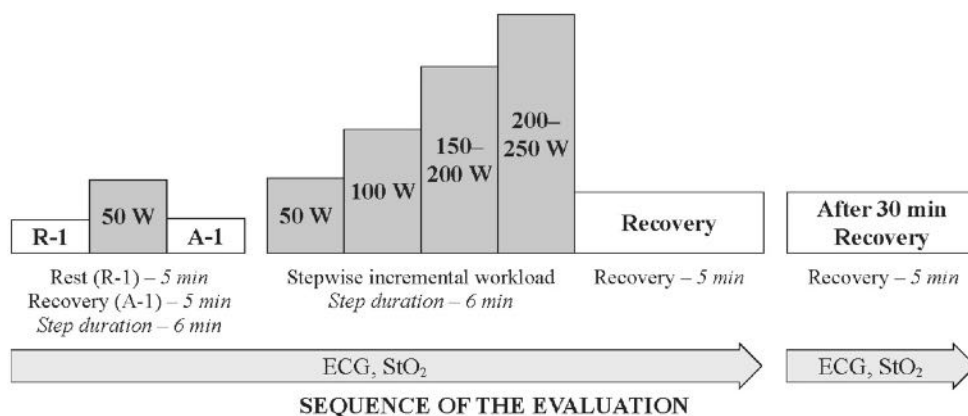


Fig. 2.1.1.2. Research protocol of the evaluation of the peculiarities of changes in ECG indices under relatively low and high workload until inability to continue the task

2.1.2. Research organization and study sample of the second objective

The research of the first objective included 25 subjects who met the inclusion criteria. In one subject, the ECG was of poor quality and thus was excluded from the analysis. Consequently, 24 individuals entered the research. They were randomly distributed into two subgroups, each consisting of 12 subjects. The first subgroup participated in the control study, and after a 5-day break – in the study evaluating the effect of occlusion training. The second subgroup underwent the evaluation in the reverse order – i.e. first the occlusion training, and then the control study.

The research methods and the indices registered are presented in Table 2.1.2.1.

Table 2.1.2.1. Research methods and indices registered in the second objective

Research	Evaluation methods	Indices registered
2. The effect of the occlusion training session on the CVS. (Actively exercising individuals $n=24$)	Electrocardiography	ECG indices: HR; dynamics of concatenation between ECG indices (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT)
	Dynamometry	[kG]
	Registration of ABP changes	Systolic, diastolic
	Non-invasive near-infrared spectroscopy	StO ₂ – muscle oxygen saturation;
	Venous occlusion plethysmography	ABF – arterial blood flow BF – blood flow [mL/min/100 cm ³]

Research protocol

Research 2. The effect of occlusion training on the CVS (Fig. 2.1.2.1).

The subjects were familiarized with the research procedure. Significant attention was devoted to acquainting the subjects with the peculiarities of physical exercising used in the study; the subjects also underwent measurements of the maximal voluntary contractile strength (MVC) of the calf muscles – plantar flexion.

During the imitation exercise, the subjects carried out a local physical exertion task (40% of the MVC) in the following manner:

- Exercise intensity – 40% of the MVC;
- Three exercise sets, each consisting of:
 - ✓ Eight sets of movement cycles;
 - ✓ A 30-second break between the sets;
 - ✓ A 2.5-minute break between the sets;
- A 5-minute recovery after the exercise.

Prior to the study, the subjects were given 20 minutes for adaptation in the sitting position. During this period, ECG and StO₂ sensors were attached along with plethysmography registration and occlusion cuffs and the ABP cuff. An occlusion pressure of 120 mmHg was applied prior to the physical exercise sets, and was discontinued after each set (*the occlusion was removed during the recovery period between the sets*); no occlusion was applied during the control testing. ECG and StO₂ were recorded continually, ABP was recorded prior to and after each exercise set, and arterial blood flow in the

muscles was evaluated at baseline and at 30, 60, and 120 seconds after each exercise set.

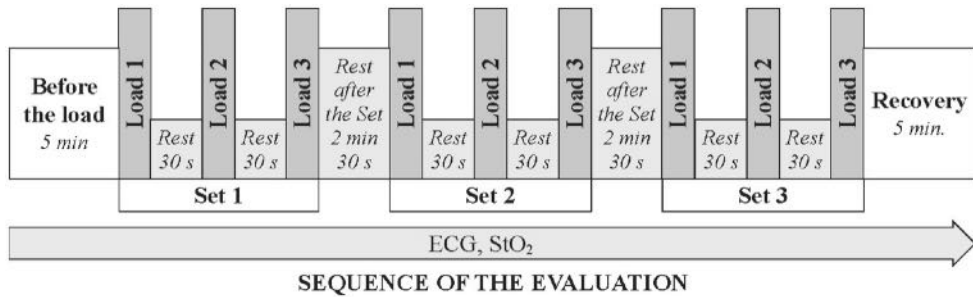


Fig. 2.1.2.1. *Research protocol of the evaluation of the effect of occlusion training on the CVS*

2.1.3. Research organization and study sample of the third objective

A total of 20 subjects met the inclusion criteria and participated in the research of the third objective. Two subjects refused to continue the participation after only two sets of intensive physical exercise, and one subject performed all four sets, but experienced dizziness immediately upon the recovery after the exercise, and thus expressed the wish to discontinue his participation as well. In one subject, the recorded ECG was of exceptionally poor quality, and was therefore excluded from the analysis. Thus, in total, **16 subjects** entered the research program. The research methods and the indices registered are presented in Table 2.1.3.1.

Table 2.1.3.1. *Research methods and indices registered in the third objective*

Research	Evaluation methods	Indices registered
2. The effect of short-term high-intensity interval training on the CVS (Actively exercising individuals, $n=16$)	Electrocardiography	<u>ECG indices:</u> HR; ST segment depression; dynamics of concatenation between ECG indices (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT)
	Registration of ABP changes	Systolic, diastolic
	Bicycle ergometry	Power output [W]

Research protocol

Research 3. The effect of high-intensity interval training on the CVS (Fig. 2.1.3.1).

Prior to the study, the subjects were familiarized with the course of the imitated training and the peculiarities of the physical exercise. They were also informed that they might withdraw from the study at any stage. Upon arrival, the subjects signed the informed consent form. After a 5-minute warm-up (50 W), the subjects rested for at least 5 minutes before the main load. During the resting period, ECG electrodes were attached. The HIIT consisted of four 20-second sets, with the load being 1 W per 1 kg of the body mass, according to the Wingate test protocol. During those four sets, the subjects were asked to pedal as fast as possible. The duration of the recovery period between the sets was 3 minutes. ECG was recorded continually throughout the exercise and for the first 5 minutes after it. ECG was recorded again at 30 minutes after the completion of the exercise.

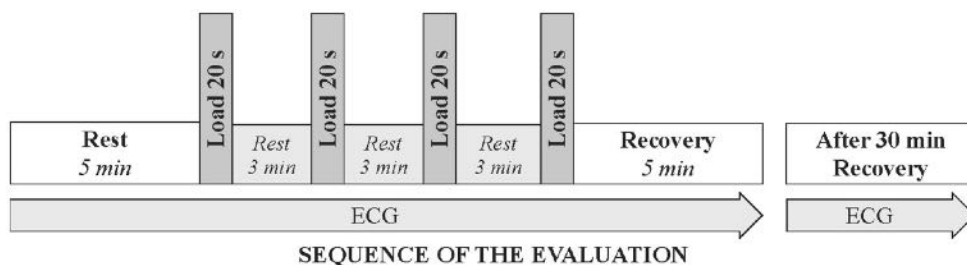


Fig. 2.1.3.1. Research protocol of the evaluation of the effect of high-intensity interval training on the CVS

2.1.4. Research organization and study sample of the fourth objective

A total of 75 subjects met the inclusion criteria and participated in the research of the fourth objective. In one subject, the recorded ECG was of poor quality, and was therefore excluded from the analysis. Thus, in total, 74 subjects entered the research program. The subjects were distributed into subgroups of not actively exercising individuals ($n = 57$), actively exercising individuals ($n = 8$), and high-level professional athletes ($n = 9$).

In research 4.4, three subgroups were formed: not actively exercising individuals ($n = 9$), actively exercising individuals ($n = 8$), and high-level professional athletes ($n = 9$). The research methods and the indices registered are presented in Table 2.1.4.1.

Table 2.1.4.1. Research methods and indices registered in the fourth objective

Research	Evaluation methods	Indices registered
4.1. Dynamics of concatenation between ECG indices during a simple balance exercise. (<i>not actively exercising individuals, n = 24</i>)	Electrocardiography	<u>ECG indices:</u> HR; dynamics of concatenation between ECG indices (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT)
4.2. Dynamics of concatenation between ECG indices during increasingly complex exercises that require coordination efforts. (<i>not actively exercising individuals, n = 12</i>)	Electrocardiography	<u>ECG indices:</u> HR; dynamics of concatenation between ECG indices (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT)
4.3. Changes in the dynamics of concatenation between ECG indices when performing additional tasks (the dual task (DT) technique) during aerobic exercises. (<i>not actively exercising individuals, n = 12</i>)	Electrocardiography	<u>ECG indices:</u> HR; dynamics of concatenation between ECG indices (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT)
	Bicycle ergometry	Power output [W]
4.4. Dynamics of concatenation between ECG indices when performing differential learning (DL)-based tasks. (<i>High-level professional athletes, n = 9; actively exercising individuals, n = 8; not actively exercising individuals, n = 9</i>)	Electrocardiography	<u>ECG indices:</u> HR; dynamics of concatenation between ECG indices (RR_QRS; RR_JT; QRS_JT)

Research protocols

Research 4.1. Dynamics of concatenation between ECG indices during a simple balance exercise.

The subjects performed a 10-minute exercise of maintaining balance in the frontal plane while standing on a balance board. The subjects saw changes in the balance curve on a computer screen, thus receiving feedback about the task performance. In this manner, the subjects were motivated to perform the task as well as possible. ECG was continually registered throughout the evaluation.

Research 4.2. Dynamics of concatenation between ECG indices during increasingly complex exercises that require coordination efforts.

The subjects had to perform two tasks. The first exercise was exactly the same as in the previous evaluation – i. e. maintaining balance in the frontal plane while standing on a balance board. During the second exercise, the subjects still had to maintain the balance, but they also received the researcher's instructions to perform additionally new tasks that complicated the maintaining of the balance. The tasks included half squats of various types as well as various ball throwing and catching tasks. ECG was continually registered throughout the evaluation.

Research 4.3. Dynamics of concatenation between ECG indices during the application of the dual task (DT) technique in aerobic exercising (Fig. 2.1.4.1).

The subjects were evaluated twice: they had two 20-minute exercise sessions in a random sequence with a three-day break between the exercise sessions. This was a relatively light (25 W) workload on a bicycle ergometer with the pedaling rate of 60 rpm. The aim of one evaluation was to assess the effect of aerobic exercising on changes in the dynamics of concatenation between ECG indices, while the other aimed at assessing the effect of the dual task technique on the aforementioned changes. The peculiarity of the latter exercise was that while pedaling on the bicycle ergometer, from time to time the subjects were asked to perform uncomplicated, but coordination effort-demanding tasks with their arms, and each subsequent task was a new variant of the previous one. The evaluations of the subjects' CVS functional status were performed before the exercise, after 5 minutes, and at 30 minutes after the completion of the exercise. The organization of the evaluation is presented in Fig. 2.1.4.1. A computerized ECG recording and analysis system "Kaunas–krūvis" ("Kaunas–Load"), 12-lead standard ECG was continually recorded prior to the exercise, after 5 minutes, and at 30 minutes after the completion of the exercise.

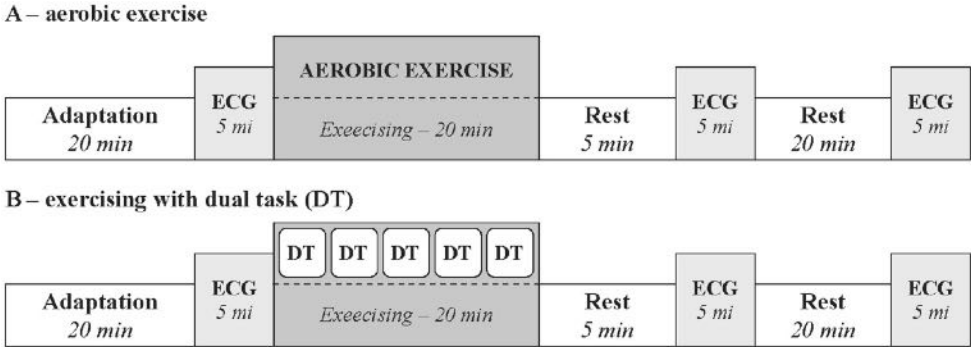


Fig. 2.1.4.1. Research protocol of the application of the dual task (DT) technique in aerobic exercising

Research 4.4. Dynamics of concatenation between ECG indices when performing differential learning (DL)-based tasks (Fig. 2.1.4.2).

The subjects performed various tasks while walking on a treadmill “HORIZON Paragon 5” (Johnson Health Tech, 2016) at the speed of 3 km/h. The duration of this evaluation was 20 minutes after 20-minute adaptation under the research conditions. After the recording of ECG at relative rest, the subjects performed the differential walking task. ECG was continually recorded throughout the differential walking task and during the 5 minutes of recovery after the physical exercise. The research protocol is presented in Fig. 2.1.4.2.

The differential walking exercise consisted of new tasks given during the walking. The subjects of two subgroups (not actively exercising subjects and high-level professional athletes) were unfamiliar with those tasks, while the subgroup of actively exercising subjects already knew those tasks, as they were usual in these subjects’ training. These tasks were increasingly complex combined movements with arms, shoulders, and the trunk. New variations of the movement tasks were given every 30–40 seconds (Appendix 3).

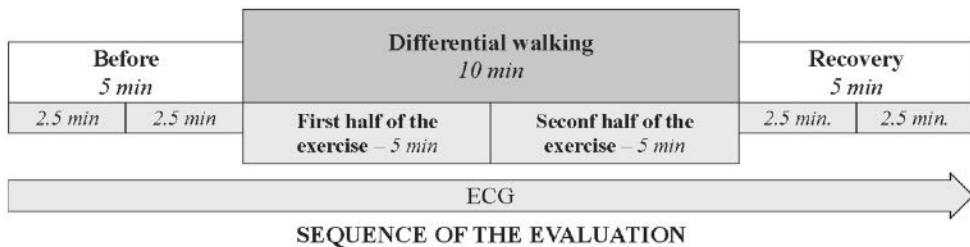


Fig. 2.1.4.2. *Research protocol of the evaluation of the effect of “differential walking” on the CVS*

2.2. Methods of the Study

The following methods were applied in the study:

- Electrocardiography
- Reography
- Venous occlusion plethysmography
- Arterial blood pressure (ABP) measurements
- Non-invasive near-infrared spectroscopy
- Dynamometry
- Bicycle ergometry (exercise tolerance test)
- Posturography
- Perceived exertion rating (Borg’s scale)

2.3. Evaluation and Statistical Analysis of the Dynamics of Concatenation

Dynamics of concatenation between the registered ECG indices were evaluated by applying algebraic data co-integration [167, 187, 197, 198]. We evaluated concatenations between two ECG indices and created two synchronized timelines – $(x_n; n = 0, 1, 2, \dots)$ and $(y_n; n = 0, 1, 2, \dots)$, where x_n and y_n were real numbers – e.g. the sequences of the selected ECG indices. For comparison, the initial data were standardized using the following formula:

$$x_{new\ value} = \frac{x_{old\ value} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}},$$

where $x_{\min}$ and $x_{\max}$ were the minimal and maximal physiological values of the analyzed parameter.

The relationship between two sequences was best characterized by $\text{disc } A_n = (\text{dfr } A_n)^2 + 4 \text{cdp } A_n$ (discriminant). If the discriminants of matrices

A_n were approaching zero, then matrices A_n turned from idempotent to nilpotent, which indicated that the two given data sets ($x_n; n = 0, 1, 2, \dots$) and ($y_n; n = 0, 1, 2, \dots$) were becoming more similar, and their individual informative value was decreasing, which means that they described an increasingly more interacting system of two process-generating subjects [189, 191, 192, 200].

To evaluate the effects of the investigated techniques used in health-enhancing exercises (*to determine the direction of the process change*), the discriminant values of all three evaluations of the dynamics of concatenation were summed up (according to the logic of Y. Bar Yam's complexity profile [201]):

$$\mathbf{Disc}_{\text{sum}} = \mathbf{DiscRR_QRS} + \mathbf{DiscRR_JT} + \mathbf{DiscQRS_JT},$$

where:

DiscRR_QRS – between the RR interval and the QRS complex;

DiscRR_JT – between the RR interval and the JT interval;

DiscQRS_JT – between the QRS complex and the JT interval.

Statistical analysis

Statistical data analysis was performed by using *SPSS 23.0 for Windows* and *Microsoft Excel 2017* software. The comparison of two dependent samples when the assumption of normality was met was performed by applying Student's paired t-test, and non-parametric Wilcoxon's test was used when the assumption of normality was not met. The Mann-Whitney test was used to compare two independent samples. The results are presented as arithmetic means and standard deviations ($m \pm SD$). The difference was regarded as statistically significant when $p < 0.05$.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Peculiarities of changes in the dynamics of concatenation between ECG indices in not actively exercising individuals under relatively low workload

Changes in the dynamics of concatenation between ECG indices under relatively low workload and during the recovery phase are presented in Fig. 3.1.1.

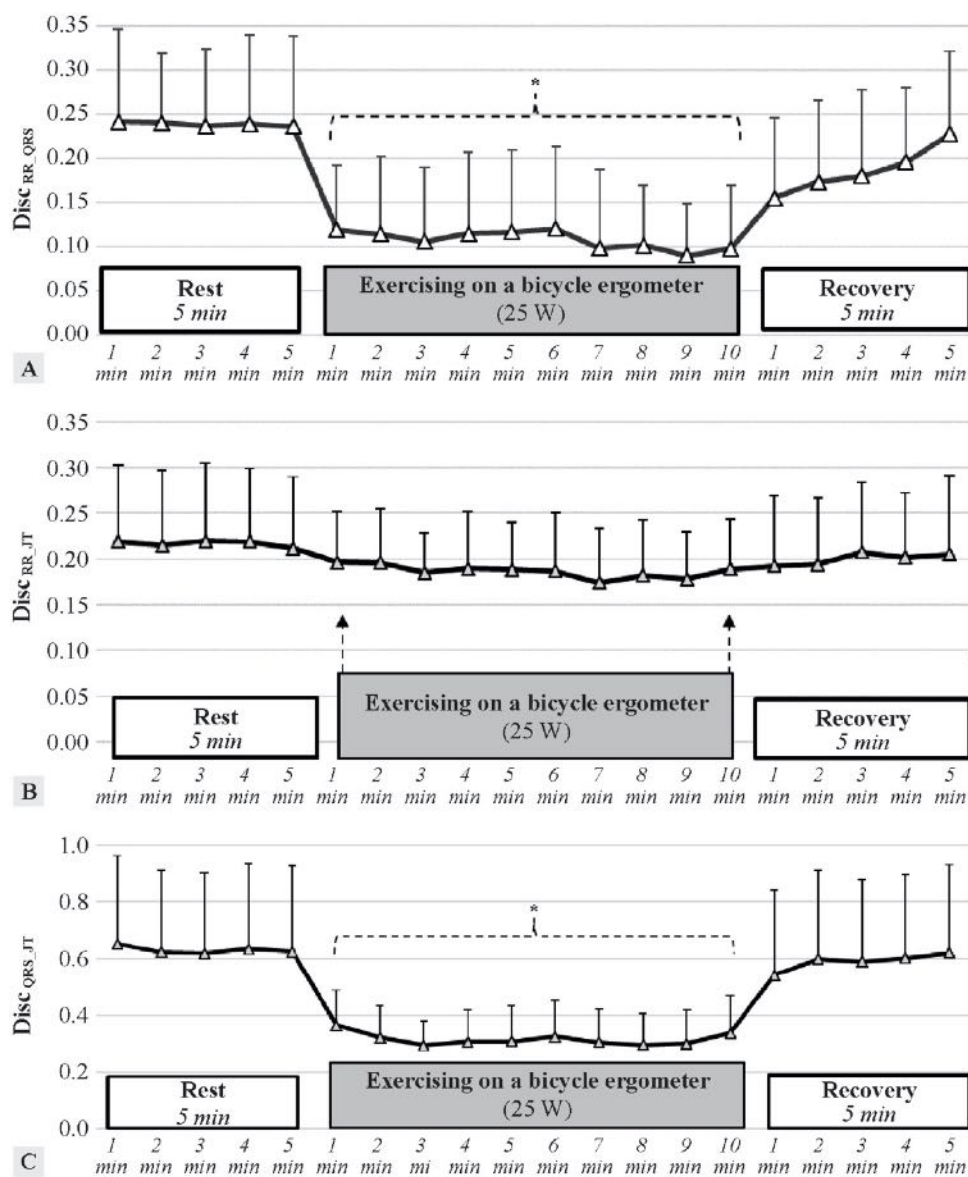


Fig. 3.1.1. Changes in the dynamics of concatenation between ECG indices under relatively low workload and during the recovery phase:

(A) concatenation between RR and QRS; (B) concatenation between RR and JT; (C) concatenation between QRS and JT

* – a statistically significant difference, compared to baseline values.

Integrated changes in the three evaluated dynamics of concatenation.

The changes of integrated of the three evaluated concatenation ($Disc_{RR_QRS}$, $Disc_{RR_JT}$, and $Disc_{QRS_JT}$) is presented in Fig. 3.1.2. The mean sum value of the Discs at rest were 1.086 ± 0.039 . During the first half of the exercising, we observed a statistically significant increase in the dynamics of concatenation – i.e. the $Disc_{sum}$ decreased to 0.625 ± 0.021 , ($Z = -5.137$; $p = 0.001$). During the second half of the exercising, $Disc_{sum}$ remained reduced – 0.599 ± 0.021 , ($t(50) = 6.287$; $p = 0.001$). During the 5th minute of the recovery, Disc did not differ statistically significantly from baseline values ($Z = -2.348$; $p = 0.019$).

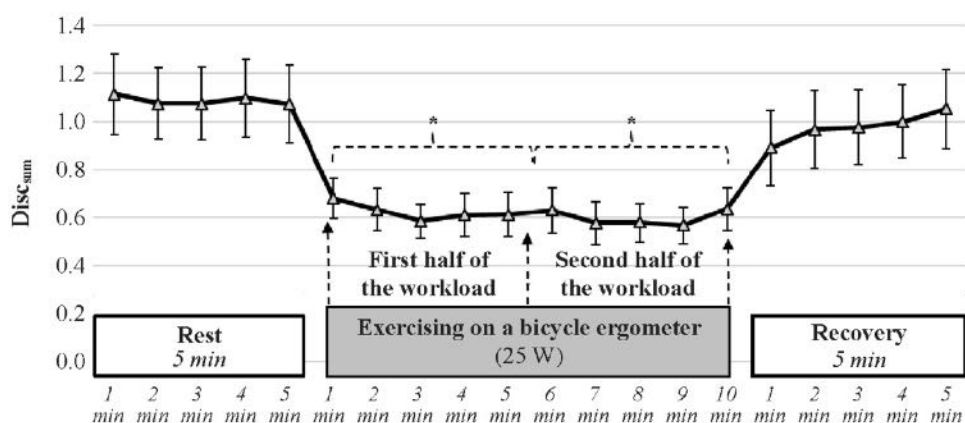


Fig. 3.1.2. Integrated changes in the three evaluated dynamics of concatenation ($Disc_{RR_QRS}$, $Disc_{RR_JT}$, and $Disc_{QRS_JT}$) during exercising and recovery

The obtained result showed that 10-minute exercising constituted a relatively low physical load (*HR elevation was relatively slight, there was no significant HR elevation when continuing exercising, and within 5 minutes after exercising, all the registered indices returned to their baseline values*). This also applies to changes in the evaluated dynamics of concatenation. Thus, the results of this study clearly showed that after physical exercise, the evaluated dynamics of concatenation quickly returned to the baseline values if the exercise did not cause significant fatigue.

3.2. Peculiarities of changes in CVS function indices in actively exercising individuals (n = 27) under stepwise incremental loading until inability to continue the task and during recovery

The integrated changes in the three evaluated dynamics of concatenation ($Disc_{RR_QRS}$, $Disc_{RR_JT}$, and $Disc_{QRS_JT}$) are presented in Fig. 3.2.1. The $Disc_{sum}$ values at rest were 0.845 ± 0.406 . During light exercising, $Disc_{sum}$ decreased to 0.587 ± 0.261 , and a statistically significant difference ($Z = -4.556$; $p = 0.001$) was observed. During the recovery after light exercising, $Disc_{sum}$ values returned to baseline values – 0.855 ± 0.389 . During strenuous exercising, $Disc_{sum}$ values increased to 1.254 ± 0.371 . Here, too, a statistically significant difference ($Z = -3.183$; $p = 0.01$) was observed. During the recovery after strenuous exercising, $Disc$ values decreased statistically significantly to 0.453 ± 0.256 ($Z = -3.804$; $p = 0.001$). At 30 min after the exercise, the subjects' $Disc_{sum}$ slightly increased to 0.531 ± 0.208 , and this was a statistically significant difference, compared to $Disc_{sum}$ values at rest ($Z = -4.738$; $p = 0.001$).

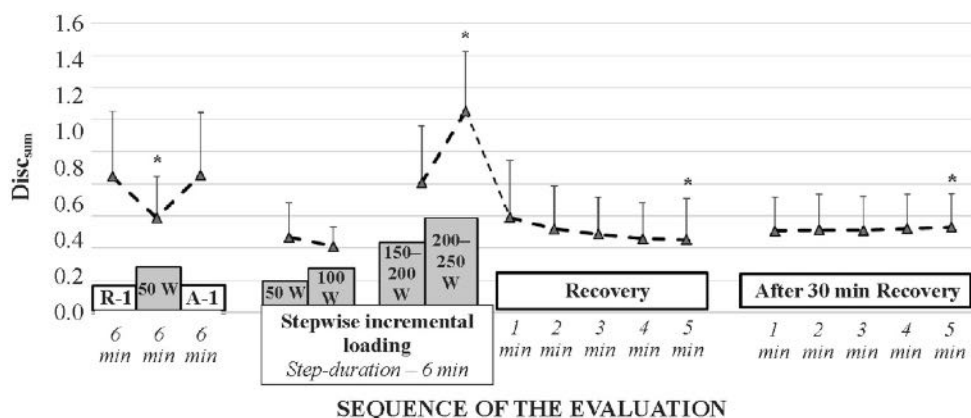


Fig. 3.2.1. Changes in $Disc_{sum}$ during relatively light and strenuous physical exercising until inability to continue the task and during recovery

Note: (R-1) – rest prior to physical load; (A-1) – recovery after low physical load.

* – a statistically significant difference, compared to baseline values.

The protocol of this study was composed in such a way that it would allow for monitoring recovery after relatively low intensity of exercising as well as after physical exercise that causes significant fatigue. Each loading step lasted six minutes, and in each next step, the load was greater by 50 W, continuing so until the subject was unable to carry on. Almost all the participants of this test subjectively evaluated their fatigue by 10 points (by Borg scale). Objective physiological indices registered at the end of the loading also showed maximal mobilization, and slowed down recovery

during the rapid recovery phase indicated a high degree of fatigue. In the discussion of the results of this evaluation, the main fact of interest was that the dynamics of concatenation between ECG indices remained increased throughout the recovery phase both during the first 5 minutes and at 30 minutes after the exercise. This means that Disc evaluation in a study on the CVS may be used to define an individual's fatigue after physical exercise. In the evaluation of the reaction of the CVS to physical loading and the effects of health-enhancing exercises, the values of the dynamics of concatenation would indeed be appropriate and valuable. The analysis of the results of this evaluation suggests that such evaluation is more accurate than HR, ABP, cardiac output, or StO₂ in describing the residual effect of physical load – i.e. the effect of physical load or exercising on the CVS.

3.3. The effect of the occlusion training session on the CVS in individuals who were actively exercising for health enhancement (n=24)

Changes in the arterial blood flow (ABF) in calf muscles. The results of the evaluation of changes in ABF are presented in Fig. 3.3.1. At rest, the ABF values were as follows: during the control evaluation, they were 3.1 ± 0.4 mL/100 mL/min, and during occlusion training – 3.2 ± 0.3 mL/100 mL/min. After the first set of exercising, ABF values increased both during the control evaluation and occlusion training – accordingly, to 56.6 ± 7.3 mL/100 mL/min and to 57.9 ± 7.1 mL/100 mL/min. After the second set of exercising, ABF values increased, on the average, to 58.2 ± 7.2 mL/100 mL/min, yet they did not differ statistically significantly from ABF values observed during occlusion training – 60.6 ± 6.9 mL/100 mL/min ($U = 59$, $p = 0.4780$). After the third set of exercising, there was no statistically significant difference between ABF values observed during the control evaluation (61.4 ± 6.4 mL/100 mL/min) and during occlusion training (63.7 ± 7.0 mL/100 mL/min). After the exercise, changes in AFB recovery were statistically significantly higher than baseline values: in the control evaluation group, they were $Z = -4.287$; $p = 0.001$, and in the occlusion training group – $Z = -3.059$; $p = 0.002$. A statistically significant difference was observed between the groups ($U=10$, $p=0.001$).

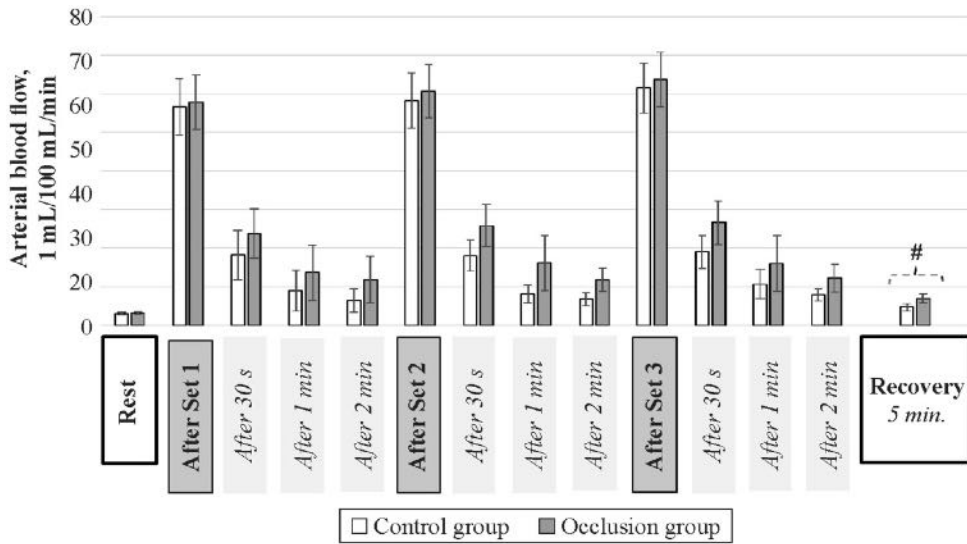


Fig. 3.3.1. Changes in arterial blood flow (ABF) in calf muscles during exercising when applying the traditional and the occlusion training techniques

– $p < 0.05$, a statistically significant difference between the groups.

Changes in muscle oxygen saturation (StO₂)

Data on changes in StO₂ are presented in Fig. 3.3.2 Prior to the study, StO₂ at rest was regarded as 100%, and subsequently, changes in the normalized value of the indicator are presented.

During the first set of exercising, StO₂ values were dropping drastically – to $40.1 \pm 3.6\%$ during the control evaluation, and to $19.0 \pm 3.6\%$ – during occlusion training, The difference was statistically significant ($U = 0$, $p < 0.001$). “ $U = 0$ ” means that the values in the control group were higher than those in the occlusion training group. During the second set of exercising, StO₂ values also differed between the control group ($40.6 \pm 3.6\%$) and the occlusion training group ($18.7 \pm 2.8\%$), and the difference was statistically significant ($U = 0$, $p < 0.001$). The comparison of StO₂ values between the first and the third sets of exercising showed a statistically significant difference during the control evaluation ($Z = -361$; $p = 0.002$), but not during occlusion training. During the third set of exercising, StO₂ values again differed between the control group and the occlusion training group ($U = 0$, $p < 0.001$).

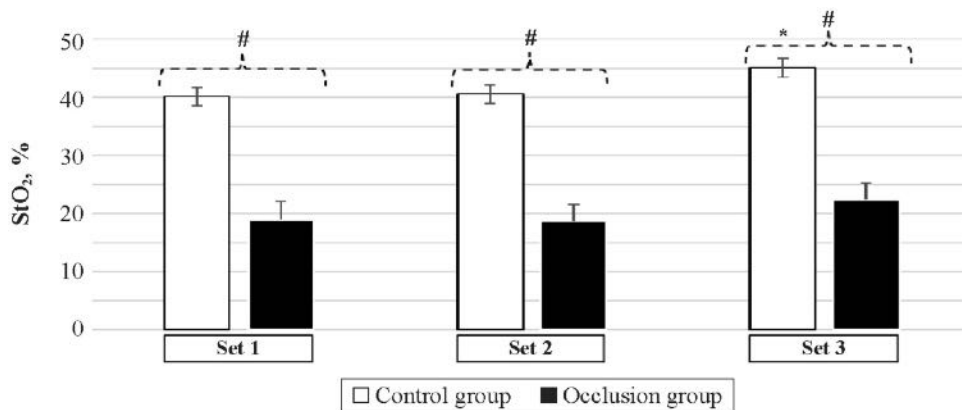


Fig. 3.3.2. *Changes in muscle oxygen saturation (StO₂) during traditional and occlusion training*

* – a statistically significant difference.

– $p < 0.05$, a statistically significant difference between the groups.

The integrated changes in the Disc_{sum} are presented in Fig. 3.3.3. Prior to the exercise, the mean Disc_{sum} values were 1.16 ± 0.69 during the control evaluation, and 1.12 ± 0.52 during occlusion training. There was no statistically significant difference between these Disc_{sum} values ($U = 560$, $p = 0.590$).

During the first set of exercising, mean Disc_{sum} values were 4.0 ± 0.60 during the control evaluation and 3.52 ± 0.56 during occlusion training. These values did not differ statistically significantly from each other ($U = 637$, $p = 0.901$). During the second set of exercising, Disc_{sum} values decreased as well – to 3.95 ± 0.61 during the control evaluation and to 3.19 ± 0.43 during occlusion training. The difference between these values was not statistically significant ($U = 604$, $p = 0.620$). During the third set of exercising, no statistically significant differences between Disc_{sum} values were observed either. The comparison of Disc_{sum} values between the first and the third sets of exercising revealed a statistically significant difference: 3.07 ± 0.46 , ($Z = -1.540$; $p = 0.124$). However, no statistically significant difference was detected between the groups ($U = 610$, $p = 0.669$).

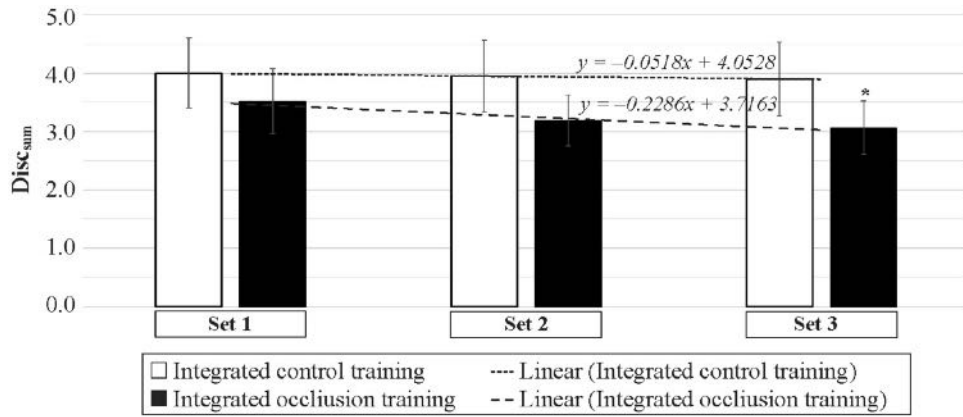


Fig. 3.3.3. Integrated changes in the three evaluated dynamics of concatenation ($Disc_{RR_QRS}$, $Disc_{RR_JT}$, and $Disc_{QRS_JT}$) during traditional and occlusion training

* – statistically significant difference, comparing the effect of occlusion training during Set 1 and Set 3.

The results of our study partially corroborate those obtained by other researchers who found that occlusion training does not result in excessive loads on the heart, yet the evaluation that such training does not enhance the functional capacity of the myocardium is not correct. The data co-integration technique that we chose for the evaluation of the changes in the dynamics of concatenation $Disc_{sum}$ of ECG indices during traditional and occlusion training clearly showed that changes in the cardiac state during such training differed from those observed during exercising without restrictions to the blood circulation in the active muscles. The slope of the changes in $Disc_{sum}$ shown in the aforementioned Figure clearly shows the cumulative effect of occlusion training during the exercising.

In general, the results of this evaluation suggest that exercising with partial restriction of muscular blood flow does not cause drastic changes in the functional indices of the cardiovascular system, except for a significant activation of local circulation. During such exercising, cardiac activity is affected more than during exercising without partial restriction of muscular blood flow.

3.4. The effect of short-term high-intensity interval training on the CVS in individuals who were actively exercising for health enhancement (n=16)

The mean results of changes in HR (Fig. 3.4.1) or the ST segment (Fig. 3.4.2) do not allow for generalized conclusions. Statistical comparisons of values obtained during different stages of the study did not reveal the peculiarities of the changes. Even though we detected a statistically significant difference ($t(16) = 2.247$; $p = 0.001$) between ST segment values at rest and after the last speed task, but this was not characteristic of all subjects. It is noteworthy that, when assessing the results obtained during this evaluation, we observed many individual peculiarities – i.e. different subjects demonstrated differing reactions to HIIT loads. The observed individual peculiarities were the following: the majority of the subjects (*seven cases*) did not show any significant changes in the ST segment; a part of the subjects (*three cases*) reacted to the speed task – their ST segment depression was gradually increasing; and in two subjects, the greatest ST segment depression was observed after the completion of the last task.

There are five components that determine the physical load during exercising: *load intensity, duration, the number of repetitions, the duration of the rest, and the character of resting*. During exercising, variations may be applied in these physical load components to achieve different effects of long-term adaptation [86, 230]. Usually, HIIT does not last more than 20 minutes. In our study, we selected relatively short tasks since the expedience of their application in individuals seeking health enhancement raises certain doubts because of possible associated risks. High-intensity physical loads or those that require maximum effort are risky and are not recommended [12, 90, 231]. To determine whether the shortening of the duration of exercises with the application of HIIT poses any risk to individuals that are not professional athletes, we investigated the effect of such physical loading on the cardiovascular system (CVS). The obtained results showed that such exercises significantly affected the CVS. The inadequacy of such exercises was demonstrated by the fact that 3 out of 20 subjects withdrew from the study, and three more had manifest functional ischemic phenomena in the myocardium either during or immediately after the exercise. Thus, we conclude that such exercises cannot be recommended for all individuals, as they pose a risk, and this training technique is suitable only for individuals who train regularly or who have a physician's permission to perform such type of exercising. This conclusion was also confirmed by the fact that variations in Disc values were continuously increasing throughout exercise sets and rest intervals (Fig. 3.4.3).

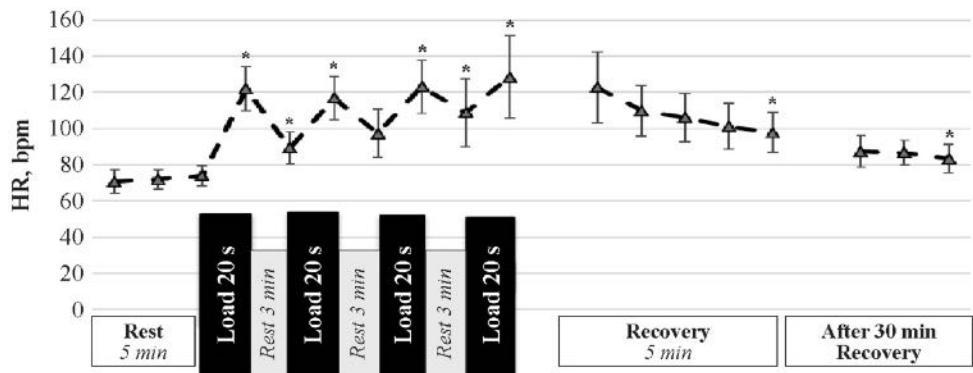


Fig. 3.4.1. HR changes during short-term exercising tasks high-intensity interval training

* – statistically significant difference, compared to baseline values.

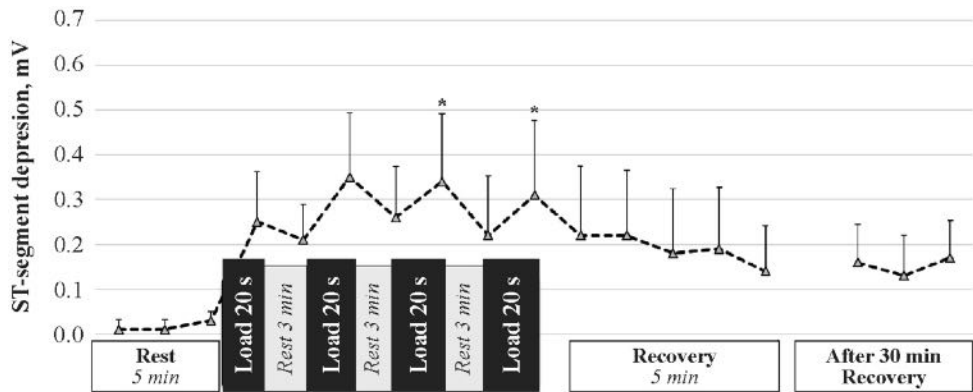


Fig. 3.4.2. Changes in ST segment depression during short-term exercising tasks high-intensity interval training

* – a statistically significant difference, compared to baseline values.

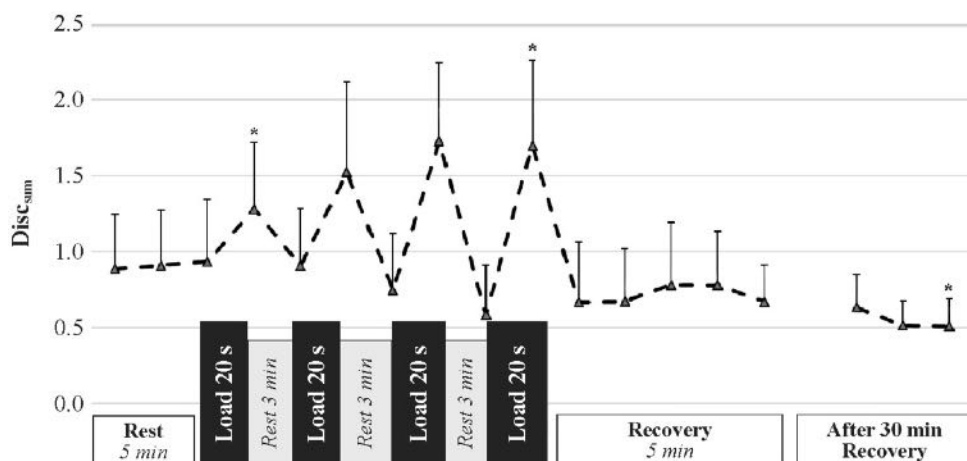


Fig. 3.4.3. Integrated changes in the three evaluated dynamics of $Disc_{sum}$ during short-term high-intensity interval training

* – a statistically significant difference, compared to baseline values.

Variations in Disc values were continuously increasing throughout exercise sets and rest intervals.

3.5. The effect of exercises involving tasks that require complex coordination efforts as well as differential learning-based tasks

3.5.1. Changes in the dynamics of concatenation between ECG indices in not actively exercising individuals (n=12) when performing increasingly complex exercises that require coordination efforts

The integrated changes in the three evaluated dynamics of concatenation ($Disc_{RR_QRS}$, $Disc_{RR_JT}$, and $Disc_{QRS_JT}$) are presented in Fig. 3.5.1.1. The mean sum value of the $Disc_{sum}$ at rest was 0.63 ± 0.40 . During the first task, the $Disc_{sum}$ value was 0.28 ± 0.40 . During the recovery after the first task, the Disc value increased to 0.581 ± 0.321 . During the second task, the mean $Disc_{sum}$ value increased to 0.645 ± 0.18 . During the recovery period, the $Disc_{sum}$ value dropped to 0.547 ± 0.28 . No statistically significant difference was observed.

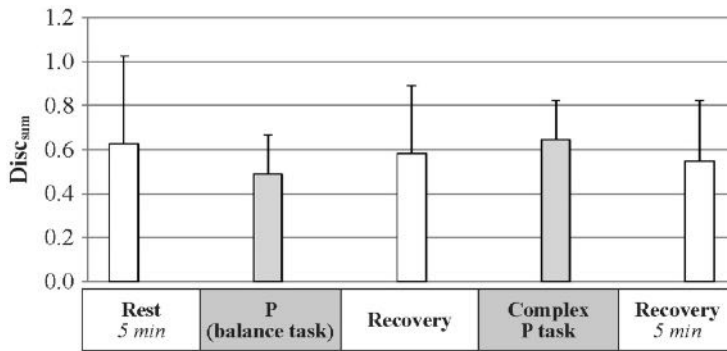


Fig. 3.5.1.1. *Integrated changes in the three evaluated dynamics of concatenation ($Disc_{RR_QRS}$, $Disc_{RR_JT}$, and $Disc_{QRS_JT}$) when applying differential tasks during exercising*

Maintaining balance during natural locomotion is a usual daily task [9, 10], and the exercise we selected for the subjects (*maintaining balance in the frontal plane while standing on a balance board*) was not exceptionally unfamiliar to them. The obtained results (*the first evaluation in this chapter and the first part of the second evaluation*) showed that during simple tasks that required coordination efforts, the dynamics of concatenation between ECG indices was increasing, yet upon completion of the task, a relatively fast recovery was observed. However, when the coordination task became more complex and stopped being a daily task, the slopes of the changes in the dynamics of concatenation became varied, and a drop in the dynamics of concatenation was observed in most cases. Such situation was observed when evaluating the change in the dynamics of concatenation between ECG indices during the tasks when maintaining balance was complemented with throwing and catching the ball and various types of squatting.

3.5.2. Changes in the dynamics of concatenation between ECG indices in not actively exercising individuals (n=12) when performing additional tasks (the dual task (DT) technique) during aerobic exercises

The baseline $\text{Disc}_{\text{RR_QRS}}$ values recorded prior to exercising did not differ statistically significantly between the two evaluations – i.e. they were, respectively, 0.316 ± 0.09 and 0.335 ± 0.09 . The evaluation of changes in the dynamics of concatenation between the durations of the RR interval and the QRS complex showed that they strengthened after both types of exercises. The $\text{Disc}_{\text{RR_QRS}}$ value decreased, and statistically significant differences were observed during aerobic exercising ($Z = -2.338$; $p = 0.019$) and during exercising combined with the dual task (DT) technique ($Z = -3.288$; $p = 0.001$). The comparison of $\text{Disc}_{\text{RR_QRS}}$ values after aerobic exercising and exercising combined with the dual task technique (Fig. 3.5.2.1, A) showed a trend of strengthening dynamics of concatenation, but we did not find any statistically significant difference in the decrease of the $\text{Disc}_{\text{RR_QRS}}$ value between the two types of exercises. At 30 min after the exercise, the strengthened dynamics of concatenation between the RR interval and the QRS complex in the ECG remained, and the difference between the baseline $\text{Disc}_{\text{RR_QRS}}$ values and those observed at 30 min after the exercise was statistically significant: $Z = -2.228$; $p = 0.005$ during aerobic exercising, and $Z = -4.146$; $p = 0.002$ during exercising combined with the DT technique. The differences in $\text{Disc}_{\text{RR_QRS}}$ values between the groups were statistically significant as well ($U = 21$, $p = 0.002$).

The evaluation of changes in other analyzed dynamics of concatenation revealed a statistically significant difference between the groups at 30 min after the exercise ($U = 11$, $p = 0.005$) – i.e. stronger dynamics of concatenation were observed when applying the DT technique (Fig. 3.5.2.1).

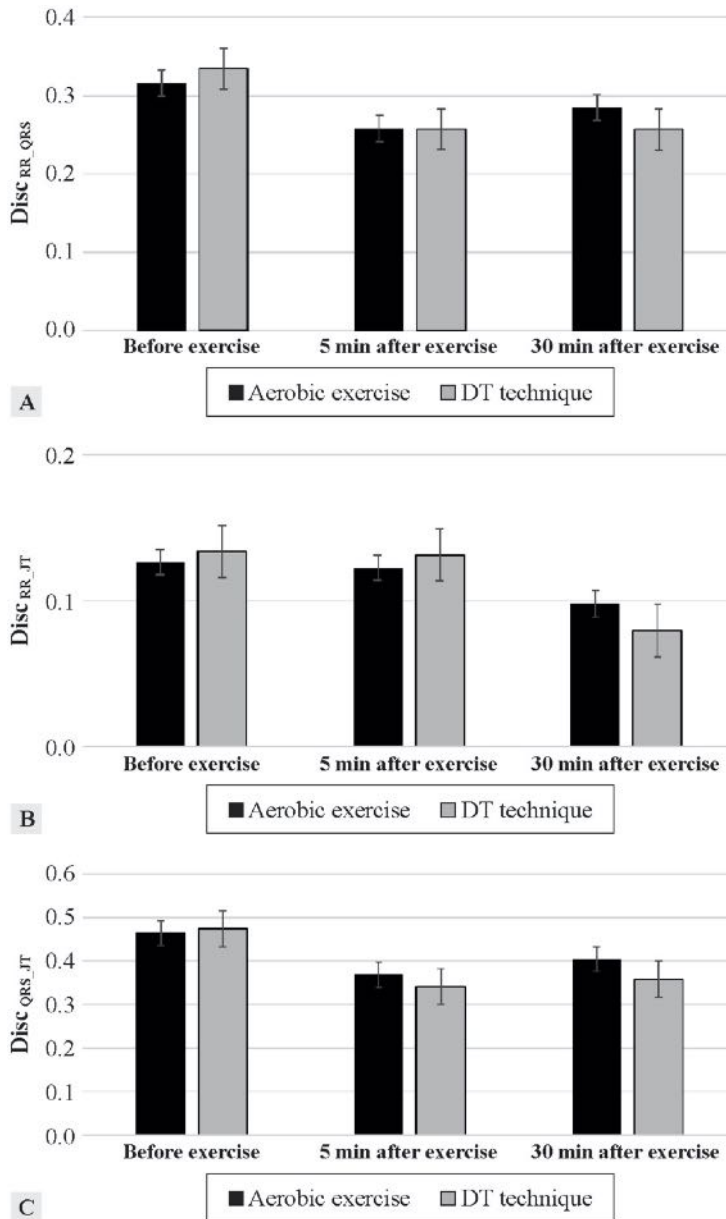


Fig. 3.5.2.1. Changes in the dynamics of concatenation between ECG indices during aerobic exercising or when applying the dual task technique

This study was aimed at answering the question of whether the application of the dual task technique during aerobic exercising could have a stronger effect on the CVS. This was a subjectively light aerobic exercise, as evidenced by changes in HR – after the initial low-intensity mobilization phase, no

further increase in HR was observed during the stable phase, and HR rapidly returned to baseline after the completion of the exercise. Changes in the Disc_{sum} values confirmed this evaluation, as there was no Disc_{sum} elevation (which would indicate accumulating fatigue), and after the completion of the exercise, Disc_{sum} values rapidly returned to baseline. This study showed that the application of the DT technique might result in a greater residual effect on the CVS compared to the effect of a 20-minute aerobic exercise alone. In our study, the strengthened dynamics of concatenation between the registered ECG indices at 30 minutes after the exercise apparently indicated a positive change caused by the tasks performed during the exercising. Thus, additional tasks performed during aerobic exercising strengthened the effect of the exercise. This leads to the conclusion that aerobic exercising complemented with the DT technique more effectively affected the functional status of the CVS. The dynamics of concatenation between the indices of the functional status of the CVS that strengthened during the exercise remained stronger during the recovery phase as well.

3.5.3. Changes in the dynamics of concatenation between ECG indices when performing differential learning-based tasks

The evaluation results of the group of not actively exercising individuals ($n=9$) (*the subjects did not know the tasks and were performing them for the first time by following the researcher's instructions*) showed that the mean sum value of the Disc_{sum} at rest was 0.532 ± 0.425 . Upon the initiation of the exercise (i.e. a differential learning (DL) task – *walking on a treadmill*), we noticed an increase in the Disc_{sum} value (0.859 ± 0.421) during the first half of the exercise. During the second half of the exercise, the Disc value increased up to 1.001 ± 0.522 . However, the difference was not statistically significant. During the recovery phase, the Disc value dropped to 0.983 ± 0.636 . Again, no statistically significant difference was observed.

The subjects of the group of actively exercising individuals ($n=8$) knew the DL-based tasks, and they performed the tasks independently. The mean sum value of the Disc_{sum} at rest was 0.940 ± 0.506 . Upon the initiation of the exercise (i.e. a DL task – *walking on a treadmill*), we noticed a decrease in the Disc_{sum} value (0.734 ± 0.395) during the first half of the exercise. During the second half of the exercise, the Disc_{sum} value increased up to 0.843 ± 0.412 . However, no statistically significant difference was observed. During the recovery phase, the Disc_{sum} value dropped to 0.983 ± 0.636 . The difference was not statistically significant either.

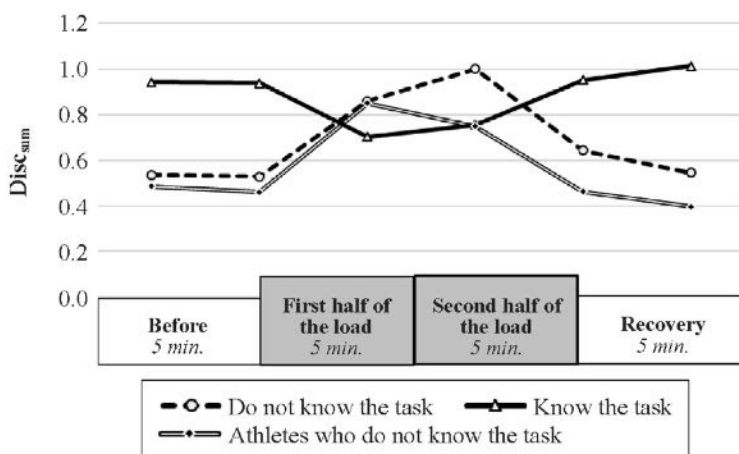


Fig. 3.5.3. Integrated changes in the three evaluated dynamics of concatenation ($Disc_{sum}$) when applying differential tasks during exercising

Subjects of the third group of high-level professional athletes ($n=9$) had not had exercises of such type, and thus this was the first time they were performing the exercises. The integrated changes in the three evaluated dynamics of concatenation $Disc_{sum}$ are presented in Fig. 3.5.3. The mean sum value of the $Disc_{sum}$ at rest was 0.472 ± 0.235 . Upon the initiation of the exercising (i.e. a differential task – *walking on a treadmill*), an increase in the $Disc_{sum}$ value 0.850 ± 0.310 was observed during the first half of the exercise. During the second half of the exercise, the $Disc_{sum}$ value dropped to 0.749 ± 0.295 . However, no statistically significant difference was observed. During the recovery phase, the $Disc_{sum}$ value decreased to 0.428 ± 0.230 . Again, no statistically significant difference was observed.

Differential training is an alternative to movement repetition [51]. An individual has to perform new tasks when using his own techniques or the instructor's directions in order to find the optimal performance variant. It has been stated that in this manner, a person develops his or her ability to find individually optimal performance models and may more rapidly adapt to the continuously changing conditions. Research data have confirmed a significantly greater effectiveness of this technique when learning new movements or improving physical skills [51, 238].

When discussing the obtained results, it is difficult to identify possible physiological mechanisms responsible for this phenomenon. The postulates of the complex system theory about the peculiarities of the synergy and self-organization of a body's functions may bring certain clarity. Physical exercise stimulates the activity of various functional systems, activating all levels of the body's composition: sub-cellular, cellular, tissues, organs, and systems

[232, 242, 243]. The interaction of morphological, physiological, and psychological peculiarities during exercising along with the influence of the environment create unique combinations of physiological reactions, which cannot be evaluated using only statistical analysis techniques [13, 199, 242, 244]. The results of the study suggest that the performance of a new, unfamiliar exercise stimulates the body to activate the maximal possible number of physiological mechanisms in order to control the situation and to perform the relatively complex task (*the importance of feedback increases along with the complexity*). Upon the completion of the exercise, recovery begins, and, with the reduction of the domination of the neuromuscular system, the importance of feedback decreases. After the new complex exercise has been learned, feedback does not require the activation of multiple various physiological mechanisms to ensure the control of exercise performance, and complexity decreases, while the opposite is true of situations when conscious efforts are made to control the quality of movements.

The application of the algebraic data co-integration technique proved that the theory of complex dynamic systems is one of the ways to ensure a better understanding of the results obtained in this study. Such approach changes our perception of the mechanisms of increasing working capacity, forms a new approach to health enhancement via physical exercise, and encourages researchers, physicians, physiotherapists, and coaches to search for more appropriate decisions in order to optimize the application of physical exercise.

CONCLUSIONS

1. The changes in concatenations between ECG or reography indices evaluated by applying algebraic data co-integration depended on the functional status of the cardiovascular system (CVS), which provides a possibility for studying the functional peculiarities of the CVS and allows for evaluating the effects of health-enhancing exercising and different physical load. Such evaluation provides more accurate information about the residual effects of the exercising than HR, ABP, cardiac output, or muscular oxygen saturation do.
2. The application of occlusion training in subjects who were actively exercising for health enhancement did not result in excessive cardiac loading, but the statement that such training does not enhance the functional possibilities of the myocardium is incorrect. Exercising with partial blood flow restriction caused high-degree oxygen desaturation in the active musculature and a marked increase in local circulation after the workload. During such exercising, cardiac activity was affected more

that during exercising of the same intensity but without partially circulatory restriction.

3. In subjects who were actively exercising for health enhancement, high-intensity interval training applied during exercising significantly affected the CVS, but such exercising technique is risky and may be recommended only for individuals who are exercising regularly and have the physician's permission for such training.
4. The effect of aerobic exercising complemented with differential learning-based tasks on the CVS was stronger than aerobic exercising of the same intensity alone, as the increase in the dynamics of concatenation between ECG indices remained longer after the completion of the exercise.

PRACTICAL RECOMMENDATIONS

- The evaluation of the dynamics of concatenation between ECG indices by applying the algebraic data co-integration technique is superior to any other commonly accepted ECG index in assessing the residual effect of health-enhancing exercising.
- Additional activation of the CNS by using simple motor tasks during low-intensity aerobic exercising in not actively exercising individuals may increase the effectiveness of the exercising and may result in more significant long-term adaptation effects.
- In individuals who were actively exercising for health enhancement, the application of occlusion training, high-intensity interval training, or differential learning-based tasks resulted in significant changes in the CVS, and thus these exercising techniques may be recommended for primary prevention purposes.

LITERATŪRA

1. Shalaby mn, Abdo sakoury mm. The role of physical activity on the support and enhance the natural behavior of stem cells and chosen physiological variables for players athletics. *Drassa j. Dev. Res. Sport sci. Act.* 2019; 4(1) 74-92.
2. Braaksma P, Stuive I, Garst RME, Wesselink CF, van der Sluis CK, Dekker R, et al. Characteristics of physical activity interventions and effects on cardiorespiratory fitness in children aged 6-12 years-A systematic review. *J. Sci. Med. Sport* 2018;21:296–306.
3. Arnett DK, Blumenthal RS, Albert MA, Buroker AB, Goldberger ZD, Hahn EJ, et al. 2019 ACC/AHA Guideline on the Primary Prevention of Cardiovascular Disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Circulation* 2019; 140(11)596-646.
4. Ringuet-Riot, C., & James D. Innovating to grow sport: The wider context of innovation in sport. *A Proc. ASTN* 2013;1(1):40.
5. Sands WA, Kavanaugh AA, Murray SR, McNeal JR, Jemni M. Modern Techniques and Technologies Applied to Training and Performance Monitoring. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2017;12:S263–72.
6. Abravanel M, Gavin J. Exploring the evolution of coaching through the lens of innovation. *Int. J. Evid. Based Coach. Mentor.* 2017; 15(1) 24-42.
7. Palma D Di, Ascione A, Belfiore P. Experimental approach of water polo training to improve psycho-physical conditions of disabled athletes. *Acta Medica Mediterr.* 2018; 34(5) 1253-1256.
8. Alleman RJ, Stewart LM, Tsang AM, Brown DA. Why does exercise “trigger” adaptive protective responses in the heart? *Dose-Response* 2015; 13(1)
9. Sugimoto K, Liang F, Takahara Y, Mogi K, Yamazaki K, Takagi S, et al. Assessment of cardiovascular function by combining clinical data with a computational model of the cardiovascular system. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2013;145:1367–72.
10. Despres J-P. Physical Activity, Sedentary Behaviours, and Cardiovascular Health: When Will Cardiorespiratory Fitness Become a Vital Sign? *Can. J. Cardiol.* 2016;32:505–13.
11. Abiri B, Vafa M. Dietary Restriction, Cardiovascular Aging and Age-Related Cardiovascular Diseases: A Review of the Evidence. *Adv. Exp. Med. Biol.* 2019;1178:113–27.
12. Nystoriak MA, Bhatnagar A. Cardiovascular Effects and Benefits of Exercise. *Front. Cardiovasc. Med.* 2018; 5:135.
13. Rickards CA, Ryan KL, Convertino VA. Characterization of common measures of heart period variability in healthy human subjects: implications for patient monitoring. *J. Clin. Monit. Comput.* 2010;24:61–70.
14. Walton M. Applying complexity theory: a review to inform evaluation design. *Eval. Program Plann.* 2014;45:119–26.
15. Chandler J, Rycroft-Malone J, Hawkes C, Noyes J. Application of simplified Complexity Theory concepts for healthcare social systems to explain the implementation of evidence into practice. *J. Adv. Nurs.* 2016;72:461–80.
16. Thompson DS, Fazio X, Kustra E, Patrick L, Stanley D. Scoping review of complexity theory in health services research. *BMC Health Serv. Res.* 2016;16:87.
17. Cohen J. A Review of Where Medicine Went Wrong: Rediscovering the Path to Complexity. *Emerg. Complex. Organ.* 2009; 11(1) 109.

18. Peng CK, Costa M, Goldberger AL. Adaptive data analysis of complex fluctuations in physiologic time series. *Adv. Adapt. Data Anal.* 2009; 1(1) 61-70.
19. Tuka V, Daňková M, Riegel K, Matoulek M. Physical activity - The holy grail of modern medicine? *Vnitr. Lek.* 2017; 63(10) 729-736.
20. Lavie CJ, Ozemek C, Carbone S, Katzmarzyk PT, Blair SN. Sedentary Behavior, Exercise, and Cardiovascular Health. *Circ. Res.* 2019; 124(5):799-815
21. Zelle DM, Klaassen G, van Adrichem E, Bakker SJL, Corpeleijn E, Navis G. Physical inactivity: a risk factor and target for intervention in renal care. *Nat. Rev. Nephrol.* 2017;13:152–68.
22. Li Y, Pan A, Wang DD, Liu X, Dhana K, Franco OH, et al. Impact of healthy lifestyle factors on life expectancies in the us population. *Circulation* 2018; 138(4) 345-355.
23. Seo DY, Kwak H-B, Kim AH, Park SH, Heo JW, Kim HK, et al. Cardiac adaptation to exercise training in health and disease. *Pflugers Arch.* 2020;472:155–68.
24. Kruk J, Kotarska K, Aboul-Enein BH. Physical exercise and catecholamines response: benefits and health risk: possible mechanisms. *Free Radic. Res.* 2020;1–21.
25. Skurvydas, A., Kasparavičiūtė, G., Mickevičienė, D., & Danilevičienė L. Fizinio aktyvumo ir kalorijų apribojimo poveikis nutukusių žmonių judesių valdymui ir kognityvinėms funkcijoms. *Sport. Moksl.* 2017;3(89).
26. Warburton DER, Bredin SSD. Health benefits of physical activity: a systematic review of current systematic reviews. *Curr. Opin. Cardiol.* 2017;32:541–56.
27. Rueggsegger GN, Booth FW. Health Benefits of Exercise. *Cold Spring Harb. Perspect. Med.* 2018;8.
28. Luan X, Tian X, Zhang H, Huang R, Li N, Chen P, et al. Exercise as a prescription for patients with various diseases. *J. Sport Heal. Sci.* 2019; 8(5):422-441
29. White RL, Babic MJ, Parker PD, Lubans DR, Astell-Burt T, Lonsdale C. Domain-Specific Physical Activity and Mental Health: A Meta-analysis. *Am. J. Prev. Med.* 2017;52:653–66.
30. Astorino TA, Edmunds RM, Clark A, King L, Gallant RM, Namm S, et al. Increased cardiac output and maximal oxygen uptake in response to ten sessions of high intensity interval training. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 2018;58:164–71.
31. Tudor O Bompá CB. Periodization Training for Sports-3rd Edition. *Hum. Kinet.* 2015;368.
32. Billat L V. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Med.* 2001;31:13–31.
33. Martland R, Mondelli V, Gaughran F, Stubbs B. Can high-intensity interval training improve physical and mental health outcomes? A meta-review of 33 systematic reviews across the lifespan. *J. Sports Sci.* 2020; 38(4):430-469.
34. Makar O, Siabrenko G. Influence of physical activity on cardiovascular system and prevention of cardiovascular diseases (review). *Georgian med. News* 2018;69–74.
35. Kharisova N, Smirnova L, Kuzmin A, Komkina Y, Salikhova Y. The influence of the physical activity of a modern student on the characteristics of the cardiovascular and respiratory systems and their resistance to stress during educational process. *Georgian Med. News* 2019; (297):124-129.
36. Natsume T, Ozaki H, Saito AI, Abe T, Naito H. Effects of Electrostimulation with Blood Flow Restriction on Muscle Size and Strength. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2015; 47(12):2621-7.

37. Spranger MD, Krishnan AC, Levy PD, O'Leary DS, Smith SA. Blood flow restriction training and the exercise pressor reflex: A call for concern. *Am. J. Physiol. - Hear. Circ. Physiol.* 2015; 309(9):H1440-52
38. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Berton R, Vechin FC, Conceição MS, Damas F, et al. Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sport. Med.* 2018; 48(2):361-378.
39. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Blood flow restricted exercise for athletes: A review of available evidence. *J. Sci. Med. Sport* 2016; 19(5):360-7.
40. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, et al. Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Front. Physiol.* 2019;10:533.
41. Vanwyke WR, Weatherholt AM, Mikesky AE. Blood Flow Restriction Training: Implementation into Clinical Practice. *Int. J. Exerc. Sci.* 2017;10:649–54.
42. Clarkson MJ, May AK, Warmington SA. Chronic Blood Flow Restriction Exercise Improves Objective Physical Function: A Systematic Review. *Front. Physiol.* 2019; 10:1058.
43. Dankel SJ, Jessee MB, Abe T, Loenneke JP. The Effects of Blood Flow Restriction on Upper-Body Musculature Located Distal and Proximal to Applied Pressure. *Sport. Med.* 2016; 46(1):23-33.
44. Baker BS, Stannard MS, Duren DL, Cook JL, Stannard JP. Does Blood Flow Restriction Therapy in Patients Older Than Age 50 Result in Muscle Hypertrophy, Increased Strength, or Greater Physical Function? A Systematic Review. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2020; 478(3):593-606.
45. Cassidy S, Thoma C, Houghton D, Trenell MI. High-intensity interval training: a review of its impact on glucose control and cardiometabolic health. *Diabetologia* 2017; 60(1):7-23.
46. Ramirez-Velez R, Hernandez-Quinones PA, Tordecilla-Sanders A, Alvarez C, Ramirez-Campillo R, Izquierdo M, et al. Effectiveness of HIIT compared to moderate continuous training in improving vascular parameters in inactive adults. *Lipids Health Dis.* 2019;18:42.
47. Sosner P, Gayda M, Dupuy O, Garzon M, Gremeaux V, Lalongé J, et al. Ambulatory blood pressure reduction following 2 weeks of high-intensity interval training on an immersed ergocycle. *Arch. Cardiovasc. Dis.* 2019; 112(11):680-690.
48. Duval C, Rouillier MA, Rabasa-Lhoret R, Karelis AD. High intensity exercise: Can it protect you from a fast food diet? *Nutrients* 2017; 26;9(9).
49. Vasconcelos BB, Protzen G V, Galliano LM, Kirk C, Del Vecchio FB. Effects of High-Intensity Interval Training in Combat Sports: A Systematic Review with Meta-Analysis. *J. strength Cond. Res.* 2020;34:888–900.
50. Matthews J, Schröder P, Kaunitz L, Van Boxtel JJA, Tsuchiya N. Conscious access in the near absence of attention: Critical extensions on the dual-task paradigm. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 2018; 373(1755).
51. Henz D, Schollhorn WI. Differential Training Facilitates Early Consolidation in Motor Learning. *Front. Behav. Neurosci.* 2016;10:199.
52. Schollhorn WI. Invited commentary: Differential learning is different from contextual interference learning. *Hum. Mov. Sci.* 2016;47:240–5.
53. Ozawa Y, Koto T, Shinoda H, Tsubota K. Vision Loss by Central Retinal Vein Occlusion After Kaatsu Training: A Case Report. *Medicine (Baltimore).* 2015;94:e1515.

54. Sundberg CJ. Exercise and training during graded leg ischaemia in healthy man with special reference to effects on skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand. Suppl.* 1994;615:1–50.
55. Sato Y. The history and future of KAATSU Training. *Hist. Futur. KAATSU Training.* 2005;1(1):1–5.
56. Lisboa FD, Turnes T, Cruz RSO, Raimundo JAG, Pereira GS, Caputo F. The time dependence of the effect of ischemic preconditioning on successive sprint swimming performance. *J. Sci. Med. Sport* 2017;20:507–11.
57. Kim D, Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T, Bemben MG. The acute muscular effects of cycling with and without different degrees of blood flow restriction. *Acta Physiol. Hung.* 2015;102:428–41.
58. Manini TM, Clark BC. Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2009;37:78–85.
59. Suga T, Okita K, Morita N, Yokota T, Hirabayashi K, Horiuchi M, et al. Intramuscular metabolism during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *J. Appl. Physiol.* 2009;106:1119–24.
60. Patterson SD, Ferguson RA. Increase in calf post-occlusive blood flow and strength following short-term resistance exercise training with blood flow restriction in young women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2010;108:1025–33.
61. Bunevičius K. Širdies ir kraujagyslių sistemos greitosios ir lėtosios adaptacijos ypatybės ir raumenų darbingumo kaita taikant kraujotakos sutrikdymo ir fizinio krūvio derinius. *Daktaro disertacija. Kaunas: LSU; 2018.*
62. Takada S, Okita K, Suga T, Omokawa M, Kadoguchi T, Sato T, et al. Low-intensity exercise can increase muscle mass and strength proportionally to enhanced metabolic stress under ischemic conditions. *J. Appl. Physiol.* 2012;113:199–205.
63. Reis JF, Fatela P, Mendonca G V., Vaz JR, Valamatos MJ, Infante J, et al. Tissue oxygenation in response to different relative levels of blood-flow restricted exercise. *Front. Physiol.* 2019;
64. Slys J, Stultz J, Burr JF. The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *J. Sci. Med. Sport* 2016; Available online: DOI: 10.1016/j.jsams. 2015.09.005
65. Brandner CR, Clarkson MJ, Kidgell DJ, Warmington SA. Muscular Adaptations to Whole Body Blood Flow Restriction Training and Detraining. *Front. Physiol.* 2019; 10:1099
66. Ozaki H, Brechue WF, Sakamaki M, Yasuda T, Nishikawa M, Aoki N, et al. Metabolic and cardiovascular responses to upright cycle exercise with leg blood flow reduction. *J. Sport. Sci. Med.* 2010; 9(2) 224-230.
67. Park S-Y, Kwak YS, Harveson A, Weavil JC, Seo KE. Low intensity resistance exercise training with blood flow restriction: insight into cardiovascular function, and skeletal muscle hypertrophy in humans. *Korean J. Physiol. Pharmacol. Off. J. Korean Physiol. Soc. Korean Soc. Pharmacol.* 2015;19:191–6.
68. McGowan CL, Levy AS, McCartney N, MacDonald MJ. Isometric handgrip training does not improve flow-mediated dilation in subjects with normal blood pressure. *Clin. Sci.* 2007; 112(7-8) 403-409.
69. Neto GR, Novaes JS, Dias I, Brown A, Vianna J, Cirilo-Sousa MS. Effects of resistance training with blood flow restriction on haemodynamics: a systematic review. *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 2017;37:567–74.
70. Erickson LN, Lucas KCH, Davis KA, Jacobs CA, Thompson KL, Hardy PA, et al. Effect of Blood Flow Restriction Training on Quadriceps Muscle Strength, Morpho-

- logy, Physiology, and Knee Biomechanics Before and After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Protocol for a Randomized Clinical Trial. *Phys. Ther.* 2019; 99(8) 1010-1019.
71. Hussain SR, Macaluso A, Pearson SJ. High-Intensity Interval Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training in the Prevention/Management of Cardiovascular Disease. *Cardiol. Rev.* 2016;24:273–81.
 72. Astorino TA, Edmunds RM, Clark A, King L, Gallant RA, Namm S, et al. High-Intensity Interval Training Increases Cardiac Output and V O₂max. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2017;49:265–73.
 73. Nilsson BB, Westheim A, Risberg MA. Long-term effects of a group-based high-intensity aerobic interval-training program in patients with chronic heart failure. *Am. J. Cardiol.* 2008;102:1220–4.
 74. Villelaibeitia-Jaureguizar K, Vicente-Campos D, Senen AB, Jimenez VH, Garrido-Lestache MEB, Chicharro JL. Effects of high-intensity interval versus continuous exercise training on post-exercise heart rate recovery in coronary heart-disease patients. *Int. J. Cardiol.* 2017;244:17–23.
 75. Bluher S, Kapplinger J, Herget S, Reichardt S, Bottcher Y, Grimm A, et al. Cardiometabolic risk markers, adipocyte fatty acid binding protein (aFABP) and the impact of high-intensity interval training (HIIT) in obese adolescents. *Metabolism.* 2017;68:77–87.
 76. Wewege M, van den Berg R, Ward RE, Keech A. The effects of high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on body composition in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis. *Obes. Rev.* 2017;18:635–46.
 77. Viana RB, Naves JPA, Coswig VS, De Lira CAB, Steele J, Fisher JP, et al. Is interval training the magic bullet for fat loss? A systematic review and meta-analysis comparing moderate-intensity continuous training with high-intensity interval training (HIIT). *Br. J. Sports Med.* 2019; Available online:DOI: 10.1136/bjsports-2018-099928.
 78. Alansare A, Alford K, Lee S, Church T, Jung HC. The Effects of High-Intensity Interval Training vs. Moderate-Intensity Continuous Training on Heart Rate Variability in Physically Inactive Adults. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2018;15. 15(7) Available online:DOI: 10.3390/ijerph15071508.
 79. Su L, Fu J, Sun S, Zhao G, Cheng W, Dou C, et al. Effects of HIIT and MICT on cardiovascular risk factors in adults with overweight and/or obesity: A meta-analysis. *PLoS One* 2019;14:e0210644.
 80. Grace F, Herbert P, Elliott AD, Richards J, Beaumont A, Sculthorpe NF. High intensity interval training (HIIT) improves resting blood pressure, metabolic (MET) capacity and heart rate reserve without compromising cardiac function in sedentary aging men. *Exp. Gerontol.* 2018;109:75–81.
 81. Campbell WW, Kraus WE, Powell KE, Haskell WL, Janz KF, Jakicic JM, et al. High-Intensity Interval Training for Cardiometabolic Disease Prevention. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2019; 51(6) 1220-1226.
 82. Batacan RB, Duncan MJ, Dalbo VJ, Tucker PS, Fenning AS. Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: A systematic review and meta-analysis of intervention studies. *Br. J. Sports Med.* 2017; 51(6):494-503.
 83. Sultana RN, Sabag A, Keating SE, Johnson NA. The Effect of Low-Volume High-Intensity Interval Training on Body Composition and Cardiorespiratory Fitness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2019;49:1687–721.
 84. Way KL, Sultana RN, Sabag A, Baker MK, Johnson NA. The effect of high Intensity interval training versus moderate intensity continuous training on arterial stiffness and

- 24 h blood pressure responses: A systematic review and meta-analysis. *J. Sci. Med. Sport* 2019; 385-391.
85. Schmitz B, Thorwesten L, Klose A, Kruger M, Brand S-M. Progressive high-intensity interval training (HIIT) is not superior to unmodified non-progressive HIIT in an uncontrolled setting. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 2019; 59(12):2022-2029.
 86. Blackwell J, Atherton PJ, Smith K, Doleman B, Williams JP, Lund JN, et al. The efficacy of unsupervised home-based exercise regimens in comparison to supervised laboratory-based exercise training upon cardio-respiratory health facets. *Physiol. Rep.* 2017; 345–351.
 87. Herbert P, Hayes LD, Sculthorpe NF, Grace FM. HIIT produces increases in muscle power and free testosterone in male masters athletes. *Endocr. Connect.* 2017;6:430–6.
 88. Kilen A, Hjelvang LB, Dall N, Kruse NL, Nordsborg NB. Adaptations to Short, Frequent Sessions of Endurance and Strength Training Are Similar to Longer, Less Frequent Exercise Sessions When the Total Volume Is the Same. *J. strength Cond. Res.* 2015;29 Suppl 1:S46-51.
 89. Menz V, Marterer N, Amin SB, Faulhaber M, Hansen AB, Lawley JS. Functional vs. Running low-volume high-intensity interval training: Effects on vo2max and muscular endurance. *J. Sport. Sci. Med.* 2019; 18(3) 497-504.
 90. Quindry JC, Franklin BA, Chapman M, Humphrey R, Mathis S. Benefits and Risks of High-Intensity Interval Training in Patients With Coronary Artery Disease. *Am. J. Cardiol.* 2019;123:1370–7.
 91. Taylor JL, Holland DJ, Spathis JG, Beetham KS, Wisløff U, Keating SE, et al. Guidelines for the delivery and monitoring of high intensity interval training in clinical populations. *Prog. Cardiovasc. Dis.* 2019; 140-146.
 92. Dennis A, Dawes H, Elsworth C, Collett J, Howells K, Wade DT, et al. Fast walking under cognitive-motor interference conditions in chronic stroke. *Brain Res.* 2009; 104-110.
 93. Liu Y-C, Yang Y-R, Tsai Y-A, Wang R-Y. Cognitive and motor dual task gait training improve dual task gait performance after stroke - A randomized controlled pilot trial. *Sci. Rep.* 2017;7:4070.
 94. Zirek E, Ersoz Huseyinsinoglu B, Tufekcioglu Z, Bilgic B, Hanagasi H. Which cognitive dual-task walking causes most interference on the Timed Up and Go test in Parkinson's disease: a controlled study. *Neurol. Sci. Off. J. Ital. Neurol. Soc. Ital. Soc. Clin. Neurophysiol.* 2018;39:2151–7.
 95. Yeh TT, Chang HY, Ju YY, Chen HY. The use of a dual-task paradigm to identify superior sensory organisation ability in rhythmic gymnasts. *J. Sports Sci.* 2019; 37(7) 772-778.
 96. Hula WD, McNeil MR. Models of attention and dual-task performance as explanatory constructs in aphasia. *Semin. Speech Lang.* 2008; (3):169-87.
 97. Talarico MK, Lynall RC, Mauntel TC, Weinhold PS, Padua DA, Mihalik JP. Static and dynamic single leg postural control performance during dual-task paradigms. *J. Sports Sci.* 2017;35:1118–24.
 98. Nagamatsu LS, Liang Hsu C, Voss MW, Chan A, Bolandzadeh N, Handy TC, et al. The neurocognitive basis for impaired dual-task performance in senior fallers. *Front. Aging Neurosci.* 2016; 8-20.
 99. Pang MYC, Yang L, Ouyang H, Lam FMH, Huang M, Jehu DA. Dual-task exercise reduces cognitive-motor interference in walking and falls after stroke: A randomized controlled study. *Stroke* 2018; 49(12):2990-2998.

100. Granacher U, Muehlbauer T, Bridenbaugh S, Bleiker E, Wehrle A, Kressig RW. Balance training and multi-task performance in seniors. *Int. J. Sports Med.* 2010; (5):353-8.
101. Skurvydas. Judesių mokslas: raumenys, valdymas, mokymas, reabilitavimas, sveikatinimas, treniravimas, metodologija. LKKA. Kaunas: 2008;19.
102. Schöllhorn WI. Complex movement analysis for complex training approaches. In: *International Journal of Sport Psychology*. 2010.
103. Frank TD, Michelbrink M, Beckmann H, Schöllhorn WI. A quantitative dynamical systems approach to differential learning: Self-organization principle and order parameter equations. *Biol. Cybern.* 2008;
104. Torrents, C., Balagué, N., Perl, J., & Schöllhorn W. Linear and nonlinear analysis of the traditional and differential strength training. *Educ. Phys. Training. Sport.* 66(3). 2007;
105. Coutinho D, Santos S, Goncalves B, Travassos B, Wong DP, Schollhorn W, et al. The effects of an enrichment training program for youth football attackers. *PLoS One* 2018;13:e0199008.
106. Beckmann H, Winkel C, Schöllhorn WI. Optimal range of variation in hockey technique training. In: *International Journal of Sport Psychology*. 2010.
107. Henz D, Schollhorn WI. Dynamic Office Environments Improve Brain Activity and Attentional Performance Mediated by Increased Motor Activity. *Front. Hum. Neurosci.* 2019;13:121.
108. I. Schollhorn W. The Nonlinear Nature of Learning - A Differential Learning Approach. *Open Sports Sci. J.* 2012; 5(1) 100-112.
109. Žemaitytė D. Širdies ritmo autonominis reguliavimas: mechanizmai, vertinimai, klinikinė vertė. Palanga: 1997; 326.
110. Pittman RN. Oxygen transport and exchange in the microcirculation. *Microcirculation* 2005;12:59–70.
111. Fullagar HHK, Skorski S, Duffield R, Hammes D, Coutts AJ, Meyer T. Sleep and athletic performance: the effects of sleep loss on exercise performance, and physiological and cognitive responses to exercise. *Sports Med.* 2015;45:161–86.
112. Lamberts RP, Swart J, Noakes TD, Lambert MI. Changes in heart rate recovery after high-intensity training in well-trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2009; 105(5) 705-713.
113. Abboud FM, Benson CJ. ASICs and cardiovascular homeostasis. *Neuropharmacology* 2015;94:87–98.
114. Schmidt, R.F., Thews G. Human physiology. *Hum. Physiol.* 1996; 827.
115. Kolb B, Kapoor V. Cardiac output measurement. *Anaesth. Intensive Care Med.* 2019; 193-201.
116. Poderys J, Venskaitytė E, Poderienė K, Buliuolis A, Vainoras A. Functional state assessment on the dynamics of interparametric concatenations during exercise tests. *Medicina (B. Aires).* 2010; 46(6), 429.
117. Hughson RL. Regulation of VO₂ on kinetics by O₂ delivery. *Oxyg. uptake inetics Sport. Exerc. Med.* 2007; 12(6):1023-32.
118. Grey TM, Spencer MD, Belfry GR, Kowalchuk JM, Paterson DH, Murias JM. Effects of age and long-term endurance training on VO₂ kinetics. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2015; 47(2):289-98.
119. Grassi B. Regulation of oxygen consumption at exercise onset: is it really controversial? *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2001;29:134–8.

120. Jones AM, Poole DC. Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine. 2013. 1-406.
121. Poderys J, Buliuolis A, Poderyte K, Sadzeviciene R. Mobilization of cardiovascular function during the constant-load and all-out exercise tests. *Medicina (Kaunas)*. 2005; 1048-1053.
122. Frontera WR, Adams RP. Endurance Exercise: Normal Physiology and Limitations Imposed by Pathological Processes (Part 2). *Phys. Sportsmed.* 1986;14:108–20.
123. Coetzee SK, Laschinger HKS. Toward a comprehensive, theoretical model of compassion fatigue: An integrative literature review. *Nurs. Health Sci.* 2018;20:4–15.
124. Mate-Munoz JL, Lougedo JH, Barba M, Canuelo-Marquez AM, Guodemar-Perez J, Garcia-Fernandez P, et al. Cardiometabolic and Muscular Fatigue Responses to Different CrossFit(R) Workouts. *J. Sports Sci. Med.* 2018;17:668–79.
125. Verma AK, Xu D, Garg A, Blaber AP, Tavakolian K. Effect of Aging on Muscle-Pump Baroreflex of Individual Leg Muscles During Standing. *Front. Physiol.* 2019;10:845.
126. Thomas GD, Segal SS. Neural control of muscle blood flow during exercise. *J. Appl. Physiol.* 2004; ; 731–738.
106. Rowell LB. Neural control of muscle blood flow: Importance during dynamic exercise. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* 1997;117-125.
127. Rowell LB. Neural control of muscle blood flow: Importance during dynamic exercise. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* 1997; 117-125.
128. Ardell JL, Nier H, Hammer M, Southerland EM, Ardell CL, Beaumont E, et al. Defining the neural fulcrum for chronic vagus nerve stimulation: implications for integrated cardiac control. *J. Physiol.* 2017;595:6887–903.
129. NCT02441192. Different Training (Aerobic, Resistance or Mixed) Physical Programs Affect to Physiological Responses (TRAINING2014). <https://clinicaltrials.gov/show/nct02441192> 2015; Available online: <https://clinicaltrials.gov/show/nct02441192>
130. Huikuri H V. Heart rate dynamics during accentuated sympathovagal interaction. *Am. J. Physiol.* 1998; 43-3.
131. Perini R, Orizio C, Gamba A, Veicsteinas A. Kinetics of heart rate and catecholamines during exercise in humans – The effect of heart denervation. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1993; 66(6):500-6.
132. Kėvelaitis Egidijus, Illert Michael HH. Žmogaus fiziologija. Kaunas: 1999;66(6):500-6.
133. Poderys J, Trinkūnas E, Miseckaitė B, Buliuolis A, Grūnovas A. Didelio meistriškumo sportininkų funkcinio parengtumo vertinimo problema. / problem of assessment of body functioning of elite athletes. *Educ. Phys. Training. Sport* 2008; 63—68.
134. Katayama K, Goto K, Shimizu K, Saito M, Ishida K, Zhang L, et al. Effect of increased inspiratory muscle work on blood flow to inactive and active limbs during submaximal dynamic exercise. *Exp. Physiol.* 2019; 104(2) 180-188.
135. Sheel AW, Boushel R, Dempsey JA. Competition for blood flow distribution between respiratory and locomotor muscles: Implications for muscle fatigue. *J. Appl. Physiol.* 2018; 820–831.
136. Nyberg A, Saey D, Martin M, Maltais F. Cardiorespiratory and muscle oxygenation responses to low-load/high-repetition resistance exercises in COPD and healthy controls. *J. Appl. Physiol.* 2018;124:877–87.
137. Thompson WR, Binder-Macleod SA. Association of Genetic Factors With Selected Measures of Physical Performance. *Phys. Ther.* 2006; 86(4) 585-591.

138. Montgomery HE, Clarkson P, Dollery CM, Prasad K, Losi MA, Hemingway H, et al. Association of angiotensin-converting enzyme gene I/D polymorphism with change in left ventricular mass in response to physical training. *Circulation* 1997;96:741–7.
139. Chiu Y-H, Lai J-I, Tseng C-Y, Wang S-H, Li L-H, Kao W-F, et al. Impact of angiotensin I converting enzyme gene I/D polymorphism on running performance, lipid, and biochemical parameters in ultra-marathoners. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98:e16476.
140. Pernomian L, Pernomian L, Restini CBA. Counter-regulatory effects played by the ACE - Ang II - AT1 and ACE2 - Ang-(1 - 7) - Mas axes on the reactive oxygen species-mediated control of vascular function: Perspectives to pharmacological approaches in controlling vascular complications. *Vasa - Eur. J. Vasc. Med.* 2014; 404-414.
141. Woods D. Angiotensin-converting enzyme, renin-angiotensin system and human performance. *Med. Sport Sci.* 2009; 54:72-87.
142. Fajar JK, Pikir BS, Sidarta EP, Berlinda Saka PN, Akbar RR, Heriansyah T. The Gene Polymorphism of Angiotensin-Converting Enzyme Intron Deletion and Angiotensin-Converting Enzyme G2350A in Patients With Left Ventricular Hypertrophy: A Meta-analysis. *Indian Heart J.* 2019; 71(3):199-206
143. Alvarez R, Terrados N, Ortolano R, Iglesias-Cubero G, Reguero JR, Batalla A, et al. Genetic variation in the renin-angiotensin system and athletic performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2000; 82(1-2) 117-120.
144. Gayagay G, Yu B, Hambly B, Boston T, Hahn A, Celermajer DS, et al. Elite endurance athletes and the ACE I allele - The role of genes in athletic performance. *Hum. Genet.* 1998; 103(1) 48-50.
145. Jacob Y, Spiteri T, Hart N, Anderton R. The Potential Role of Genetic Markers in Talent Identification and Athlete Assessment in Elite Sport. *Sports* 2018; 6(3) 88.
146. Darr KC, Bassett DR, Morgan BJ, Thomas DP. Effects of age and training status on heart rate recovery after peak exercise. *Am. J. Physiol. - Hear. Circ. Physiol.* 1988; 340-3.
147. Malchaire J, d'AMBROSIO Alfano FR, Palella BI. Evaluation of the metabolic rate based on the recording of the heart rate. *Ind. Health* 2017;55:219–32.
148. Wilmore, J.H., Costill D. *Physiology of exercise and sport.* 1999. 20(4) 186-186.
149. Conconi F, Grazi G, Casoni I, Guglielmini C, Borsetto C, Ballarin E, et al. The Conconi test: Methodology after 12 years of application. *Int. J. Sports Med.* 1996; 17(7) 509-519.
150. Herdy AH, Fay CES, Bornschein C, Stein R. Importance of heart rate analysis in exercise tolerance test. *Rev. Bras. Med. do Esporte* 2003; 252-256.
151. Vitartaitė A, Vainoras A, Sedekerskienė V PJ. Sveikatingumo aerobikos pratybų poveikis 30–40 metų moterų širdies ir kraujagyslių sistemos funkciniam rodikliams. *Med. (Kaunas)*. 2004;40(5):451-458.
152. Lauer M, Froelicher ES, Williams M, Kligfield P. Exercise testing in asymptomatic adults: A statement for professionals from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology, Subcommittee on Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention. *Circulation* 2005; 771–776.
153. Fox SM 3rd, Naughton JP, Haskell WL. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann. Clin. Res.* 1971;3:404–32.
154. Sarzynski, M.A, Rankinen,T., Earnest, C.P., Leon. A.S., Rao D.C, Skinner J.S, Bouchard C. Measured Maximal Heart Rates Compared to Commonly Used Age-Based Prediction Equations in the Heritage Family Study. *Am J Hum Bio* 2013;25(5):695–701.

155. Nikolaidis PT, Rosemann T, Knechtle B. Age-predicted maximal heart rate in recreational marathon runners: A cross-sectional study on Fox's and Tanaka's equations. *Front. Physiol.* 2018; Available online: 2018; <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00226>.
156. Londeree, B.R. and Moeschberger ML. Influence of age and other factors on maximal heart rate. *J. Cardiopulm. Rehabil.* 1984;4:44–9.
157. Watanabe N, Reece J, Polus BI. Effects of body position on autonomic regulation of cardiovascular function in young, healthy adults. *Chiropr. Osteopat.* 2007; 16-19.
158. Borresen J, Lambert MI. Autonomic Control of Heart Rate during and after Exercise. *Sport. Med.* 2008; 633–646.
159. Gregoire J, Tuck S, Yamamoto Y, Hughson RL. Heart Rate Variability at Rest and Exercise: Influence of Age, Gender, and Physical Training. *Can. J. Appl. Physiol.* 1996; 21(6) 455-470.
160. Poderys J, Vainoras A, Navickas Z, Bikulčienė L. Tepingo testo ir ekg rodiklių sąsajų analizė vertinant sportininkų organizmo funkcines ypatybes bei tarpasmenines sąveikas. *Balt. J. Sport Heal. Sci.* 2009; 78—84.
161. Lee HT, Roh HL, Kim YS. Cardiorespiratory endurance evaluation using heart rate analysis during ski simulator exercise and the harvard step test in elementary school students. *J. Phys. Ther. Sci.* 2016; 28(2) 641-645.
162. Maud, P.J., Foster C. Physiological assessment of human fitness. *Human Kine. USA:* 1995;138
163. Šilanskienė A. Žmogaus organizmo funkcinės būklės kitimo ilgalaikių treniruočių metu vertinimas. *Daktaro disertacija. Kaunas: KMU;* 2003.
164. Akpınar M, Ocal M, İrdem A. Ventricular repolarization changes in children with breath holding spells. *J. Electrocardiol.* 2019; 55 116-119.
165. Hlaing T, DiMino T, Kowey PR, Yan GX. ECG repolarization waves: Their genesis and clinical implications. *Ann. Noninvasive Electrocardiol.* 2005; 212-220.
166. Banker J, Dizon J, Reiffel J. Effects of the ventricular activation sequence on the JT interval. *Am. J. Cardiol.* 1997; 816-9.
167. Vainoras A, Gargasas L, Jurkonienė R, Jurkonis V, Jaruševičius G, Berškienė K, et al. Analysis of electric cardiac signals -Methods and application results. *Elektron. ir Elektrotechnika* 2008;81-84.
168. Baciulienė K, Vainoras A, Zumbakytė R. Evaluation of posture, muscle strength and cardiovascular parameters in children. *Acta Kinesiol. Univ. Tartu.* 2002; 15-16.
169. Jarusevicius G, Navickas R, Vainoras A, Gargasas L, Vaicekavicius E. [JT interval changes in acute myocardial infarction following coronary angioplasty]rLigoniu, serganciu uminiu miokardo infarktu, JT intervalo kitimai mechanines vainikiniu arteriju rekanalizacijos metu. *Med.* 2004; 90-3.
170. Buliuolis A. Širdies ir kraujagyslių sistemos funkcijos mobilizacijos ir atsigavimo ypatybės atliekant anaerobinius krūvius. *Daktaro disertacija. Kaunas: LKKA;* 2006.
171. Papievienė V. Širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinių rodiklių dinaminių sąsajų ypatybės atliekant didėjantį fizinį krūvį iki negalėjimo. *Daktaro disertacija.* 2014;
172. Poderys J, Buliuolis A, Poderyte K, Sadzeviciene R. Mobilization of cardiovascular function during the constant-load and all-out exercise tests. *Medicina (Kaunas).* 2005;41:1048–53.
173. Cai Z, van Duin RWB, Stam K, Uitterdijk A, van der Velden J, Vonk Noordegraaf A, et al. Right ventricular oxygen delivery as a determinant of right ventricular functional reserve during exercise in juvenile swine with chronic pulmonary hypertension. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2019;317:H840–50.

174. Yazigi A, Richa F, Gebara S, Haddad F, Hayek G, Antakly MC. Prognostic importance of automated ST segment monitoring after coronary artery bypass graft surgery. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 1998;42:532–5.
175. Jernberg T, Lindahl B, Wallentin L. ST segment monitoring with continuous 12-lead ECG improves early risk stratification in patients with chest pain and ECG nondiagnostic of acute myocardial infarction. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1999;34:1413–9.
176. T N. Quality issues in the exercise sciences. 12th Commonw. international Sport Conf. 2002;7–13.
177. Poderys J. Acute and chronic adaptation of cardiovascular function to sprint or endurance training. *Educ. Phys. Training. Sport* 2002; 16-23.
178. Romero SA, Minson CT, Halliwill JR. The cardiovascular system after exercise. *J. Appl. Physiol.* 2017;122:925–32.
179. Buliuolis A, Poderys J, Ežerskis M, Poderytė K, Miseckaitė B. Adaptacijos poveikis širdies ir kraujagyslių sistemos mobilizacijos bei atsigavimo ypatybėms atliekant fizinius krūvius. *Balt. J. Sport Heal. Sci.* 2008; 23-28.
180. Javorka M, Žila I, Balhárek T, Javorka K. Heart rate recovery after exercise: Relations to heart rate variability and coplexity. *Brazilian J. Med. Biol. Res.*2002; 991-1000.
181. Baldari C, Videira M, Madeira F, Sergio J, Guidetti L. Blood lactate removal during recovery at various intensities below the individual anaerobic threshold in triathletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 2005; 460-6.
182. Suetani H, Horita T, Mizutani S. Noise-induced enhancement of fluctuation and spurious synchronization in uncoupled type-I intermittent chaotic systems. *Phys. Rev. E - Stat. Physics, Plasmas, Fluids, Relat. Interdiscip. Top.* 2004; 69(1) 10.
183. Brennan M, Palaniswami M, Kamen P. Poincaré plot interpretation using a physiological model of HRV based on a network of oscillators. *Am. J. Physiol. - Hear. Circ. Physiol.* 2002; H1873–H1886
184. Navickas, Z., Statkus, V., Vainoras, A., Gargasas L. EKG derivacijų integralinės koreliacinės dimensijos vertinimas. *Elektron. ir elektrotechnika* 2005;5(61):67–69.
185. Lewis, M., Kingsley M. Recovery of cardiovascular regulatory balance as a function of rest period between intermittent constant intensity exercise. In: 12th Commonwealth International Sport Conference. 2002. p122.
186. Ziaukas P, Alabdulgader A, Vainoras A, Navickas Z, Ragulskis M. New approach for visualization of relationships between RR and JT intervals. *PLoS One* 2017; 12(4).
187. Berškienė K. Elektrokardiografinių signalų parametrų dinaminių sąsajų analizė. *Daktaro disertacija. Kaunas: KTU; 2010.*
188. Slapšinskaitė A, Vainoras A BL. The Analysis of ECG complexity during a bicycle ergometry test. *Sci. J. RTU Technol. Comput. Control* 2013;59–65.
189. Saunoriene L, Siauciunaite V, Vainoras A, Bertasiute V, Navickas Z, Ragulskis M. The characterization of the transit through the anaerobic threshold based on relationships between RR and QRS cardiac intervals. *PLoS One* 2019; Available online: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216938>.
190. Taletavičienė G. Elektrokardiografinių rodiklių ir jų dinaminių sąsajų kaita bendrosios krioterapijos ir peloidoterapijos procedūrų metu. *Daktaro disertacija. Kaunas: LSMU; 2014.*
191. Ziaukas P, Alabdulgader A, Vainoras A, Navickas Z, Ragulskis M. New approach for visualization of relationships between RR and JT intervals. *PLoS One* 2017;12: e0174279.
192. Landauskas M, Navickas Z, Vainoras A, Ragulskis M. Weighted moving averaging revisited: an algebraic approach. *Comput. Appl. Math.* 2017; 36(4) 1545-1558.

193. Korsakas S, Vainoras A, Gargasas L, Poderys J, Navickas Z, Bikulciene L, et al. Wireless vital signals monitor for patients with cardiovascular diseases and sportsmen. In: *Computers in Cardiology*. 2008. 3(5) 993-996.
194. Navickas, Z., Bikulčienė L. Antros eilės matricų informatyvieji dėstiniai. *Mat. ir Mat. Modeliav.* 2008;26–33.
195. Kubicek, W. G., Karnegis, J. N., Patterson, R. P., Witsoe, D. A., Matson RH. Development and evaluation of an impedance cardiac output system. *Aerosp., 1966; Med.* 37.1208–1212.
196. Shariat A, Cleland JA, Danaee M, Alizadeh R, Sangelaji B, Kargarfard M, et al. Borg CR-10 scale as a new approach to monitoring office exercise training. *Work* 2018; 60(4) 549-554.
197. Poderys J, Ežerskis M, Poderyte K, Vainoras A. Body functioning assessment problems of elite athletes. *Int. J. Sport Psychol.* 2010; 101-102.
198. Bikulciene L, Bikulciene Z, Vainoras A, Poderys J, Ruseckas R. Matrix analysis of human physiologic data. In: *Proceedings of the International Conference on Information Technology Interfaces, ITI.* 2009. 41-46.
199. Berškienė, K. et al. Analysis of dynamical interrelations of electrocardiogram parameters. *Electron. Electr. Eng.* 2009;7(95):95–8.
200. Karaliene D, Navickas Z, Slapšinskaite A, Vainoras A. Investigation of the stability of fluctuations in electrocardiography data. *J. Vibroengineering* 2013; 291-301.
201. Bar-Yam Y. Complexity Rising: From Human Beings to Human Civilization, a Complexity Profile. *NEW ENGLAN. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).* Oxford, UK; 2002.
202. Hawley JA, Leckey JJ. Carbohydrate Dependence During Prolonged, Intense Endurance Exercise. *Sports Med.* 2015;45 Suppl 1:S5-12.
203. Gabriel BM, Zierath JR. The Limits of Exercise Physiology: From Performance to Health. *Cell Metab.* 2017;25:1000–11.
204. Brown DR, Gough LA, Deb SK, Sparks SA, McNaughton LR. Astaxanthin in Exercise Metabolism, Performance and Recovery: A Review. *Front. Nutr.* 2017;4:76.
205. Hellsten Y, Nyberg M. Cardiovascular Adaptations to Exercise Training. *Compr. Physiol.* 2015;6:1–32.
206. Flaherty G, O'Connor R, Johnston N. Altitude training for elite endurance athletes: A review for the travel medicine practitioner. *Travel Med. Infect. Dis.* 2016;14:200–11.
207. Papievienė V, Poderienė K, Trinkūnas E, Grūnovas A, Poderys J. Cardiac function and muscular oxygen desaturation in sprint and endurance cohorts during the incremental bicycle ergometry. *Balt. J. Sport Heal. Sci.* 2014; 44–48.
208. Bertašiūtė V. Vyrų širdies ir kraujagyslių bei kvėpavimo sistemų funkcinių rodiklių kaita ties anaerobinės apykaitos slenksčiu. *Daktaro disertacija.* Kaunas: LSMU; 2015.
209. Venskaitytė E. Dynamics of interactions of cardiovascular indices in evaluation of sportsmen body's states. *Daktaro disertacija.* Kaunas: LKKA; 2011.
210. Poderys J, Buliuolis A, Papievienė V. Cardiovascular adjustments during graded exercise stress. *Balt. J. Sport Heal. Sci.* 2012; 42–47.
211. Magder S. Volume and its relationship to cardiac output and venous return. *Crit. Care* 2016;20:271.
212. Credeur DP, Jones R, Stanford D, Stoner L, McCoy S, Jessee M. Central cardiovascular hemodynamic response to unilateral handgrip exercise with blood flow restriction. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2019; 119(10) 2255-2263.

213. Hristovski R, Balague N. Fatigue-induced spontaneous termination point--nonequilibrium phase transitions and critical behavior in quasi-isometric exertion. *Hum. Mov. Sci.* 2010;29:483–93.
214. Balagué N, González J, Javierre C, Hristovski R, Aragonés D, Álamo J, et al. Cardiorespiratory coordination after training and detraining. a principal component analysis approach. *Front. Physiol.* 2016; Available online: <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00035>.
215. Cheng AJ, Jude B, Lanner JT. Intramuscular mechanisms of overtraining. *Redox Biol.* 2020;101480. Available online: 2020; doi: 10.1016/j.redox.2020.101480.
216. Bellinger P. Functional Overreaching in Endurance Athletes: A Necessity or Cause for Concern? *Sports Med.* 2020; Available online DOI: 10.1007/s40279-020-01269-w.
217. Swenne CA. Mechanisms of exercise-recovery hysteresis in the ECG: ISCE 2015 paper. *J. Electrocardiol.* 2015;48:1006–9.
218. Ramos J, Lynch S, Jones D, Degens H. Hysteresis in muscle. *Int. J. Bifurc. Chaos* 2017; Available online: <https://doi.org/10.1142/S0218127417300038>.
219. Ežerskis M. Didelio meistriškumo graikų-romėnų imtynininkų širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinų rodiklių kaita metiniame treniruotės cikle. Daktaro disertacija. Kaunas: LKKA; 2009.
220. Brandner CR, Kidgell DJ, Warmington SA. Unilateral bicep curl hemodynamics: Low-pressure continuous vs high-pressure intermittent blood flow restriction. *Scand. J. Med. Sci. Sport.* 2015; (6):770-7.
221. Trexler ET, Smith-Ryan AE, Melvin MN, Roelofs EJ, Wingfield HL. Effects of pomegranate extract on blood flow and running time to exhaustion. *Appl. Physiol. Nutr. Metab. = Physiol. Appl. Nutr. Metab.* 2014;39:1038–42.
222. Hughes L, Rosenblatt B, Haddad F, Gissane C, McCarthy D, Clarke T, et al. Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial. *Sports Med.* 2019; 49(11) 1787-1805.
223. Gaston A-F, Durand F, Roca E, Doucende G, Hapkova I, Subirats E. Exercise-Induced Hypoxaemia Developed at Sea-Level Influences Responses to Exercise at Moderate Altitude. *PLoS One* 2016; Available online: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161819>.
224. Grunovas A, Silinskas V, Poderys J, Trinkunas E. Peripheral and systemic circulation after local dynamic exercise and recovery using passive foot movement and electrostimulation. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 2007; 47(3) 335-343.
225. Tegtbur U, Haufe S, Busse MW. [Application and effects of blood flow restriction training]. *Unfallchirurg* 2020;123:170–5.
226. Mahoney SJ, Dicks ND, Lyman KJ, Christensen BK, Hackn KJ. Acute cardiovascular, metabolic, and muscular responses to blood flow restricted rowing exercise. *Aerosp. Med. Hum. Perform.* 2019; 90(5) 440-446.
227. Keating SE, Machan EA, O'Connor HT, Gerofi JA, Sainsbury A, Caterson ID, et al. Continuous exercise but not high intensity interval training improves fat distribution in overweight adults. *J. Obes.* 2014;12.
228. de Oliveira Sa G, Dos Santos Neves V, de Oliveira Fraga SR, Souza-Mello V, Barbosa-da-Silva S, Berzigotti A, et al. Keto-adaptation enhances exercise performance and body composition responses to training in endurance athletes. *PLoS One* 2017;12:13–31.

229. Hazell TJ, Hamilton CD, Olver TD, Lemon PWR. Running sprint interval training induces fat loss in women. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* = *Physiol. Appl. Nutr. Metab.* 2014;39:944–50.
230. Herbert P, Hayes LD, Sculthorpe NF, Grace FM. HIIT produces increases in muscle power and free testosterone in male masters athletes. *Endocr. Connect.* 2017; 6(7) 430–436.
231. Mohanty S, Mohanty P, Tamaki M, Natale V, Gianni C, Trivedi C, et al. Differential Association of Exercise Intensity With Risk of Atrial Fibrillation in Men and Women: Evidence from a Meta-Analysis. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2016;27:1021–9.
232. Venskaitytė, Eirelija; Poderys, Jonas; Balagué, N.; Bikulčienė L. Assessment of Dynamics of Inter-Parameter Concatenation during Exercise Tests. *Electron. Electr. Eng.* 2009;6(94):89–92.
233. de Rooij IJM, van de Port IGL, Meijer J-WG. Effect of Virtual Reality Training on Balance and Gait Ability in Patients With Stroke: Systematic Review and Meta-Analysis. *Phys. Ther.* 2016;96:1905–18.
234. Cadore EL, Rodriguez-Manas L, Sinclair A, Izquierdo M. Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: a systematic review. *Rejuvenation Res.* 2013;16:105–14.
235. Park JH. Dual task training effects on upper extremity functions and performance of daily activities of chronic stroke patients. *Osong Public Heal. Res. Perspect.* 2019; 10(1) 2–5.
236. Purnamasari N, Bachtiar F, Puspitha R A. The effectiveness of motor-cognitive dual-task training in reducing risk falls on elderly. *Enferm. Clin.* 2020;30 Suppl 2:317–21.
237. Broecker L, Haeger M, Bock O, Kretschmann B, Ewolds H, Kunzell S, et al. How visual information influences dual-task driving and tracking. *Exp. brain Res.* 2020;238:675–87.
238. Repšaitė V. Diferencinio mokymo poveikis asmenų, patyrusių galvos smegenų insultą, funkciniam judesiams ir savarankiškumui. *Daktaro disertacija. Kaunas: LSMU; 2015.*
239. Ertuğrul ÖF. A novel type of activation function in artificial neural networks: Trained activation function. *Neural Networks* 2018; 148–157.
240. Sousa N, Mendes R, Silva A, Oliveira J. Combined exercise is more effective than aerobic exercise in the improvement of fall risk factors: a randomized controlled trial in community-dwelling older men. *Clin. Rehabil.* 2017;31:478–86.
241. Girard O, Willis SJ, Purnelle M, Scott BR, Millet GP. Separate and combined effects of local and systemic hypoxia in resistance exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2019; 2313–2325.
242. Vainoras A, Ašeriškytė D, Poderys J, Navickas Z. Fractal dimensions in evaluation of heart function parameters during physical investigations. *Balt. J. Sport Heal. Sci.* 2005; 61—66.
243. Veneziani AQF. *Complex Systems in Biomedicine.* Milano: Springer, Milano; 2006. 104–109.
244. Hristovski R, Venskaityte E, Vainoras A, Balague N, Vazquez P. Constraints-controlled metastable dynamics of exercise-induced psychobiological adaptation. *Medicina (Kaunas).* 2010;46:447–53.
245. Turvey MT, Fonseca ST. The medium of haptic perception: a tensegrity hypothesis. *J. Mot. Behav.* 2014;46:143–87.
246. Perelson AS. Self-Organization in Nonequilibrium Systems. From Dissipative Structures to Order Through Fluctuations. G. Nicolis , I. Prigogine . *Q. Rev. Biol.* 1978; 362–363.

STRAIPSNIŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS

1. **Velička, Deivydas**; Kairiūkštienė, Živilė; Poderienė, Kristina; Vainoras, Alfonsas; Poderys, Jonas. Interaction between cardiac functional indices during incremental exercise test reveals the peculiarities of adaptation to exercising // *Medicina*. Kaunas; 2019, vol. 55, no. 6, p. 1-9. [Citav. rod.: 1,467].
2. Kairiūkštienė, Živilė; Poderienė, Kristina; **Velička, Deivydas** Trinkūnas, Eugenijus; Poderys, Jonas. Analysis of ECG parameter dynamics which define fatigue and the functional state of athletes. *Medicina dello Sport*. Turin : Edizioni Minerva Medica, 2020, vol. 74, no. 00 [Citav. rod.: 0,393].
3. Kravčikaitė, Aina; **Velička, Deivydas**; Poderienė, Kristina. Širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinį rodiklių kaita sveikatos stiprinimo pratybose taikant tradicinį aerobinį bei didelio intensyvumo intervalinius krūvius // *Sporto mokslas* / 2018, Nr. 3-4. p. 49-57.
4. **Velička, Deivydas**; Poderienė, Kristina; Kairiūkštienė, Živilė; Poderys, Jonas. Diferenciniu mokymo metodu grindžiamų aerobinio krūvio pratybų poveikis širdies ir kraujagyslių sistemos funkciniai būklei // *Sporto mokslas* / 2018, Nr.1 (91), p. 31-38
5. Kairiūkštienė, Živilė; Poderienė, Kristina; Trinkūnas, Eugenijus; **Velička, Deivydas**; Buliuolis, Alfonsas; Poderys, Jonas. Individualization of exertion while monitoring functional state during exercising // *Baltic Journal of Sport & Health Sciences*. 2016, no. 3(102), p. 13-17.
6. Kairiūkštienė, Živilė; **Velička, Deivydas**; Poderys, Jonas. Širdies ir kraujagyslių sistemos adaptacija sveikatą stiprinančiose pratybose taikant jėgos ugdymo pratimų arba šiaurietiškojo ėjimo užduotis // *Sporto mokslas* /2016, Nr. 1(83), p. 48-54.
7. **Velička, Deivydas**; Bernotienė, Gilija; Poderienė, Kristina; Vainoras, Alfonsas; Poderys, Jonas. Differential Training tasks trigger the decrease of concatenation between cardiovascular parameters // *Baltic journal of sport & health sciences*. 2016, no. 4(103), p. 38-44.

MOKSLINIŲ KONFERENCIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS

1. **Velička, D.**; Poderienė, K.; Buliuolis, A.; Poderys, J. Comparison the effects of interval training and traditional endurance training on cardiovascular system // Sport science for sports practice, teacher training and health promotion: 12th conference of Baltic Society of Sport Sciences: April 25–26, 2019, Vilnius, p. 141-142.
2. **Velička, Deivydas**; Poderienė, Kristina; Kairiūkštienė, Živilė; Poderys, Jonas. Cardiovascular changes during exercising in easy aerobic mode and under influence of differential learning task // Sport science for sports practice, teacher training and health promotion : 11th conference of Baltic Society of Sport Sciences : April 25–27, 2018, Tartu, Estonia, 2019.
3. **Velička, Deivydas**; Poderienė, Kristina; Radvilavičiūtė, Vaida; Poderys, Jonas. Kaip dviejų užduočių metodas padidina aerobinio krūvio pratybų efektyvumą // Sportininkų rengimo valdymas ir sportininkų darbingumą lemiantys veiksniai : respublikinė mokslinė konferencija. Kaunas, 2018, p. 36.
4. Bernotienė, Gilija; **Velička, Deivydas**; Poderienė, Kristina; Vainoras, Alfonsas; Poderys, Jonas Liudas. Concatenation between cardiovascular parameters during low intensity of exercising at constantly changing conditions // The 2nd international conference "Exercise for health and rehabilitation", 2016, Kaunas, p. 23-24.
5. Kairiūkštienė, Živilė; Poderienė, Kristina; Sakalauskytė, Rita; **Velička, Deivydas**; Buliuolis, Alfonsas; Poderys, Jonas. Individualization of exertion while monitoring functional state during exercising // Physical activity and fitness: challenges and new perspectives : the 28th symposium of the International council for physical activity and fitness research, Kaunas, 2016, p. 58-58.
6. Kairiūkštienė, Živilė; Poderys, Jonas; Poderienė, Kristina; **Velička, Deivydas**. Alteration of cardiovascular parameters and their interactions induced by session of continuous and combined training // Current issues and new ideas in sport science : abstracts of the 9th conference of the Baltic Sport Science Society, 2016, p. 133-134.
7. Raudonikytė, Gilija; Joffė, Roza; **Velička, Deivydas**; Vainoras, Alfonsas; Grabškaitė, Vesta; Balevičiūtė, Ramunė. ECG parameters and psycho-emotional state interrelations among healthy students // International conference "Exercise for health and rehabilitation" : book of abstracts : 18th December, 2015, Kaunas, p. 40-42.

Interaction between Cardiac Functional Indices during Incremental Exercise Test Reveals the Peculiarities of Adaptation to Exercising

Deivydas Velicka¹, Zivile Kairiukstiene^{2,*}, Kristina Poderiene², Alfonsas Vainoras¹ and Jonas Poderys²

¹ Department of Sport Medicine, Lithuanian University of Health Sciences, 47181 Kaunas, Lithuania

² Institute of Sport Science and Innovations, Lithuanian Sports University, 44221 Kaunas, Lithuania

* Correspondence: zivile.kairiukstiene@gmail.com; Tel.: +370-64-68-1324

Received: 13 May 2019; Accepted: 24 June 2019; Published: 26 June 2019



Abstract: *Background and objectives:* Physical load causes structural changes in the heart that vary depending on the type of training and may affect the function of the heart. Aim of the study: To determine, using the applied co-integration method on algebraic data, the impact of sprinting and of endurance adaptation on the dynamic interactions of cardiovascular functional indices while participants were performing under an increasing workload, up to their inability to continue. *Materials and Methods:* Healthy athletes were chosen to take part in this study and were separated into two groups: Sprinters ($n = 11$) and endurance athletes ($n = 13$). The bicycle ergometric method of incremental increase in a provocative workload (graded stress) was used. The heart rate, stroke volume, and cardiac output were determined using the tetrapolar rheography method. *Results:* Individuals who are adapted to endurance while carrying physical loads, in contrast to well adapted sprinters, are characterized with a lower rate of changing the pace of interactions between stroke volume and cardiac output while performing at an increasing workload up to their inability to continue. Also, endurance athletes displayed a long and relatively stable phase as well as a greater decrease of interaction between indices at the end of the workload. At the beginning of the exercise, the interaction between the stroke volume and the cardiac output was reduced. However, as the physical load continued, this interaction became significantly stronger. The comparison of the stroke volume and the cardiac output's dynamic interaction revealed that the endurance group had a greater working capacity. *Conclusions:* Typical dynamics of interactions during the testing with an increasing physical load can be differentiated into separate phases: The decrease of interaction at the onset of the load, the increase during the continuation of an increased workload, and the decrease at the last stages of the load.

Keywords: exercising; stroke volume; cardiac output; interaction; adaptation

1. Introduction

Functional alterations in the human body during exercise are conditioned by a sequence of complex interrelated processes. These processes also cause a physiological adaptation to physical loads, which is generally defined as a development of such functionality, and which would manifest itself in the individual's greater tolerance to physical workloads, an increased amount of energy resources, and an optimization of regulatory mechanisms [1]. Human myocardium's structural and functional changes induced by physical loads are also evidence of a long-term adaptation. Myocardium, unlike skeletal muscle, is fatigue resistant during long-term exercise. However strenuous exercises cause heart fatigue [2] and potentially can induce heart-tissue damage [3]. Therefore, distinguishing

exercise-induced adaptation peculiarities requires the consideration of intrinsic cardiac function and its structure.

Factors such as duration or intensity of exercise [4], training status [5], gender [6], and environment [7] are indistinguishable components that determine the extent of post-exercise dysfunctions [8]. Furthermore, physical exertion that leads to structural cardiac changes vary depending on the type of training and may affect the function of the heart, i.e., long-term physical activity may lead to an athlete developing “athlete’s heart” [9]. Athletes’ hearts adapt to the increasing physical load by increasing stroke volume. Since stroke volume is an essential structural component of cardiac output, an exercise-induced increase of cardiac output is caused by an increase of the heart rate and of the stroke volume. Lee and Oh [10] confirmed, in their study involving 22 subjects with at least five or more years of permanent training (swimming), that physical exercise has a positive effect on the heart’s structural changes, but there is no significant impact on its function.

Such conflicting views encouraged us to investigate to see if relevant information about physiological processes, in terms of long-term adaptation, could be obtained by estimating and analyzing the most relevant indicators and their dynamic interrelations when one of the indicators is another’s structural component. For this reason, we hypothesized that a stroke-volume decrease at the onset of a physical load would be minor and that an increase of stroke volume would emerge promptly. This phenomenon should be a reasonably accurate indication of a person’s better physical condition when carrying out a long physical workout. In order to confirm or reject our hypothesis, we used the model of the human body that concerns the synergetic aspects between the systems’ components [1]. This model assisted us in assessing the indicators of cardiovascular system and to reveal their hemodynamic characteristics when evaluating their interactions to see which is a great contribution to improving the evaluation precision of the cardiovascular system functions. In this study, our main purpose was to determine the impact of sprinting and endurance adaptation on the dynamic interactions of cardiovascular functional indices while a person was performing an increasing workload, up to their inability to continue.

2. Materials and Methods

2.1. Participants

The contingent of subjects consisted of 24 healthy athletes with at least six years of permanent training experience. Subjects were assigned to one of two groups: Endurance ($n = 13$, age 26.1 ± 1.7 years, height 178 ± 3.7 cm, body mass 74.8 ± 4.1 kg) and sprinters ($n = 11$, age 27.3 ± 3.2 years, height 177.6 ± 3.8 cm, body mass 77.8 ± 5.2 kg). There was no significant difference between the cohorts.

All subjects gave their informed consent for inclusion before they participated in the study. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and the protocol was approved by the Regional Biomedical Research Ethics Committee (Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania) (No: BE-2–38, 07–09–2016).

2.2. Organization of the Study

The bicycle ergometric method of incremental increase in a provocative workload (graded stress) was used. The subjects underwent a 50 W increase in workload every 6 min (60 revolutions/min), and they exercised up to their inability to continue the task or to a predetermined goal (submaximal heart rate) unless distressing cardiovascular symptoms supervened. After the physical load the subjects rested and the cardiac parameter registered 5 min. Participants during all testing procedures were seated on a bicycle.

2.3. Measurements

At the end of the 2nd; 4th and 6th minutes of each step of the workload, the subjects were asked to stop exercising for five to six seconds in order for us to measure the stroke volume and cardiac output with tetra polar chest rheography (RPG2-02, Medtekhnik, Moscow, Russia), a convenient and non-invasive method based on the Kubicek procedure [11]. To achieve this, we used a four-electrode impedance plethysmographic system. Two-band electrodes were placed around the base of each subject's neck; the third band electrode was placed around his thorax, 2 cm below the xiphisternal joint; and the fourth band electrode was placed around the abdomen, like a belt. The two outer electrodes were placed about 2 cm away from the inner electrodes. The upper neck and abdomen electrodes were excited with a constant 100 kHz sinusoidal current and the resultant voltage (impedance) changes that occurred in the cardiac cycles were monitored from the two inner electrodes. The stroke volume was calculated from the impedance change information using a formula that relates impedance changes to volume changes in a conducting solid [12].

2.4. Mathematical Methods

Statistical approach based on averaged data analysis cannot describe the synergetic interactions between the physiological system and mechanisms while exercising [13,14]. A recently developed algebraic co-integration method for the measurement of interactions between two physiological parameters was used [15]. According to this approach, two synchronous signals are taken at discrete time intervals and after normalization. Normalization (to interval [0; 1]) is required for the correct interrelations analysis and to satisfy the equation where the normalized value is equal to the difference between the original value and the minimal physiological value, divided by the difference between the maximal and minimal physiological values. These signals are co-integrated into the second order matrix. From the initial parameters of the matrix (difference $dfr A_n = x_n - y_n$ and co-diagonal product $cdp A_n = ab(x_{n-1} - y_{n-1})(x_{n+1} - y_{n+1})$), in both cases x_n and y_n are real numbers, and they represent the recorded parameters following characteristics that have a more comprehensive sense, i.e., discriminant (Dsk): $Dsk A_n = (dfr A_n)^2 + 4 cdp A_n$. Large Dsk values indicate low inter-parametric concatenation, whereas small Dsk values (close to zero) correspond to a high interaction between the analyzed parameters.

2.5. Statistical Analysis of the Data

The Kolmogorov–Smirnov test was used to determine whether the data had an underlying normal distribution, and the required homogeneity variance of compared samples was verified with Levene's test. ANOVA followed by Tukey post-hoc analyses were used to compare the statistical significance of the differences between the groups and for multiple comparisons within each group. The calculation for the observed power was performed, and the partial eta squared (η^2) was estimated as a measure of the test-retest effect size. The difference was regarded as statistically significant if $p < 0.05$. The values are reported as arithmetical mean $\pm$ standard error of the mean (SEM). All data analyses were performed using SPSS version 21.0 (IBM Corporation, Armonk, NY).

3. Results

Cardiovascular parameters and their dynamic interactions comparing the sprinters and the endurance groups are presented in Figures 1–3. Alterations in heart rate during the applied testing illustrate typical behavior of self-organizing systems, depending on the type of adaptation, i.e., sprinting or endurance. The heart rate changes of both groups while performing stepwise increasing workloads up to inability are presented in Figure 1.

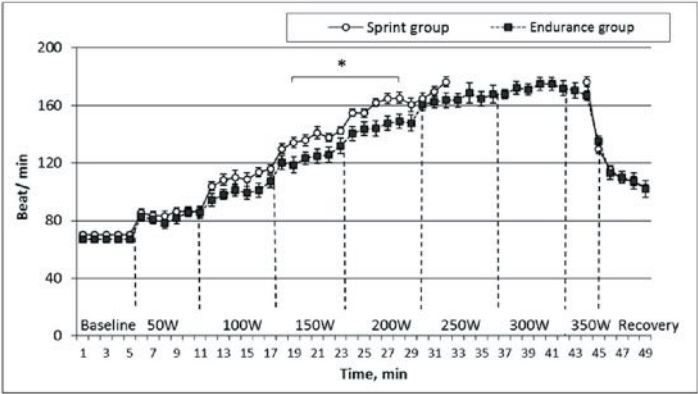


Figure 1. Changes of heart rate in sprint and endurance groups while performing incremental increase in workload every 6 min.

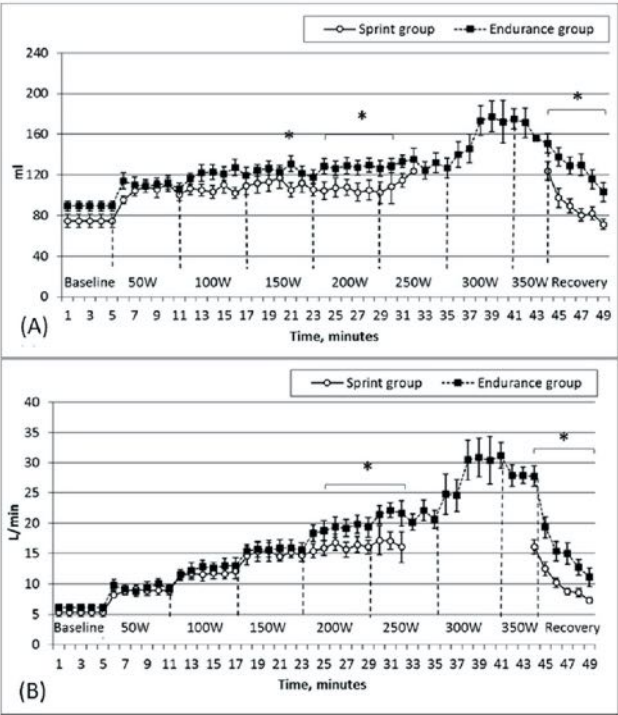


Figure 2. Changes of stroke volume (A) and cardiac output (B) in sprint and endurance groups while performing under an incremental increase in workload every 6 min. Note: Axis x show the study protocol, i.e., the increase of workload in watts and at 44–49 min—the change of parameter during the recovery. * Statistically significant difference ($p < 0.05$).

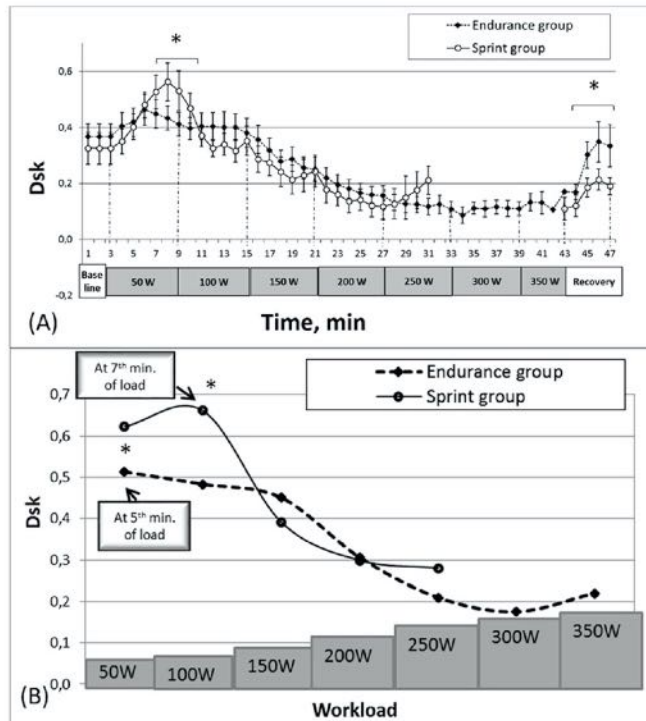


Figure 3. Average of values (A) and maximal values (B) changes of stroke volume and cardiac output dynamical interaction in sprint and endurance cohorts while performing incremental increase in workload every 6 min. Note: Axis x shows the study protocol, i.e., increase of workload in watts and from 44–47 min—the change of parameter during the recovery. * Statistically significant difference ($p < 0.05$).

When we compared recorded initial heart rate values that were in a relative state of rest, i.e., we found no statistically significant difference between the groups during exercise. Workload-induced heart-rate increase was more acute in the sprint group at each stage of the incremental load, and during the 150 W and 200 W workload, the difference between the groups reached a statistically significant level ($p < 0.05$). However, comparing the registered subjects' maximum heart rate values during the last stage of workload, we did not detect a statistically significant difference between the groups.

Figure 2 shows the stroke volume and cardiac output variations in the two groups while the subjects performed under increasingly more intense physical loads.

The endurance group was characterized by higher stroke volume values before testing (endurance group— 89.1 ± 5.1 mL, sprinters' group— 74.7 ± 6.7 mL); however, this was not a statistically significant difference. The stroke volume increased in parallel with the intensity of the workload, but significantly higher stroke-volume values were observed in the endurance subjects at the level of 150 W (endurance group— 130.8 ± 7.8 mL, sprint group— 105.1 ± 7.1 mL; $p < 0.05$) and also at the level of 200 W or while comparing maximum stroke-volume values ($p < 0.05$). Figure 2B shows that the cardiac output increased stepwise, i.e., the parameter increased at the onset of the first minute of a new stage of the physical load and during the five minutes that remained at the same level. Such a gradual increase lasted until the load reached 250 W. A more pronounced increase of cardiac output was observed in

the endurance group at the stages of 200–250 W, and this group was characterized by significantly higher cardiac output values, as recorded in the last stages of the workload ($p < 0.05$).

Figure 3 displays the dynamics of the interaction between stroke volume and cardiac output while the subjects performed stepwise increasing workloads up to their inability to continue in both groups.

Various peculiarities of Dsk changes were determined by comparing the initial Dsk (stroke volume, cardiac output), and the degree and the duration of this increase between the groups (Figure 3A). Before the testing of the state of relative rest, the calculated Dsk values were lower in the sprinters' group (0.35 ± 0.06) than in the endurance group (0.37 ± 0.04), but the difference between groups was not statistically significant.

The difference between groups was determined by analyzing the initial Dsk, its growth rate and the duration of the growth (Figure 3B). The Dsk of the endurance group increased within the first five minutes of the physical load (0.46 ± 0.06), and, compared with the initial Dsk values registered before the load, a statistically significant difference was obtained ($p < 0.05$). Afterwards it began to decline, i.e., concatenation between the stroke volume and cardiac output began to increase. The sprinters' group's increase in Dsk values for the same concatenation lasted longer (until the 7th min of the load) and increased up to 0.61 ± 0.07 , which was significantly higher ($p < 0.05$) than in the endurance group.

The subjects' Dsk values, for both groups, while they were performing at the increasing load in the later stages of the bicycle ergometer testing, were constantly declining. The sprinters' group's Dsk values decreased up to approximately the 25th minute of testing, reaching 0.13 ± 0.04 , and afterwards the values began to increase. The endurance group was characterized by exactly the same Dsk change trend as the sprinters' group; however, the decline of Dsk lasted significantly longer ($p < 0.05$). While they were overcoming the last subjectively difficult stages of physical load, their Dsk levels increased less.

During the recovery after the workload on the bicycle ergometer, the Dsk values (Figure 3A) also increased; however, within four minutes of recovery, the values did not reach the baseline (0.20 ± 0.04). Nevertheless, the recovery process for the endurance group was faster than for the sprinters' group. Unlike the sprinters' group, the endurance group's results indicate that a statistically significant difference ($p < 0.05$) was revealed in the Dsk values between the last load stage and the recovery period (0.13 ± 0.01 and 0.29 ± 0.04 , respectively).

4. Discussion

Dynamic systems theory applied in human physiology and sports medicine provides the ability to explore the functional system's behavior and to provide information about the system's organization [16,17]. This research work was focused on the adaptation impact on the cardiovascular indices and their interrelationships that are responsible at the highest level for the homeostasis of the human body during intensive physical loads. Attention was also paid to the body's self-organization during an incremental workload.

A cardiac-output increase induced by a physical load is conditioned by an increase in the heart rate and in the stroke volume [18]. Therefore, stroke volume is an essential structural component of cardiac output. A decrease of the stroke volume and of the cardiac output concatenation manifested at the onset of a physical load, i.e., Dsk values increased in both groups of subjects. At the onset of the physical load, the interaction between stroke volume and cardiac output became weaker, i.e., Dsk values increased, and this was the case for both groups of subjects as well as for each subject in general.

During the bicycle ergometer test, an exercise-induced Dsk increase was observed; however, this change was not fast. The estimated Dsk between stroke volume and cardiac output and its changes show that both at rest and during the physical load, the two parameters are strongly interrelated. Only at the stage of the subjectively intensive workload did the Dsk values begin to increase.

Interestingly, the Dsk values decreased at a slower pace for the endurance athletes than for the sprinters; however, during the recovery phase, the endurance group exhibited a significantly faster increase in Dsk than the sprinter athletes. We can possibly relate this to the idea of a muscle being a

defined chaos-system function that attempts to recover as fast as possible even within small ranges of power reduction. This allows us to arrive at a conclusion that an interruption to recovery processes in endurance sports players for any reason (such as adaptive processes becoming disjointed) can severely deteriorate athletes' results.

According to the results of Zumbakyte-Sermuksniene et al. [19], where the effect of basketball players' anthropometric data of their cardiovascular parameter alterations during a physical load were analyzed, the regulatory systems of recruited taller and heavier male basketball players tended to load more slowly and more economically than did those of their shorter and lighter counterparts. The interrelation of the heart rate in association with other cardiovascular parameters represents the processes of the regulatory system and also has a direct impact on cardiac-output dynamics.

Obscured Dsk values had an upward trend in both groups up to the 25th minute of physical load. Then the Dsk-value increases accelerated, and it took much longer for the endurance than for the sprinters' group, i.e., with increasing Dsk values, individuals who adjusted to endurance workloads were able to continue to exercise longer. The greatest working capacity was shown by the endurance group, who continued to work for 39 min, in contrast to the sprint group who had a 27 min average. In the run-up to the physiological limit, greater "autonomy" of the heart's regulative systems is allowed in order to optimize the potential solutions in a critical situation, i.e., to find the best approach for the recruitment of all compensating mechanisms to meet the body's need to maintain an adequate hemodynamic.

The long-lasting changes of concatenation among registered indices commenced at the onset of exercising, and this type of change was observed during workloads of increased intensity until the subjects reached a specific functional state (fatigue) when the increase of concatenation had changed to the contrary. This finding suggests that changes of interactions between the indices, which represent cardiac performance, appear at the onset of exercising and that the repeatedly emerged decrease of interaction in the period of maximal physical load leads to the inability to continue exercising.

Therefore, the algebraic data co-integration method for the evaluation of biological process dynamics provides access to qualitatively new information about the body's functional indicators' change in terms of their diversity and generality at the same time. At the onset of physical load, the stroke volume and cardiac output dynamic interaction is weaker, and, if physical activity is continued, this concatenation gets increasingly stronger. Such changes of stroke volume and cardiac output concatenation to a lesser degree were more common to the endurance cohort. Athletes with different adaptations to load (endurance or sprinters) have differing rates of activating their cardiac metabolism. Rowe, Safdar, and Arany [20] have shown that long-term endurance training leads to a greater working economy: When a subject is at the same absolute running speed and intensity, less oxygen is consumed. Therefore, individuals who are adapted to endurance workloads might be distinguished for their lower metabolic rates and for their enhanced myocardial economy compared to their sprinting peers. Reger et al. [8] have also confirmed that there is a temporal component to the physiological stress of exercise, which also contains an increased susceptibility to myocardial ischemic injury and might be metabolic in nature.

One of the main limitations of this investigation is the fact that it is difficult to interpret this kind of data due to the lack of studies of this type. Although some studies with the methodology we used have been published [1,15], there is still a lack of determined standards that could be used during this kind of data analysis. Also, in such data analyses, the initial data is susceptible to discrimination; thus, the change trends and the moments at which the contrary shifts emerge should be emphasized. Nevertheless, the results we obtained during this study in which we applied recently developed methodology allowed us to differentiate some specific features of the dynamics of cardiac performance that were affected by increasing fatigue based on the type of adaptation.

5. Conclusions

Typical dynamics of interactions during testing with an increasing physical load can be differentiated into separate phases: The decrease of interaction at the onset of a load; the increase during the continuation of an increased workload, and the decrease at the last stages of the load. The decrease of interactions is more exposed among the endurance cohorts. During exercise, interactions between stroke volume and cardiac output become significantly stronger; however, development of fatigue is followed by a decrease in this interaction (an increase of Dsk). Different types of sports players (endurance athletes or sprinters) have different interconnection behaviors in their bodies. The changes in the typical dynamic of interconnections as well as in the adaptability to load and in recovery processes can reveal possible problems in adaptability to load.

Author Contributions: Conceptualization, J.P., A.V., K.P., methodology, all authors; formal analysis, K.P.; D.V., Z.K.; investigation, all authors; writing—original draft preparation, D.V., Z.K.; writing—review and editing, all authors; supervision, J.P.

Funding: This research received no external funding.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Žumbakytė-Šermukšnienė, R.; Kajėnienė, A.; Vainoras, A.; Berškienė, K.; Augutienė, V. Assessment of functional conditions of basketball and football players during the load by applying the model of integrated evaluation. *Medicina* **2010**, *46*, 421–428. [CrossRef] [PubMed]
2. Predel, H.-G. Marathon run: Cardiovascular adaptation and cardiovascular risk. *Eur. Heart J.* **2014**, *35*, 3091–3098. [CrossRef] [PubMed]
3. Gabrielli, L.; Sitges, M.; Chiong, M.; Jalil, J.; Ocaranza, M.; Llevaneras, S.; Herrera, S.; Fernandez, R.; Saavedra, R.; Yanez, F.; et al. Potential adverse cardiac remodelling in highly trained athletes: Still unknown clinical significance. *Eur. J. Sport Sci.* **2018**, *18*, 1288–1297. [CrossRef] [PubMed]
4. Zebrowska, A.; Waskiewicz, Z.; Nikolaidis, P.T.; Mikolajczyk, R.; Kawecki, D.; Rosemann, T.; Knechtle, B. Acute responses of novel cardiac biomarkers to a 24-h ultra-marathon. *J. Clin. Med.* **2019**, *8*, 57. [CrossRef] [PubMed]
5. Lind, L.; Lampa, E. Life-time change in central and peripheral hemodynamics in relation to exercise capacity. *Clin. Physiol. Funct. Imaging* **2019**, *39*, 261–275. [CrossRef] [PubMed]
6. Clayton, B.C.; Tinius, R.A.; Winchester, L.J.; Menke, B.R.; Reece, M.C.; Maples, J.M. Physiological and perceptual responses to high-intensity circuit training using body weight as resistance: Are there sex-specific differences? *Int. J. Exerc. Sci.* **2019**, *12*, 245–255. [PubMed]
7. Riley, C.J.; Gavin, M. Physiological changes to the cardiovascular system at high altitude and its effects on cardiovascular disease. *High Alt. Med. Biol.* **2017**, *18*, 102–113. [CrossRef] [PubMed]
8. Reger, P.O.; Kolwicz, S.C.; Libonati, J.R. Acute exercise exacerbates ischemia-induced diastolic rigor in hypertensive myocardium. *Springerplus* **2012**, *1*, 46. [CrossRef] [PubMed]
9. Paterick, T.E.; Gordon, T.; Spiegel, D. Echocardiography: Profiling of the athlete's heart. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* **2014**, *27*, 940–948. [CrossRef] [PubMed]
10. Lee, B.-A.; Oh, D.-J. The effects of long-term aerobic exercise on cardiac structure, stroke volume of the left ventricle, and cardiac output. *J. Exerc. Rehabil.* **2016**, *12*, 37–41. [CrossRef] [PubMed]
11. Pushkar', I.T.; Bol'shov, V.M.; Elizarova, N.A.; Kukharchuk, V.V.; Tsvetkov, A.A. Determination of cardiac output by the method of tetrapolar chest rheography and evaluation of its metrological possibilities. *Kardiologiya* **1977**, *17*, 85–90. [PubMed]
12. Kubicek, W.G.; Karnegis, J.N.; Patterson, R.P.; Witsoe, D.A.; Mattson, R.H. Development and evaluation of an impedance cardiac output system. *Aerosp. Med.* **1966**, *37*, 1208–1212. [PubMed]
13. Dahlhaus, R.; Kurths, J.; Maass, P.; Timmer, J. *Mathematical Methods in Time Series Analysis and Digital Image Processing (Understanding Complex Systems Series)*; Springer: Berlin, Germany, 2008; p. 310.
14. Peng, C.-K.; Costa, M.; Goldberger, A.L. Adaptive data analysis of complex fluctuations in physiologic time series. *Adv. Adapt. Data Anal.* **2009**, *1*, 61–70. [CrossRef] [PubMed]

15. Bikulčienė, L.; Venskaitytė, E.; Gargasas, L.; Jurkonis, V. The Measure of human vital signals complexity by matrix analysis. In *Chaos and Complex Systems*; Springer: Berlin, Germany, 2013; pp. 682–687.
16. Gréhaigne, J.F.; Godbout, P. Dynamic systems theory and team sport coaching. *Quest* **2014**, *66*, 96–116. [CrossRef]
17. Torrents, C.; Balague, N. Dynamic systems theory and sports training. *Educ. Phys. Train. Sport* **2006**, *1*, 72–88. [CrossRef]
18. Zacharakis, E.D.; Kounalakis, S.N.; Nassis, G.P.; Geladas, N.D. Cardiovascular drift in trained paraplegic and able-bodied individuals during prolonged wheelchair exercise: effect of fluid replacement. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2012**, *38*, 375–381. [CrossRef] [PubMed]
19. Zumbakytė-Šermukšniene, R.; Kajeniene, A.; Berškiene, K.; Daunoravičiene, A.; Sederevičiute-Kandratavičiene, R. Assessment of the effect of anthropometric data on the alterations of cardiovascular parameters in Lithuanian elite male basketball players during physical load. *Medicina* **2012**, *48*, 566–571. [PubMed]
20. Rowe, G.C.; Safdar, A.; Arany, Z. Running forward new frontiers in endurance exercise biology. *Circulation* **2014**, *129*, 798–810. [CrossRef] [PubMed]



© 2019 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

ORIGINAL ARTICLE

Analysis of ECG parameter dynamics which define fatigue and the functional state of athletes**Analisi della dinamica del parametro ECG, che definisce la spossatezza e lo stato funzionale degli atleti**Zivile KAIRIUKSTIENE ¹*, Kristina PODERIENE ¹, Deivydas VELICKA ², Eugenijus TRINKUNAS ¹, Jonas PODERYS ¹¹Institute of Sport Science and Innovations, Lithuanian Sports University, Kaunas, Lithuania; ²Sport Institute, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania

*Corresponding author: Zivile Kairiukstiene, Institute of Sport Science and Innovations, Lithuanian Sports University, Sporto 6, LT – 44221, Kaunas, Lithuania. E-mail: zivile.kairiukstiene@gmail.com

SUMMARY**BACKGROUND:** Physiology and sport science are interested in the link between the development of fatigue and exercise performance. This study tests the hypothesis that the inter-dynamics of changes in the ratio between the RR and JT intervals of ECG could be informative for defining the state of fatigue during exercising.**METHODS:** We used two studies to simulate various functional states and to identify the peculiarities of this interaction, and what could be useful for the precise evaluation of the functional state. Seventeen athletes participated in the first study and 12 in the second study. A bicycle ergometer test using a 12-lead ECG was recorded for later analysis.**RESULTS:** The first study showed that when the load was higher the difference between JT and RR intervals was also higher ($P<0.05$). The JT and RR did not intersect at the start of the test or throughout the test. At recovery velocity adaptation does not return to baseline value ($P<0.05$). The second study revealed that after a 50W, 100W and 150W workload, the RR interval outran the recovery of JT the interval, but after 200W the recovery of the JT interval was statistically higher than the recovery of the RR interval ($P<0.05$). After 50W, 100W and 150W, the workload at the recovery index velocity of adaption was negative compared to baseline values ($P<0.05$), but after 200W these values became positive ($P<0.05$).**CONCLUSIONS:** The study confirmed the hypothesis that the accumulated fatigue, caused by exercising can be evaluated by the analysis the dynamics of JT and RR intervals during the fast recovery phase.

(Cite this article as: Kairiukstiene Z, Poderiene K, Velicka D, Trinkunas E, Poderys J. Analysis of ECG parameter dynamics which define fatigue and the functional state of athletes. Med Sport 2020;73:000-000. DOI: 10.23736/S0025-7826.20.03515-2)

KEY WORDS: FATIGUE; ELECTROCARDIOGRAPHY; PHYSICAL FITNESS.**RIASSUNTO****OBBIETTIVO:** Sia la fisiologia che le scienze dello sport si interessano al legame tra l'insorgere della spossatezza e la prestazione fisica. Questo studio testa l'ipotesi che l'interazione dinamica delle variazioni nel rapporto tra gli intervalli di RR e di JT nell'ECG possa essere utile per definire lo stato di spossatezza durante l'esercizio.**METODI:** Ci siamo avvalsi di due studi per simulare diversi stati funzionali e per identificare le peculiarità di questa interazione, e per identificare fattori utili alla valutazione precisa dello stato funzionale. Hanno preso parte al primo studio diciassette atleti; dodici atleti sono stati arruolati invece in un secondo studio. Il test è stato condotto per mezzo di una cyclette, con la registrazione di un ECG a 12 derivazioni per analisi a posteriori.**RISULTATI:** Il primo studio indica che quando il carico è maggiore, anche la differenza fra gli intervalli di JT e RR è più elevata ($P<0.05$). JT e RR non si sono intersecate all'inizio del test e per tutta la sua durata. Nel recupero, l'adattamento alla velocità non è ritornato al valore di partenza ($P<0.05$). Il secondo studio mostra che dopo carichi da 50W, 100W e 150W, l'intervallo di RR supera il recupero dell'intervallo JT, ma dopo un carico da 200W, il recupero dell'intervallo JT è stato statisticamente superiore al recupero dell'intervallo di RR ($P<0.05$). Dopo carichi da 50W, 100W e 150W, l'indice di recupero della velocità d'adattamento è stato negativo rispetto ai valori di partenza ($P<0.05$), ma dopo 200W è tornato ad un valore positivo ($P<0.05$).**CONCLUSIONI:** Lo studio conferma l'ipotesi che l'accumularsi del senso di spossatezza, causato dall'esercizio, possa essere valutato mediante l'analisi della dinamica degli intervalli di JT e RR, durante la fase di recupero veloce.**PAROLE CHIAVE:** Fatica; Elettrocardiografia; Forma fisica.

The adoption of sedentary lifestyles in modern society has resulted in low physical fitness levels, one of the most important risk factors for chronic-degenerative diseases, especially those related to the cardiovascular system.¹ There are many recommendations for physical activity to reduce cardiovascular risk.^{2, 3} Significant positive changes can occur in cardiovascular measurements after aerobic training.⁴ Although vigorous physical exercise is an effective way to reduce the risk of cardiovascular disease, active people remain susceptible to inherited and acquired cardiovascular disease, and may be most at risk of negative cardiovascular outcomes during intense physical activity.⁵ Physiology and sport scientists are interested in the link between the development of fatigue and exercise performance.⁶ Fatigue is a dynamic process involving central and peripheral mechanisms during high-intensity exercise.⁷ There are many publications in which the authors explore fatigue using different methods: blood lactate concentrations, perceived exertion,⁸ muscular fatigue,⁹ heart rate,¹⁰ maximal oxygen uptake,¹¹ and blood pressure.¹²

When applying exercises for health promotion or competitive sport, it is very important to assess functional state and fatigue. The problem of feedback is very real and must be solved.

ECG analysis is a common, and the most commonly studied, non-invasive technique used for cardiovascular system investigation.^{13, 14} Publications include recommendations about how to interpret ECG parameters for athletes,^{13, 15} children in general,¹⁶ adults in general¹⁷ and other groups.

JT (measure of ventricular repolarization) and RR (time interval between heartbeats) intervals are often analyzed separately, but to obtain more information about cardiovascular function was investigated the dynamics of QT-RR intervals.¹⁸ Other authors present the concept of matrices which are used to analyze relationships between RR and JT intervals.¹⁹ Thus, the aim of this study was to evaluate JT and RR intervals inter-dynamic during bicycle ergometer test.

Materials and methods

Subject

Study I: Seventeen healthy young adult males participated in this study. Participants had trained regularly for at least five years, with

L'adozione di uno stile di vita sedentario nella società moderna riduce la forma fisica, rappresentando uno dei più importanti fattori di rischio per le malattie cronico-degenerative, in particolare modo correlate al sistema cardiovascolare.¹ L'attività fisica è fortemente raccomandata per ridurre il rischio cardiovascolare.^{2, 3} Dopo allenamento aerobico, intervengono cambiamenti positivi significativi nei valori cardiovascolari.⁴ Sebbene l'esercizio fisico intenso sia un modo efficace di ridurre il rischio cardiovascolare, le persone attive rimangono suscettibili alle malattie cardiovascolari, ereditarie ed acquisite, e possono essere maggiormente a rischio di esiti cardiovascolari negativi durante l'attività fisica intensa.⁵ I fisiologi e gli studiosi di scienze dello sport si interessano all'insorgere della spossatezza nella prestazione sportiva.⁶ La spossatezza è un processo dinamico che riguarda meccanismi centrali e periferici, durante l'esercizio fisico ad alta intensità.⁷ Diversi lavori scientifici hanno esaminato questo aspetto mediante diversi parametri: la concentrazione del lattato ematico, lo sforzo percepito,⁸ la spossatezza muscolare,⁹ la frequenza cardiaca,¹⁰ il consumo massimo d'ossigeno,¹¹ e la pressione sanguigna.¹²

Quando si eseguono esercizi, a scopo salutistico o per allenarsi allo sport competitivo, è molto importante stabilire lo stato funzionale e il livello di spossatezza. Il problema del riscontro è reale e va risolto.

L'analisi dell'ECG è un metodo comune, nonché il più studiato e il meno invasivo per studiare il sistema cardiovascolare.^{13, 14} Le pubblicazioni contengono raccomandazioni sull'interpretazione dei parametri da ECG negli atleti,^{13, 15} nei bambini¹⁶, negli adulti in generale¹⁷ e in altri gruppi.

Gli intervalli di JT (misura della ripolarizzazione ventricolare) e di RR (intervallo di tempo fra i battiti cardiaci) in genere sono analizzati singolarmente, ma per ottenere più informazioni sulla funzione cardiovascolare è stato necessario analizzare la dinamica degli intervalli QT-RR.¹⁸ Altri ricercatori ricorrono al concetto di matrici, usate per studiare la relazione fra gli intervalli di RR e JT.¹⁹ Pertanto, lo scopo di questo studio è stato valutare l'interazione dinamica degli intervalli di JT e RR, durante un test su cyclette.

Materiali e metodi

Partecipanti

Studio I: Diciassette giovani adulti maschi e in buona salute hanno preso parte a questo studio: i partecipanti si erano allenati regolarmente per

a minimum of 3 h/wk of physical activity, including aerobic exercise and resistance training. The mean (SD, range) values of the general characteristics of participants were as follows: age 25.1 ± 1.8 years, height 177 ± 3.5 cm, body mass 71.8 ± 4.2 kg.

Study II: Twelve healthy young adult males from the same health sports club participated in this study. Participants had trained regularly for at least one year, with a minimum of 3 h/wk of physical activity, including aerobic exercise and resistance training. The mean values of the general characteristics of participants were as follows: age 26.2 ± 2.7 years, height 177.6 ± 3.1 cm, body mass 76.3 ± 5.2 kg. Potential participants who were identified as having a cardiovascular disease or health problem, or who used any drugs or nutritional supplements were excluded.

This study was approved by the Regional Biomedical Research Ethics Committee (Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania) (No: BE-2-10, 26-03-2015). The experiments were performed in accordance with the ethical standards of the Helsinki Declaration. Prior to the initiation of the study, each of the participants read and signed an informed consent form agreeing to engage in all testing procedures.

Organization of the study

Before testing, the subjects had not eaten for at least several hours, they had not consumed alcohol or any medication, and they had rested well. Subjects were not allowed to consume any meal or liquid while exercising until all the measurements had been taken.

Study I: the subjects performed the bicycle ergometer exercise test with a physical load that increased stepwise every 6 minutes they started exercising with a 50 W load at a frequency of 60 rpm, and the workload increased at each step by 50 W to 200 W (Figure 1A). After the physical load, the subjects rested for five minutes. Participants were seated on a bicycle at rest. An entire ECG was continually recorded throughout the study.

The individual rate of perceived exertion at the first minute after end of workload was evaluated by use the Borg CR-10 scale.²⁰

Study II: the subjects performed the bicycle ergometer exercise test with a physical load that increased stepwise every 2 minutes, that is, they started exercising with a 50 W load at a fre-

almeno cinque anni, con un minimo di 3 ore a settimana di attività fisica, con esercizio aerobico ed allenamento di resistenza. I valori medi (SD, oscillazione) delle caratteristiche generali dei partecipanti sono i seguenti: età 25.1 ± 1.8 anni, altezza 177 ± 3.5 cm, massa corporea 71.8 ± 4.2 kg.

Studio II: Dodici giovani adulti maschi e in buona salute, provenienti dallo stesso centro per la salute sportiva, hanno preso parte a questo studio. I partecipanti si erano allenati regolarmente per almeno un anno, con un minimo di 3 ore a settimana di attività fisica, con esercizio aerobico ed allenamento di resistenza. I valori medi (SD, oscillazione) delle caratteristiche generali dei partecipanti sono i seguenti: età 26.2 ± 2.7 anni, altezza 177.6 ± 3.1 cm, massa corporea 76.3 ± 5.2 kg. I potenziali partecipanti sono stati selezionati fra coloro i quali non presentavano patologie cardiovascolari o problemi di salute, o che non facevano ricorso a farmaci o integratori alimentari.

Questo studio è stato approvato dalla Commissione Etica di Ricerca Biomedica Regionale (Facoltà di Scienze Mediche Lituana, Kaunas, Lituania) (No: BE-2-10, 26-03-2015). Gli esperimenti sono stati condotti rispettando i principi della Dichiarazione di Helsinki. Prima di iniziare con lo studio, i partecipanti hanno letto e firmato un modulo per il consenso informato, con cui s'impegnavano a prender parte a tutti i test previsti.

Organizzazione dello studio

Prima del test, i soggetti non hanno assunto cibo per diverse ore, né hanno assunto alcool o farmaci, e si sono riposati adeguatamente. Ai partecipanti non è stato consentito il consumo di pasti o bevande finché le valutazioni non sono state terminate.

Studio I: i partecipanti hanno eseguito un esercizio sulla cyclette con un carico fisico in aumento progressivo ogni 6 minuti, partendo da un carico da 50 W ad una frequenza di 60 rpm, e con un aumento del carico ad ogni livello, di 50 W, fino a 200 W (Figura 1A). Dopo il carico fisico, i soggetti si sono riposati per cinque minuti. I partecipanti sono rimasti seduti sulla cyclette per riposarsi. L'ECG è stato registrato continuamente durante tutto il test. La quota individuale di spossatezza nel primo minuto, dopo la fine del carico, è stata misurata con la scala Borg CR-10.²⁰

Studio II: i partecipanti hanno eseguito un esercizio sulla cyclette con un carico fisico in aumento progressivo ogni 2 minuti, partendo da un carico da 50 W ad una frequenza di 60 rpm, e con un aumento del carico ad ogni livello, di 50 W (Figura 1B). Prima di aumentare il carico, i

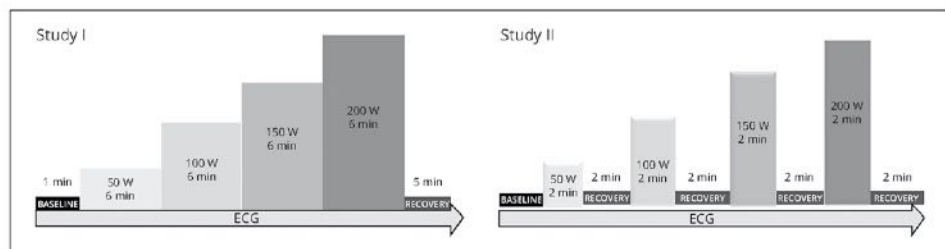


Figure 1.—Studies protocols.
Figura 1.—Protocolli dello studio.

quency of 60 rpm, and the workload increased at each step by 50 W (Figure 1B). Before increasing the load the participant had two minutes of rest. Participants were seated on a bicycle at rest. After the physical load, the subjects rested for two minutes. An ECG was recorded every 15 seconds.

The individual rate of perceived exertion at the first minute after end of each workload was evaluated by use the Borg CR-10 scale.²⁰

The environmental temperature and relative humidity were stable at 20-22 °C and 48-52% respectively.

Measurements

During the procedure, a 12-lead ECG was recorded for later analysis by means of computerized ECG analysis system ("Kaunas-load", Kaunas, Lithuania). Changes in RR interval (heart rate), JT interval and velocity adaptation were analyzed.

Statistical analysis

JT and RR intervals dates were normalized, that is presented as percentages when the first value was 100%. Velocity of adaptation was calculated using the formula:

$$\left(\frac{JT_i}{JT_0}\right)100\% - \left(\frac{RR_i}{RR_0}\right)100\%,$$

JT_0 and RR_0 , values of intervals before exercising; JT_i and RR_i , values of intervals at onset of exercising.

A linear regression analysis model was used to evaluate when the JT and RR intervals reached the same value after workload.

The values are presented as means and standard derivations (SD). The Kolmogorov-Smirnov test was used before the analysis to check the normality of the data distribution. An

partecipanti si sono riposati per due minuti. I partecipanti sono rimasti seduti sulla cyclette per riposarsi. Dopo il carico fisico, i partecipanti si sono riposati per due minuti. L'ECG è stato registrato ogni 15 secondi.

La quota individuale di spossatezza nel primo minuto, dopo la fine di ciascun carico, è stata misurata con la scala Borg CR-10.²⁰

La temperatura ambientale e l'umidità relativa sono rimaste stabili a 20-22 °C e a 48-52%, rispettivamente.

Misure dei dati

Durante la procedura, è stato registrato un ECG a 12 derivazioni per analisi a posteriori, mediante un sistema per analisi di ECG computerizzato ("Kaunas-load", Kaunas, Lituania). Sono stati analizzati parametri come variazioni dell'intervallo di RR (frequenza cardiaca), dell'intervallo JT e della velocità di adattamento.

Analisi statistica

I dati degli intervalli di JT e RR sono stati normalizzati, riportandoli come dati percentuali, fissando il primo dato al 100%. La velocità di adattamento è stata calcolata usando la formula:

$$\left(\frac{JT_i}{JT_0}\right)100\% - \left(\frac{RR_i}{RR_0}\right)100\%,$$

con JT_0 e RR_0 come valori degli intervalli prima dell'esercizio; JT_i e RR_i , come valori degli intervalli a esercizio iniziato.

Abbiamo utilizzato un modello di analisi della regressione per valutare il momento in cui gli intervalli di JT e RR hanno raggiunto lo stesso valore dopo il carico.

I valori sono riportati come media e deviazione standard (SD). Il test Kolmogorov-Smirnov ci ha permesso di controllare la distribuzione normale dei dati. Durante il test sulla cyclette, abbiamo

independent sample *t* test was used for analysis of the normally distributed data to determine differences between JT and RR intervals during the bicycle ergometer tests. A paired student *t* test was used to determine velocity adaptation dynamics differences compared to baseline value. The statistical analysis was performed using SPSS 24.0. A significant difference between the compared values was indicated when the error did not exceed 5% ($P<0.05$).

Results

Study I

Figure 2 shows the JT and RR intervals dynamics in the first study during the bicycle ergometer test, when the load was increased every six minutes. At the peak of fatigue JT decreased to $66.0\pm 2.3\%$ and RR to $48.1\pm 2.1\%$. The JT returned to $83.3\pm 2.4\%$ and RR to $72.1\pm 2.7\%$ of their baseline values within five minutes after the load. The load was higher difference between JT and RR intervals was higher too. There was a significant difference between the JT and RR intervals after 4 minutes of workload to the end of test ($P<0.05$). At 24 minutes of workload, the JT interval was $61.6\pm 2.3\%$ and the RR interval was $48.1\pm 2.1\%$ ($P<0.05$).

condotto un test *t* a campioni indipendenti per analizzare i dati distribuiti normalmente, per determinare le differenze fra gli intervalli di JT e RR. Il test *t* student per campioni accoppiati è servito a determinare le differenze nella dinamica della velocità di adattamento, rispetto al momento iniziale. L'analisi statistica è stata condotta tramite software SPSS 24.0. È stata indicata una differenza significativa tra valori confrontati, quando l'errore non ha superato il 5% ($P<0,05$).

Risultati

Studio I

La figura 2 descrive la dinamica degli intervalli JT e RR nel primo studio, durante il test sulla cyclette, quando il carico è stato aumentato ad intervalli di sei minuti. Al picco della spossatezza, JT è sceso fino a $66,0\pm 2,3\%$ e RR fino a $48,1\pm 2,1\%$. JT è ritornato a $83,3\pm 2,4\%$ e RR al $72,1\pm 2,7\%$ dei loro valori di partenza entro cinque minuti dopo il carico. Il carico è stato significativamente più alto fra gli intervalli di JT e RR. Vi è stata una differenza significativa fra gli intervalli di JT e RR dopo 4 minuti di carico alla fine del test ($P<0,05$). A 24 minuti di carico, l'intervallo JT è stato del $61,6\pm 2,3\%$ e l'intervallo RR è sta del $48,1\pm 2,1\%$ ($P<0,05$).

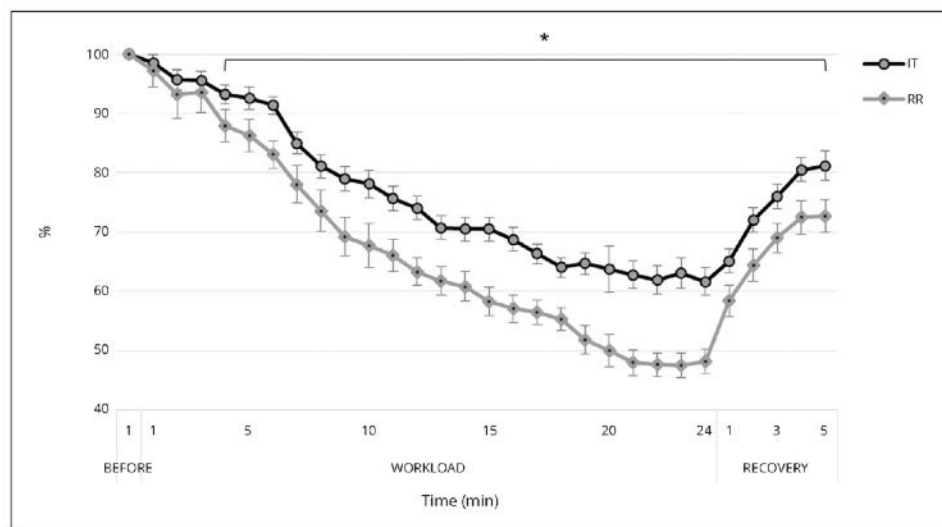


Figure 2.—RR and JT intervals dynamics during incremental exercise test.

Figura 2.—Dinamica degli intervalli di JT e RR durante l'esercizio incrementale.

The JT and RR do not intersect at the start of the test or throughout the test. We used a linear regression analysis model to demonstrate that both lines will reach the same value 16 minutes into recovery.

The values obtained representing the velocity of the adaptation increased consistently throughout the bicycle ergometer exercise. The adaptation values decreased steeply after exercise. The velocity of adaptation did not return to its baseline value ($P<0.05$) at recovery. The last value at recovery adaptation speed was $5.2\pm1.5\%$, which was significantly higher than the baseline value ($P<0.05$).

At the end of exercising the most of participants assessed workload as 10 point with the Borg CR-10 scale (average: 9.68 ± 0.11).

Study II

Figure 3 demonstrates the JT and RR dynamics during stepwise incremental exercise which increased every 2 minutes along to the increased workload. The RR interval outran JT interval after the 50W load during the first minute of recovery. The highest RR interval values were $108.9\pm2.0\%$ and JT $98.07\pm2.21\%$. During the 100W load cycling exercise, the JT interval values decreased to $88.9\pm2.4\%$ and RR to $70.2\pm2.1\%$. After load the RR interval was $100.3\pm3.6\%$, and it was more than JT, at $-95.6\pm2.4\%$. The same tendency was observed after the 150W load.

JT e RR non s'intersecano all'inizio del test o durante la sua esecuzione. Abbiamo usato un modello di analisi di regressione lineare per dimostrare che entrambe le linee raggiungeranno lo stesso valore a 16 minuti dal recupero.

I valori ottenuti, che rappresentano la velocità di adattamento, sono aumentati costantemente per tutto il tempo dell'esercizio sulla cyclette. I valori di adattamento sono calati gradualmente dopo l'esercizio. La velocità di adattamento non è ritornata al suo valore di partenza ($P<0.05$) durante il recupero. L'ultimo valore della velocità di adattamento al recupero è stato di $5,2\pm1,5\%$, significativamente maggiore del valore di partenza ($P<0.05$).

Alla fine dell'allenamento la maggior parte dei partecipanti ha espresso una valutazione da 10 punti, secondo la scala Borg CR-10 (media: $9,68\pm0,11$).

Studio II

La figura 3 descrive le dinamiche di JT e RR durante l'esercizio incrementale graduale, con incrementi ogni 2 minuti, lungo tutto il tempo del carico incrementale. L'intervallo di RR supera l'intervallo di JT dopo il carico da 50W, durante il primo minuto di recupero. I valori maggiori dell'intervallo di RR sono stati $108,9\pm2,0\%$, $98,07\pm2,21\%$ per l'intervallo di JT. Durante il carico da 100W di esercizio su cyclette, i valori dell'intervallo di JT sono calati fino a $88,9\pm2,4\%$ e quelli di RR fino a $70,2\pm2,1\%$. Dopo il carico, l'intervallo di RR è stato $100,3\pm3,6\%$, superiore a JT, a $-95,6\pm2,4\%$. La stessa tendenza è stata osservata dopo un carico

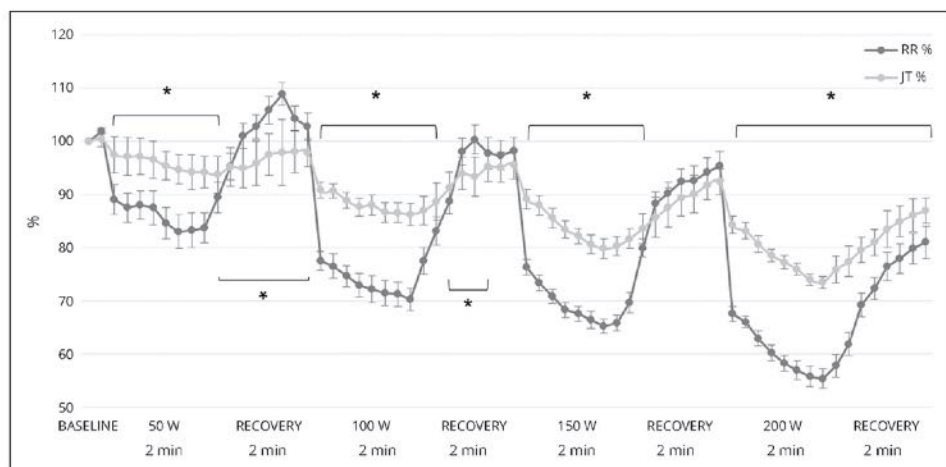


Figure 3.—Dynamics of the JT and RR intervals during incremental exercise test in intermittent mode.
Figura 3.—Dinamica degli intervalli di JT e RR durante l'esercizio incrementale, in modalità intermittente.

The RR interval did not outrun the JT interval at recovery after a 200W workload. There was a significant difference between the RR and JT intervals values ($P<0.05$). During the second minute of recovery, the JT interval increased to $86.2\pm2.74\%$ and the RR interval to $79.8\pm3.1\%$. A significantly higher JT interval was recorded then participants mentioned a bike and after 200W workload at recovery ($P<0.05$). The RR interval was significantly higher after the 50W workload at recovery and at 2 ECG at recovery after the 100W workload. We calculated that the JT and RR intervals would be at the same point at 19 minutes after the 200W workload.

Figure 4 shows the velocity of adaptation dynamic of the cardiovascular system. After the 50W load bicycle ergometer exercise, adaptation of velocity was $-11.04\pm4.3\%$. When the load was increased velocity of adaptation increased too. After the 100W load, the lowest value was $-7.00\pm4.1\%$, and after 150W it was $-3.0\pm4.8\%$. After a 200W work load the velocity of adaptation took positive values at recovery. The lowest was 5.9 ± 3.9 . Velocity adaptation values at recovery were statistically higher than baseline ($p<0.05$), despite a second ECG 50W after workload.

During incremental exercise the individual rate of perceived exertion participants assessed 5 to 10 with the Borg CR-10 scale. After 50W the individual rate of perceived exertion was assessed 5.2 ± 0.27 , after 100W workload- 6.8 ± 0.17 , 150W- 7.8 ± 0.11 and at the end of exercising (200W) was 9.2 ± 0.11 .

da 150 W. L'intervallo di RR non supera l'intervallo di JT nel recupero dopo il carico da 200 W. C'è stata una differenza significativa tra i valori gli intervalli RR e JT ($P<0.05$). Durante il secondo minuto di recupero, l'intervallo JT è aumentato fino a $86.2\pm2.74\%$ e l'intervallo RR fino a $79.8\pm3.1\%$. Un intervallo JT significativamente maggiore è stato registrato in seguito, menzionando una bicicletta, e dopo carico da 200W nel recupero ($P<0.05$). L'intervallo RR è stato significativamente maggiore dopo 50W di carico nel recupero e in 2 ECG nel recupero, dopo il carico da 100W. Abbiamo calcolato che gli intervalli JT e RR dovrebbero raggiungere lo stesso punto a 19 minuti, dopo carico da 200W.

La figura 4 illustra la dinamica della velocità di adattamento del sistema cardiovascolare. Dopo l'esercizio sulla cyclette con carico da 50W, l'adattamento della velocità è stato $-11,04\pm4,3\%$. Quando il carico è aumentato, la velocità di adattamento è anche aumentata. Dopo il carico da 100 W, il valore inferiore è stato $-7,00\pm4,1\%$, e dopo 150W è stato $-3,0\pm4,8\%$. Dopo un carico da 200 W, i valori della velocità di adattamento sono diventati positivi nel recupero. Il valore più basso è stato $5,9\pm3,9$. La velocità di adattamento al recupero è stata statisticamente superiore rispetto a quella di partenza ($p<0,05$), nonostante un secondo ECG, dopo carico da 50W. Durante l'esercizio incrementale il tasso individuale di spossatezza percepita, stabilito dai partecipanti, è stato da 5 a 10 secondo la scala Borg CR-10. Dopo 50W, il tasso individuale di spossatezza percepita, ha raggiunto $5,2\pm0,27$, dopo carico da 100W è stato di $6,8\pm0,17$, dopo 150W- $7,8\pm0,11$ e a fine esercizio (200W) è stato $9,2\pm0,11$.

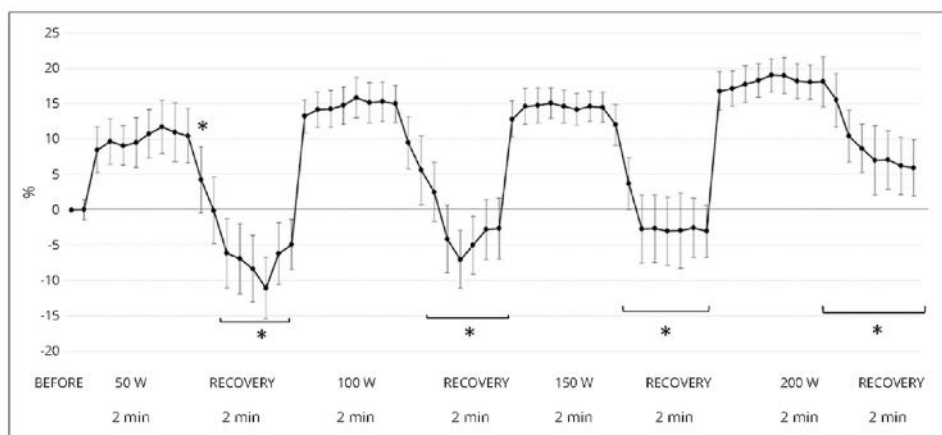


Figure 4.—Dynamic of velocity adaptation during incremental exercise test.
Figura 4.—Dinamica dell'adattamento alla velocità durante l'esercizio incrementale.

Discussion

Physiological systems are not periodic oscillators and the interaction between various physiological mechanisms is an essential feature of body functioning while exercising.¹⁹ The hypothesis of this study was that the dynamics of changes in the ratio between RR and JT intervals could be more informative for defining the effects of cumulative fatigue than the values or dynamics of separate ECG indices. We used two studies in order to simulate various functional states and to delineate the peculiarities of this interaction. First study should describe how the chosen ECG indices recover in conditions of fatigue (after the exercising up to inability to continue the task). Second study was used to delineate how the behavior of chosen ECG indices obtain the changes gradually, what reveals the accumulation of fatigue.

The electrical properties of cardiac musculature are widely used in diagnostic purposes and in the functional testing of athletes.^{14, 15}

According our approach this recovery period contains a lot of information about what has happened during exercising. At the onset of exercise all body systems and all physiological mechanisms activated so as to meet the increased energy and oxygen needs.²¹ In the phase of recovery after workload all activated mechanisms should return to initial state and it occurs in some speed and specific manner.^{22, 23} Study I showed that JT and RR intervals curve not crossed at the same point within five minutes of recovery. To predict then intervals would be at the same point we used a linear regression analysis model and found that it will be after 16 minutes. RR recovery has usually been calculated as five minutes in previous studies.^{24, 25}

Cardiac repolarization can be assessed by the QT interval and varies with the heart rate.¹⁸ It is known that the human RR and QT relationship differs during dynamic exercise from that of the recovery phase.²⁶ JT and JT peak intervals are also used as QT interval to describe the same process of repolarization.²⁷ QT-RR relationship in this setting reflects the parasympathetically mediated opposition to the lengthening of the QT interval induced by enhanced sympathetic activity.¹⁸ Have shown that sympathoexcitation remain for 45 minutes after exercise.²⁸ The results obtained in the second study demonstrate that JT and RR intervals crossed at recovery after the 50W,

Discussione

I fenomeni fisiologici non sono oscillatori periodici e l'interazione tra diversi meccanismi fisiologici è una caratteristica essenziale delle funzioni corporee durante l'esercizio.¹⁹ L'ipotesi di questo studio è che la dinamica dei cambiamenti nel rapporto fra gli intervalli di RR e di JT potrebbe fornire informazioni utili a definire gli effetti dell'accumulo della spossatezza, rispetto ai valori della dinamica degli indici isolati di ECG. Abbiamo condotto due studi per simulare vari stati funzionali e per delineare le peculiarità di questa interazione. Il primo studio si prefigge di descrivere il recupero degli indici scelti dell'ECG in condizione di spossatezza (definita come incapacità di proseguire con l'esercizio). Il secondo studio è stato utilizzato per delineare il modo in cui il comportamento degli indici dell'ECG selezionati variano gradualmente, il che rileva l'accumulo di spossatezza.

Le proprietà elettriche della muscolatura cardiaca sono sfruttate ampiamente nella diagnostica nei test funzionali degli atleti.^{14, 15}

Secondo il nostro approccio il periodo di recupero fornisce numerose informazioni su ciò che avviene durante l'esercizio. All'inizio dell'allenamento tutti gli apparati del corpo umano e tutti i meccanismi fisiologici si attivano, in modo da far fronte all'aumentato fabbisogno energetico e di ossigeno.²¹ Nella fase di recupero dopo il carico, tutti i meccanismi attivati devono ritornare allo stato iniziale e ciò avviene ad una velocità e in una maniera specifiche.^{22, 23} Lo studio I ha dimostrato che le curve degli intervalli di JT e RR non si incrociano allo stesso punto entro cinque minuti di recupero. Per predire il verificarsi dell'intervallo nello stesso punto, abbiamo usato l'analisi per regressione lineare, riscontrando che questo si sarebbe verificato dopo 16 minuti. Il recupero di RR di solito è, secondo lavori precedenti, pari a cinque minuti.^{24, 25}

La ripolarizzazione cardiaca può essere stabilita mediante l'intervallo QT, e varia con la frequenza cardiaca.¹⁸ È noto che la relazione fra RR e QT nell'essere umano differisce durante l'esercizio dinamico, rispetto a quella che interviene durante fase di recupero.²⁶ Gli intervalli di JT e del picco di JT sono usati, così come l'intervallo di QT, per descrivere lo stesso processo di ripolarizzazione.²⁷ La relazione QT-RR nel sistema riflette l'opposizione mediata a livello parasimpatico all'allungamento dell'intervallo di QT, indotta dall'aumentata attività simpatica.¹⁸ Abbiamo dimostrato che l'eccitazione simpatica persiste per 45 minuti dopo l'esercizio.²⁸ I risultati ottenuti nel secondo studio dimostrano che gli intervalli di JT e RR si incontrano al recupero dopo carichi da 50W, 100W e 150W, ma la spos-

100W and 150W workloads, but then accumulated fatigue was higher (200W workload) and the individual rate of perceived exertion was 9.2 ± 0.11 with the Borg CR-10 scale, lines of JT and RR intervals averages do not crossed. Independently of workload, the relative change in JT intervals was higher than the relative RR interval changes. Other authors have observed similar changes in ECG indicators during exercise and recovery: longer QT intervals while RR intervals decreasing during exercise and shorter QT intervals when RR intervals increasing during recovery.²⁹ Evaluating RR and JT intervals dynamic at recovery of healthy subject who exercises in our study, velocity of adaptation was higher than 0% after a 200W load at recovery, suggesting that the values were 0% or more means about state of fatigue. Velocity of adaptation at onset of exercise depends on the residual effects of training but not on the type of exercise test.³⁰ Such an approach allows us to assess the accumulated fatigue, which can be evaluated by analysis of the inter-dynamics between RR and JT intervals during the fast recovery phase. To our knowledge, this is the first attempt to assess the state of fatigue according to the inter-dynamics of ECG parameters in the fast recovery phase.

Limitations of the study

Fatigue is a complex phenomenon and many models was suggested as to explain the genesis and mechanisms of fatigue. For example the Meshed Model of Fatigue emphasize the meshing of centrally and peripherally mediated factors during performance.³¹ The electrical properties of cardiac musculature are widely used in diagnostic purposes and in the functional testing of athletes.^{14,15} To our knowledge, this is the first attempt to assess the state of fatigue according to the inter-dynamics of ECG parameters in the fast recovery phase. The results of this study can't explain all specific peculiarities of fatigue caused by aerobic or anaerobic types of workload, fatigue caused by intermittent or interval type of training. Further studies could performed as to reveal these peculiarities.

Conclusions

The study confirmed the hypothesis that the accumulated fatigue caused by exercising can

satezza accumulata è stata maggiore (carico da 200W); la quota individuale di sforzo percepito è stata di $9,2 \pm 0,11$ mediante scala di Borg CR-10, con le linee degli intervalli di JT e RR che non si incrociano. Indipendentemente dal carico, la variazione relativa degli intervalli di JT è stata maggiore delle variazioni degli intervalli di RR.

Altri ricercatori hanno osservato variazioni simili negli indicatori di ECG, durante l'esercizio e il recupero: intervalli di QT più lunghi, mentre gli intervalli di RR diminuiscono durante l'esercizio, e intervalli più brevi di QT quando gli intervalli di RR aumentano durante il recupero.²⁹ Dalla valutazione della dinamica degli intervalli di RR e JT a recupero, nei soggetti in salute che si sono allenati nel nostro studio, la velocità di adattamento è stata maggiore dello 0%, dopo carico da 200W a recupero, suggerendo che valori pari o superiori allo 0% abbiano un significato riguardo allo stato di spossatezza. La velocità di adattamento a esercizio iniziato dipende dagli effetti residui dell'allenamento ma non dal tipo di test fisico.³⁰ Tale approccio ci permette di quantificare la spossatezza accumulata, che può essere valutata mediante analisi dell'interazione dinamica tra gli intervalli di RR e JT, durante la fase veloce di recupero. In base alle conoscenze attuali, questo è stato il primo tentativo di valutare lo stato della spossatezza, secondo l'interazione dinamica dei parametri di ECG nella fase di recupero veloce.

Limiti dello studio

La spossatezza è un fenomeno complesso e sono stati suggeriti diversi modelli per spiegare la sua genesi e il suo meccanismo. Ad esempio il modello a reticolo per la spossatezza enfatizza la creazione di un reticolo per i fattori mediati centralmente e perifericamente durante la performance.³¹ Le proprietà elettriche della muscolatura cardiaca sono ampiamente sfruttate in diagnostica e nei test funzionali degli atleti.^{14,15} Secondo le nostre conoscenze attuali, questo è il primo tentativo di stabilire lo stato di spossatezza, in base all'interazione dinamica dei parametri di ECG nella fase di recupero veloce. I risultati di questo studio non spiegano le peculiarità specifiche della spossatezza, causata dal carico di tipo aerobico o anaerobico, e la spossatezza causata da allenamento intermittente o a intervalli. Queste caratteristiche potrebbero essere chiarite da studi futuri.

Conclusioni

Lo studio ha confermato l'ipotesi che la spossatezza accumulata, causata dall'esercizio, può

be evaluated by the analysis the dynamics of JT and RR intervals during the fast recovery phase.

essere valutata mediante l'analisi della dinamica degli intervalli di JT e RR, durante la fase del recupero veloce.

References/Bibliografia

- Gonzalez K, Fuentes J, Marquez JL. Physical Inactivity, Sedentary Behavior and Chronic Diseases. Korean J Fam Med 2017;38:111-5.
- Pedersen BK. Which type of exercise keeps you young? Curr Opin Clin Nutr Metab Care 2019;22:167-73.
- Astorino TA, Edmunds RM, Clark A, King L, Gallant RA, Namm S, et al. High-Intensity Interval Training Increases Cardiac Output and V O₂max. Med Sci Sports Exerc 2017;49:265-73.
- Ramirez-Velez R, Hernandez-Quinones PA, Tordecilla-Sanders A, Alvarez C, Ramirez-Campillo R, Izquierdo M, et al. Effectiveness of HIIT compared to moderate continuous training in improving vascular parameters in inactive adults. Lipids Health Dis 2019;18:42.
- Baggish AL, Battle RW, Beckerman JC, Bove AA, Lampert RJ, Levine BD, et al. Sports Cardiology: Core Curriculum for Providing Cardiovascular Care to Competitive Athletes and Highly Active People. J Am Coll Cardiol 2017;70:1902-18.
- Franchini E, Takito MY, Alves ED, Shirogami SA, Julio UF, Humberstone C. Effects of Different Fatigue Levels on Physiological Responses and Pacing in Judo Matches. J strength Cond Res 2019;33:783-92.
- Bigland-Ritchie R, Furbush F, Woods JJ. Fatigue of intermittent submaximal voluntary contractions: central and peripheral factors. J Appl Physiol 1986;61:421-9.
- Mothes H, Leuker C, Seelig H, Fuchs R. Do placebo expectations influence perceived exertion during physical exercise? PLoS One 2017;12:e0180434.
- Mate-Munoz JL, Lougedo JH, Barba M, Canuelo-Marquez AM, Guodemar-Perez J, Garcia-Fernandez P, et al. Cardiometabolic and Muscular Fatigue Responses to Different CrossFit(R) Workouts. J Sports Sci Med 2018;17:668-79.
- Blüher S, Kapplinger J, Herget S, Reichardt S, Botzcher Y, Grimm A, et al. Cardiometabolic risk markers, adipocyte fatty acid binding protein (afABP) and the impact of high-intensity interval training (HIIT) in obese adolescents. Metabolism 2017;68:77-87.
- Onofre T, Oliver N, Carlos R, Felismino A, Corte RG, Silva E, et al. Oxygen uptake efficiency slope as a useful measure of cardiorespiratory fitness in morbidly obese women. PLoS One 2017;12:e0172894.
- Hammami A, Kasmi S, Farinatti P, Fgiri T, Chamari K, Bouhidel E. Blood pressure, heart rate and perceived enjoyment after small-sided soccer games and repeated sprint in untrained healthy adolescents. Biol Sport 2017;34:219-25.
- Prutkin JM, Wilson MG. Electrocardiography in athletes: normal and abnormal findings. Heart 2018;104:1902-9.
- Brosnan MJ. Athlete's ECG - Simple Tips for Navigation. Heart Lung Circ 2018;27:1042-51.
- Sharma S, Drezner JA, Baggish A, Papadakis M, Wilson MG, Prutkin JM, et al. International Recommendations for Electrocardiographic Interpretation in Athletes. J Am Coll Cardiol 2017;69:1057-75.
- Fransson C, Johansson S, Halvorsen C. [The ABC of paediatric ECG interpretation]. Lakartidningen 2017;114.
- Bhatia RS, Boucek Z, Ivers NM, McCreedy G, Singh J, Pendrith C, et al. Electrocardiograms in Low-Risk Patients Undergoing an Annual Health Examination. JAMA Intern Med 2017;177:1326-33.
- Sundaram S, Carnethon M, Polito K, Kadish AH, Goldberger JJ. Autonomic effects on QT-RR interval dynamics after exercise. Am J Physiol Heart Circ Physiol 2008;294:490-7.
- Ziaukas P, Alabdulgader A, Vainoras A, Navickas Z, Ragulskis M. New approach for visualization of relationships between RR and JT intervals. PLoS One 2017;12:e0174279.
- Borg GA V. Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign, IL: Human Kinetics; 1998.
- Green HJ. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. J Sports Sci 1997;15:247-56.
- Romero SA, Minson CT, Halliwill JR. The cardiovascular system after exercise. J Appl Physiol 2017;122:925-32.
- Bartels R, Prodel E, Laterza MC, de Lima JRP, Pecanha T. Heart rate recovery fast-to-slow phase transition: Influence of physical fitness and exercise intensity. Ann Noninvasive Electrocardiol 2018;23:e12521.
- Esco MR, Flatt AA. Ultra-short-term heart rate variability indexes at rest and post-exercise in athletes: evaluating the agreement with accepted recommendations. J Sports Sci Med 2014;13:535-41.
- Pereira LA, Flatt AA, Ramirez-Campillo R, Loturco I, Nakamura FY. Assessing Shortened Field-Based Heart-Rate-Variability Data Acquisition in Team-Sport Athletes. Int J Sports Physiol Perform 2016;11:154-8.
- Sarma JS, Venkataraman SK, Samant DR, Gadgil U. Hysteresis in the human RR-QT relationship during exercise and recovery. Pacing Clin Electrophysiol 1987;10:485-91.
- Hnatkova K, Johannessen L, Vicente J, Malik M. Heart rate dependency of JT interval sections. J Electrocardiol 2017;50:814-24.
- Lahiri MK, Chicos A, Bergner D, Ng J, Banthia S, Wang NC, et al. Recovery of heart rate variability and ventricular repolarization indices following exercise. Ann Noninvasive Electrocardiol 2012;349-60.
- Daniel J, Pelchovitz, Jason Ng, Alexandru B. Chicos, Daniel W. Bergner and JIG author. QT-RR hysteresis is caused by differential autonomic states during exercise and recovery. Am J Physiol Hear Circ Physiol. 2012;302:2567-2573.
- Poderys J, Buliuolis A, Poderyte K, Sadzeviciene R. Mobilization of cardiovascular function during the constant-load and all-out exercise tests. Med 2005;41:1048-53.
- Lambert E V, St. Clair Gibson A, Noakes TD. Complex systems model of fatigue: Integrative homeostatic control of peripheral physiological systems during exercise in humans. Br J Sports Med 2005;52:62.

Conflicts of interest.—The authors certify that there is no conflict of interest with any financial organization regarding the material discussed in the manuscript.

History.—Manuscript accepted: January 27, 2019. - Manuscript received: April 2, 2019.

Širdies ir kraujagyslių sistemos funkciniai rodikliai kaita sveikatos stiprinimo pratybose taikant tradicinę aerobinę bei didelio intensyvumo intervalinius krūvius

Aina Kravčikaitė¹, Deividas Velička², dr. Kristina Poderienė¹
Lietuvos sporto universitetas, Sporto mokslo ir inovacijų institutas¹
Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Sporto institutas²

Santrauka

Problema. Efektyvus širdies ir kraujagyslių sistemos sutrikimų sprendimo būdas yra tinkamas fizinis krūvis. Tyrimo tikslas – nustatyti širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinį rodiklį kaitos ypatybes sveikatos stiprinimo pratybose taikant tradicinę aerobinę arba didelio intensyvumo intervalinius krūvius.

Metodika. Tiriameji (sveiki suaugę nesportuojantys vyrai ($n = 8$)) atliko dvi skirtingas širdies ir kraujagyslių sistemos lavinančias pratybas. Pirmosios pratybos buvo 20 minučių trukmės krūvis minant veloergometro pedalus, t. y. tradicinės aerobinio krūvio pratybos, kai ŠSD padidėjo iki 70 % ŠSD_{Reservo}. Antrųjų pratybų metu tiriamieji atliko vadinamąjį intervalinę ŠKS lavinimo treniruotę, t. y. penkis intensyvaus krūvio kartojimus, tęsiant juos iki kol ŠSD padidėjo iki 80 % ŠSD_{Reservo}, o poilsio intervalus tarp kartojimų tęsiant iki tol, kol ŠSD atsigaudavo iki 35 % ŠSD_{Reservo}. Visų pratybų metu nepertraukiamai buvo registruojama EKG ir AKS matuojamas po kiekvieno krūvio ir antrosios atsigavimo minutės pabaigoje. Vertinant tyrimų rezultatus kompiuterinė EKG analizės programa pateikdavo ŠSD, RR intervalų, QRS komplekso trukmės reikšmes ir jų kaitą bei dinaminės sąsajos tarp EKG RR intervalo ir QRS komplekso trukmės kaitą. Šių dviejų EKG rodiklių kaitos sąsąją atspindėjo skaičiuojamų diskriminantų kaita.

Rezultatai. Širdies tvinksnų skaičius per intervalinio krūvio pratybas buvo 40 % mažesnis nei tradicinių aerobinių pratybų metu. Tradicinių aerobinių pratybų metu stebimi ŠSD ir AKS kitimai fiziologinės normos ribose, tačiau pratybų pabaigoje buvo stebimas dinaminės sąsajos tarp EKG RR ir QRS silpnėjimas. Pratybose taikant intervalinį treniruotės metodą stebimi mažai kintantis sistolinis ir dideli diastolinio AKS kitimai, kaitaliojantis krūvio ir atsigavimo fazėms. Praėjus 6 min. atsigavimo, po abiejų treniruotėlių buvo stebimi liekamieji fizinio krūvio reiškiniai įvairiose EKG rodikliuose, po intervalinės treniruotės jie buvo statistiškai patikimai didesni ($p < 0,05$).

Išvados: 1. Sveikatos stiprinimo pratybose, taikant intervalinį treniruotės metodą, padidėja ir santykinai mažai kinta sistolinis AKS ir stebimi dideli diastolinio AKS kitimai, kaitaliojantis krūvio ir atsigavimo fazėms. Apie besikaupiantį nuovargį liudija vis trumpėjantis laiko intervalas, kol pasiekama nustatyta ŠSD riba ir ilgėjantis atsigavimas, kol pasiekiamos ŠSD ribos. 2. Nors suminis širdies tvinksnų skaičius per intervalinio krūvio pratybas buvo 40 % mažesnis nei tradicinių aerobinių pratybų metu, tačiau reikšmingai didesnė širdies ir kraujagyslių sistemos mobilizacija krūvio metu ir didesni liekamieji pratybų efektai po krūvio gali paaiškinti stiprų treniruojamąjį intervalinio treniruotės metodo poveikį besimankštinančiojo organizmui.

Raktažodžiai: širdies ir kraujagyslių sistema, intervalinis treniruotės metodas.

Įvadas

Širdies ir kraujagyslių sistemos (ŠKS) ligos yra vienos dažniausių mirties priežasčių. Dėl išeminių širdies ligų pasaulyje kasmet miršta 3,8 mln. vyrų ir 3,4 mln. moterų (World Health Statistics, 2010). Pagrindinė mirtinumo Lietuvoje priežastis yra širdies ir kraujagyslių sistemos ligos, kurios sudaro 56 % visų mirties atvejų. Mirtingumas Lietuvoje dėl ŠKS ligų yra dvigubai didesnis nei kitose Europos Sąjungos šalyse (Higienos instituto Sveikatos informacijos centras, 2014). Dažnai pacientai turi gretutinių širdies ligų arba silpną širdies ir kraujagyslių sistemą. Vienas dažniausių ŠKS sutrikimų yra išeminė širdies liga, kuria sergant asmenų aerobinis

pajėgumas yra sumažėjęs, todėl vienas efektyviausių sprendimo būdų yra fizinis krūvis (Lietava et al., 2012).

Efektyvus širdies ir kraujagyslių sistemos sutrikimų sprendimo būdas yra tinkamas fizinis krūvis (Buliulis, 2006; Lloyd-Jones et al., 2010; Hussain, Macaluso, Pearson, 2016). Fizinio krūvio dozavimas bei parinkimas yra labai svarbus norint efektyviai treniruoti širdies ir kraujagyslių sistemą. Gerai žinoma, kad aerobinio darbingumo lavinimo pratybos didina ŠKS funkcines galimybes, gerina gyvenimo kokybę, lėtina senėjimo procesus (Hamer, Oliveir, Demakakos, 2014; Hussain et al., 2016). Pastaruoju metu vis dažniau siūloma sveikatinimo pratybose

taikyti intensyviais intervaliniu treniruotės metodu atliekamas užduotis, kurios susideda iš trumpų didelio intensyvumo krūvių ir poilsio pertraukų tarp jų (Hussain et al., 2016; Astorino et al., 2017; Bluher et al., 2017). Mokslinėje literatūroje yra daug publikacijų, pateikiančių tyrimų rezultatus apie didelio intensyvumo intervalinio treniruotės metodo (angl. *high intensity interval training*) poveikį organizmui (Gibala, Little, Macdonald, Hawley, 2012; Racil et al., 2016; Herbert, Hayes, Sculthorpe, Grace, 2017; Astorino et al., 2017; Bluher et al., 2017). Nustatyta, kad tokios intervalinės treniruotės teigiamai veikia kairiojo skilvelio geometrijos pokyčius, pagerina fizinį pajėgumą, padidina norą tęsti treniruotes namuose (Lalande et al., 2010). Kai kurie autoriai siūlo taikyti šį intervalinės treniruotės metodą kardiologinių pacientų reabilitacijos procese (Nilsson, Westheim, 2008; Romero, Minson, Halliwill, 2017), nors tai dar nėra labai plačiai ištirta. Todėl detaliau pažinti širdies ir kraujagyslių sistemos ypatybes, atliekant intervalines treniruotes, yra aktualus mokslinis ir praktinis klausimas. Šio tyrimo tikslas – nustatyti širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinį rodiklį kaitos ypatybes sveikatos stiprinimo pratybose taikant tradicinį aerobinį bei didelio intensyvumo intervalinius krūvius.

Tyrimo metodai

Tyrimo dalyvavo 8 sveiki nesportuojantys 28,4 ± 4,6 metų amžiaus vyrai (ūgis – 1,81 ± 0,05 m, kūno masė – 84,5 ± 11,4 kg, KMI – 25,7 ± 4,2), kurie buvo tiriami du kartus, t. y. 20 min. trukmės sveikatinimo pratybose atliko tradicinę aerobinio krūvio, arba intervaliniu treniruotės metodu grindžiamus krūvius. Tarp pratybų buvo ne mažesnis nei 72 valandų intervalas.

Pirmąją tradicinę aerobinio krūvio ŠKS lavinimo užduotį sudarė 20 minučių tolygus krūvis minant veloergometro pedalus, kai ŠSD padidėdavo iki 70 % ŠSD_{Rezervo}. Visų pratybų metu pasitelkiant kompiuterinę elektrokardiogramos (EKG) registravimo ir analizės sistemą „Kaunas-krūvis“ buvo nepertraukiamai registruojama 12 standartinių derivacijų EKG ir kas dvi minutes matuojamas arterinis kraujo spaudimas (AKS). Antrojo tyrimo metu tiriamieji atliko vadinamąją intervalinę ŠKS lavinimo treniruotę, t. y. penkis intensyvaus krūvio kartojimus tęsiant juos iki kol ŠSD padidėdavo iki 80 % ŠSD_{Rezervo}, o poilsio intervalus tarp kartojimų tęsiant iki tol, kol ŠSD atsigadavo iki 35 % ŠSD_{Rezervo}.

Visų pratybų metu nepertraukiamai buvo registruojama EKG ir AKS matuojamas po kiekvieno krūvio ir antrosios atsigavimo minutės pabaigoje.

Vertinant gautus tyrimų rezultatus kompiuterinė EKG analizės programa pateikdavo ŠSD, RR intervalų, QRS komplekso trukmės reikšmes ir jų kaitą bei dinaminės sąsajos tarp EKG RR intervalo ir QRS komplekso trukmės kaitą. Šių dviejų EKG rodiklių kitimo sąsają atspindėjo diskriminanto reikšmės, apskaičiuojamos pagal Lietuvos mokslininkų pasiūlytą metodiką (Vainoras, Ašeriškytė, Poderys, Navickas, 2005; Navickas, Bikulčienė, 2008; Poderys, Venskaitytė, Poderienė, Buliuolis, Vainoras, 2010).

$$Dsk = ((xn - yn) \cdot 2 + 4((xn - 1 - yn - 1) \cdot (xn + 1 - yn + 1)))$$

Taip pat buvo skaičiuojama diskriminanto atsigavimas baigus pratybas pagal anglų mokslininkų (Lewis, Kingsley, 2002) pasiūlytą formulę:

$$\text{Atsigavimas (\%)} = \frac{(\text{maks} - \text{atsigavimo}) \cdot 100}{(\text{maks} - \text{prieš})}$$

čia: maks – didžiausioji rodiklio reikšmė, užregistruota krūvio metu;

atsigavimo – rodiklio reikšmė, praėjus 6 min. po krūvio;

prieš – rodiklio reikšmė prieš krūvį.

Gauti tyrimų duomenų statistiniai rodikliai buvo skaičiuojami naudojant kompiuterinę programą MS Excel. Buvo skaičiuojami rodiklių vidurkiai, vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai. Vidurkių skirtumo patikimumui įvertinti buvo skaičiuojamas Sjudento (angl. *Student*) kriterijus. Pasirinktas 95 % patikimumo lygmuo, t. y. vidurkiai laikyti statistiškai patikimai skirtingai, kai $p < 0,05$.

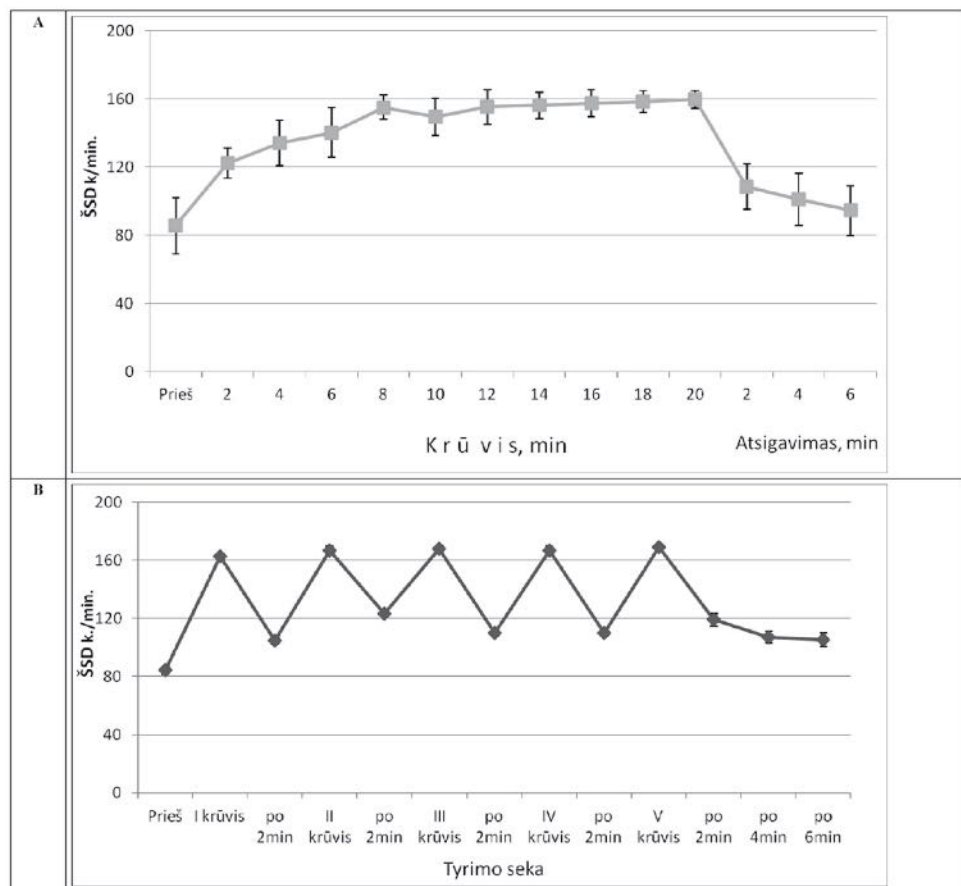
Tyrimo rezultatai

1 pav. (A) parodyta, kaip kito tiriamųjų ŠSD treniruotės metu. Ramybės būsenos vidutinis tirtų vyrų ŠSD vidutiniškai buvo 85,7 ± 16,4 tvinksnis per minutę. Pradėjus krūvį, ŠSD kilo ir iki 12 minutės daugumai tiriamųjų pasiekė stabilią reikšmę, kuri išliko likusios treniruotės metu – vidutiniškai 155,2 ± 10,2 k./min. Kai kuriems tiriamiesiems ŠSD didėjo visos treniruotės metu, dėl to stebime bendrą grupės ŠSD vidurkio didėjimą iki pat treniruotės pabaigos ir jis pasiekė vidutiniškai 159,6 ± 5,1 k./min. Baigus treni-

ruotę buvo stebimas 6 min laikotarpio atsigavimas, kurio metu ŠSD sumažėjo iki $94,5 \pm 14,4$ k./min., tačiau pradinių reikšmių nepasiekė, tai rodo, jog per 6 minutes tiriamieji visiškai neatsigavo.

1 pav. B dalyje pateikta ŠSD kitimas atliekant intervalinio pobūdžio krūvius. ŠSD ramybės būsenos vidutiniškai buvo $84,3 \pm 6,6$ k./min., pagreitėjimų metu padidėdavo nuo $162,4 \pm 3,7$ iki $168,9 \pm 4,3$ k./min., o poilsio metu sumažėdavo iki $105,0 \pm 6,5$ – $123,1 \pm 25,7$ k./min. Per šešias atsigavimo minutes po visų penkių krūvio kartojimų ŠSD sumažėjo iki $105,4 \pm 12,5$ k./min. ir tai liudijo, kad atsigavimo procesai tebevyko.

2 pav. (A) pavaizduota, kaip kito AKS tradicinės širdies ir kraujagyslių sistemos lavinimo treniruotės metu. Ramybės būsenos AKS vidutiniškai buvo: sistolinis $125,0 \pm 5,6$ mmHg, diastolinis $78,1 \pm 7,8$ mmHg. Sistolinis kraujo spaudimas didėjo iki 10 minutės (vidutiniškai $174,3 \pm 10,4$ mmHg) ir toliau tęsiant krūvį nepakilo už šios santykinės stabiliosios būklės ribų. Diastolinis AKS mažėjimas tęsėsi iki 14 min. (vidutiniškai buvo $28,8 \pm 18,3$ mmHg) ir likusią pratybų dalį išliko šiose ribose. Po 6 minučių atsigavimo AKS atsigavo iki pradinių reikšmių (sistolinis – $126,0 \pm 3,4$ mmHg, diastolinis vidutiniškai buvo $76,0 \pm 6,7$ mmHg).

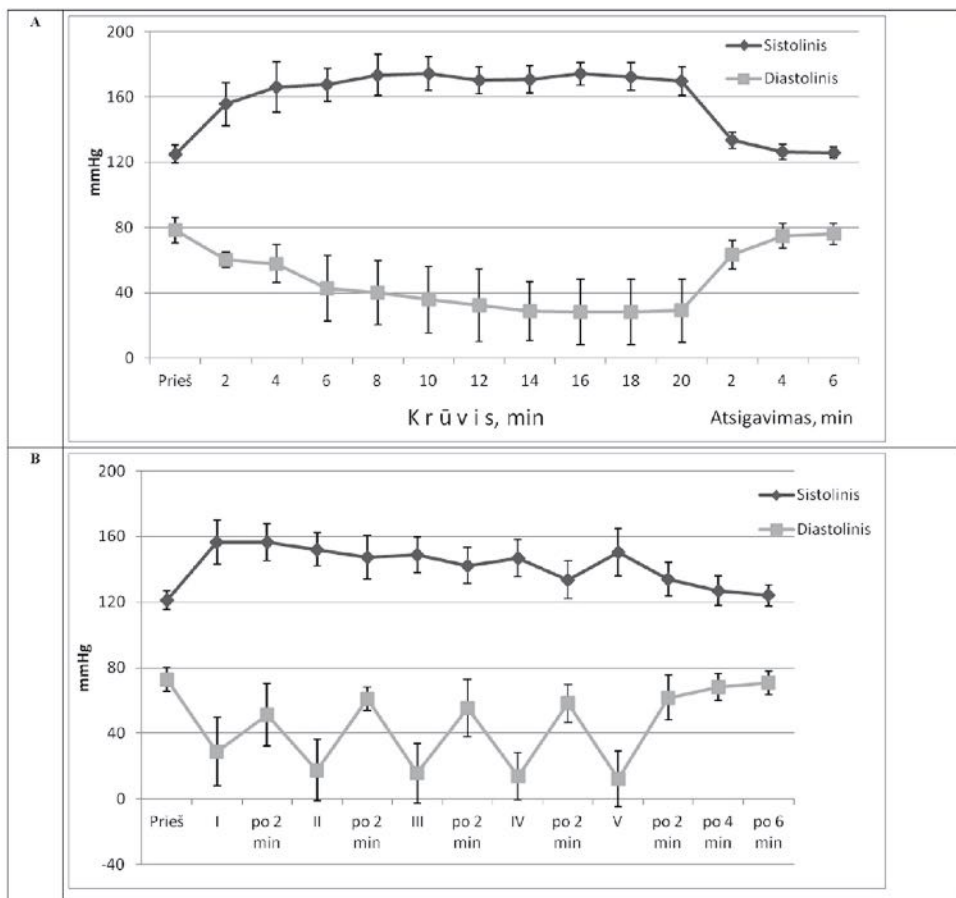


1 pav. ŠSD kaita pratybose taikant tradicinį (A) ir intervalinį (B) treniruotės metodus

2 pav. B dalyje pavaizduota AKS kaita, kai pratybose buvo taikytas intervalinis krūvio metodas. Didžiausias AKS didėjimas buvo atliekant pirmuosius krūvio kartojimus, kai sistolinis AKS padidėjo iki $156,5 \pm 13,4$ mmHg, ir diastolinis AKS – iki $28,8 \pm 20,8$ mmHg.

2 pav. pavaizduotos AKS kaitos kreivės vaizdžiai liudija apie sistolinio ir diastolinio AKS kaitos

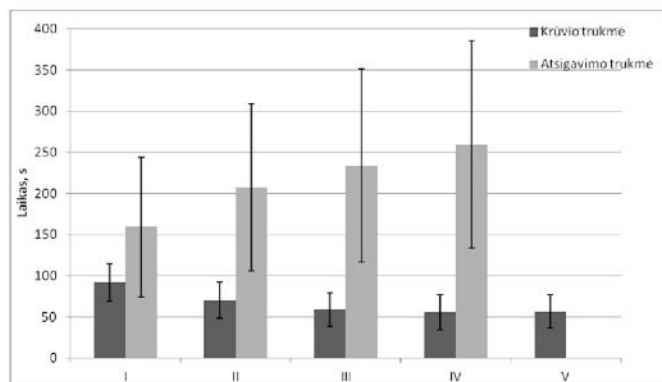
skirtumus, atliekant intervalinio pobūdžio krūvius. Buvo stebimi santykinai dideli diastolinio AKS svyravimai, kai sistolinio AKS padidėjimai ir sumažėjimai keičiantis krūvio ir atsigavimo fazėms buvo nedideli. Baigus penktąjį krūvio kartojimą, AKS reikšmės per 6 min. atsigavo iki pradinių reikšmių, registruotų prieš pratybas (sistolinis – iki $124,0 \pm 6,6$ mmHg, diastolinis – iki $70,8 \pm 7,2$ mmHg).



2 pav. AKS kaita pratybose taikant tradicinį (A) ir intervalinį (B) treniruotės metodus

3 pav. pateikta krūvio ir atsigavimo trukmės kaita. Intervalinio krūvio užduotį tiriamieji nutraukdavo, kai $\dot{V}SD$ padidėdavo iki 80 % $\dot{V}SD_{Rezervo}$ ir tai mūsų tyrime vidutiniškai užtrukdavo nuo $91,8 \pm 22,8$ iki $55,7 \pm 21,1$ s. Buvo išreikšta tendencija trumpėti laiko tarpui, kad $\dot{V}SD$ padidėtų iki nu-

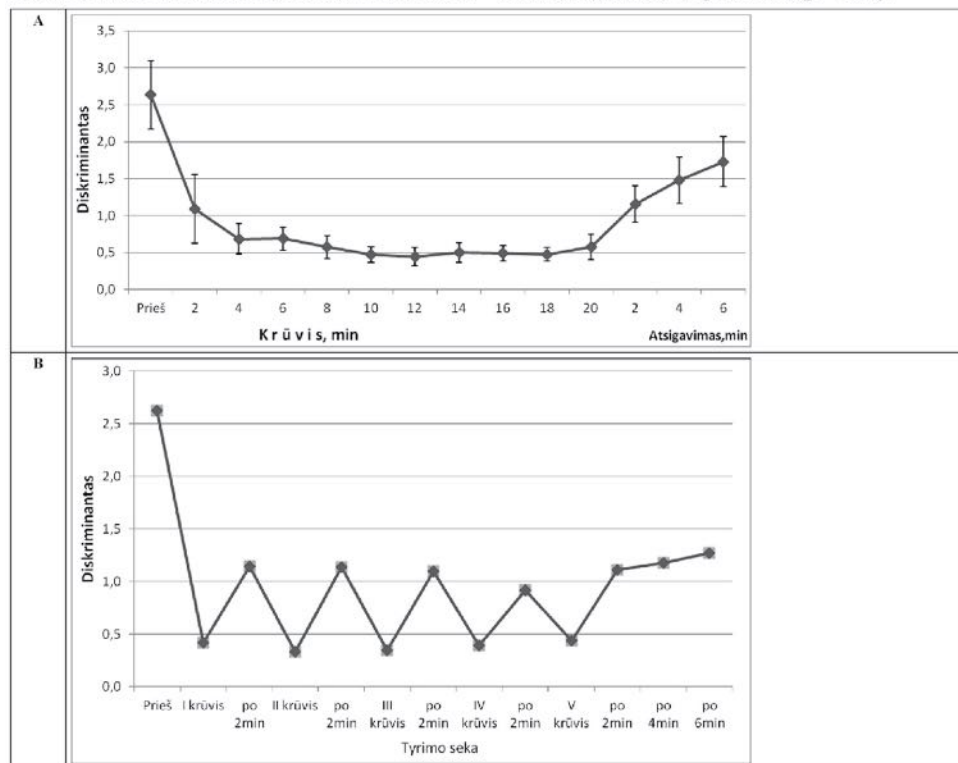
statytos ribos, ir tendencija ilgeti atsigavimo laikui, t. y. kol $\dot{V}SD$ sumažėdavo iki 35 % $\dot{V}SD_{Rezervo}$. Jeigu po pirmojo krūvio kartojimo tai buvo $159,1 \pm 84,7$ s, tai po ketvirtito kartojimo – $259,3 \pm 125,7$ s. Taigi atsigavimas po kiekvieno tolesnio krūvio buvo vis ilgesnis.



3 pav. Krūvio ir atsigavimo trukmės kaita pratybose atliekant intervalinio pobūdžio krūvius

Tiriamiesiems atliekant 20 min. trukmės aerobinio krūvio pratybas suminis širdies tvinksnų skaičius buvo vidutiniškai $2\,976 \pm 193$, o intervalinės ŠKS lavinimo treniruotės metu suminis širdies

tvinksnų skaičius buvo mažesnis net 40 % ir vidutiniškai sudarė $1\,795 \pm 311$. Skirtumas tarp suminio širdies tvinksnų skaičiaus skirtingų treniruočių metu buvo statistiškai patikimas ($p < 0,05$).



4 pav. Sąsajos tarp elektrokardiogramos RR intervalo ir QRS komplekso trukmės kaitos pratybose taikant tradicinį (A) ir intervalinį (B) treniruočių metodus

4 pav. pateikta diskriminanto tarp EKG RR intervalo ir QRS komplekso trukmės ($\text{Disk}_{(\text{RR-QRS})}$) kaita. Lyginant $\text{Disk}_{(\text{RR-QRS})}$ tradicinės ir intervalinės treniruotės metu pastebėjome, kad ramybės būsenos prieš abi treniruotes $\text{Disk}_{(\text{RR-QRS})}$ reikšmės prieš tradicinės aerobinio krūvio pratybas vidutiniškai buvo $2,63 \pm 0,46$ ir prieš intervalinę treniruotę vidutiniškai $2,62 \pm 0,55$.

Pradėjus krūvį $\text{Disk}_{(\text{RR-QRS})}$ mažėdavo atliekant tiek aerobinio, tiek intervalinio pobūdžio krūvius. Atsigravimo tarp krūvio kartojimų metu ir atsigravimo baigus pratybų krūvius $\text{Disk}_{(\text{RR-QRS})}$ reikšmės didėdavo, tačiau niekada nebuvo atsigravimo iki pradinių reikšmių. Lyginant šio rodiklio didėjimą (atsigravimą) po pratybų radome, kad per 6 atsigravimo minutes $\text{Disk}_{(\text{RR-QRS})}$ po aerobinio krūvio pratybų atsigravo $58,7 \pm 2,7$ % ir po intervalinio pobūdžio krūvių – tik $41,1 \pm 3,1$ %. Taigi po krūvio dinaminės sąsajos tarp EKG RR intervalo ir QRS komplekso trukmės sustiprėjimas išlieka ilgiau.

Apitarimas

Lyginant mūsų tyrime užregistruotas ŠSD ir AKS reikšmes ir jų kaitą su kitų tyrėjų duomenimis, galima konstatuoti, kad jie atitiko publikacijose pateikiamas ribas ir stebėti kitimai daugeliu atveju taip pat neperžengė nurodomų ribų (Berškienė, Navickas, Vainoras, 2013; Kwon et al., 2014; Javorka, 2015; Žumbakytė-Šermukšnienė et al., 2017). Tačiau stebėjome, jog įsidirbimo (*funkcijų aktyvėjimo*) fazė iki numatytos 70 % ŠSD_{Rezervo} ribos užtrukdavo ilgesnį laiką, nei teigiama kitų autorių tyrimuose (Poderys et al., 2004; Buliuolis, 2006; Žumbakytė-Šermukšnienė et al., 2017). Šis skirtumas gali būti paaiškinamas tuo, jog minėtose publikacijose pateikiami aktyviai sportuojančių asmenų tyrimų duomenys.

Pratybose taikant intervalinę treniruotės metodą buvo stebimi santykinai maži sistolinio AKS ir dideli diastolinio AKS kitimai kaitaliojantis krūvio ir atsigravimo fazėms. Diastolinis AKS krūvio metu drastiškai sumažėdavo, o poilsio metu – padidėdavo. Tokius didelius diastolinio AKS kitimus lemia tai, kad diastolinis AKS yra periferinių kraujagyslių tonuso (*vazokonstrikcijos ir vazodiliatacijos*) kaitos atspindys ir jo kaitos reguliacijai reikšmingą vaidmenį atlieka parasimpatinė nervų sistema (Meneses et al., 2014; Izadi, Ghardashi, Asvadi, Babae, 2018).

Analizuojant literatūrą pavyko rasti tyrimų, kurie teigia, jog ŠSD yra nepakankamai jautrus rodi-

klis ir neatskleidžia ribinių fiziologinių pasikeitimų fizinio krūvio metu (Gulati et al., 2010; Bikulčienė, Navickas, Šmidtaitė, Berškienė, Vainoras, 2011; Berškienė et al., 2013). A. Vainoras ir J. Poderys su kolegomis siūlo fizinio pajėgumo vertinimuose stebėti dviejų rodiklių diskriminanto kaitą, kaip labai jautrų metodą užfiksuoti ir nedideliams pokyčiams (Vainoras, Jaruševičius, Zabiela, Jurkonis, Gargasas, 2014; Poderys, Papievienė, Trinkūnas, Buliuolis, Grūnovas, 2013). Šiame tyrime stebėjome tiriamųjų ŠKS reguliacijos ir laidžiosios širdies sistemos funkcinės būklės sąsajas parodančio RR-QRS diskriminanto kitimus tradicinės širdies ir kraujagyslių sistemos lavinimo pratybų metu. Mūsų tyrime dalyvavusiems tiriamiesiems RR-QRS sąsajos pratybų metu stiprėjo, tai liudija apie organizmo funkcijų didesnį suderinamumą ir mobilizaciją fizinio krūvio metu, tačiau pratybų pabaigoje stebime diskriminanto $\text{D}(\text{RR-QRS})$ vidutinės reikšmės augimą – sąsajų praradimą, o tai liudija, kad dalies tiriamųjų krūvis pasiekė maksimalias sveiko treniravimosi ribas.

Laikoma, kad jeigu skaitmeninė laiko eilutė, arba skaitmeninių laiko eilučių dvejetas, savyje talpina kokią nors informaciją apie tiriamąjį objektą, tai ši informacija gali būti išreiškiama matematinių sąryšių pavidalu (Dahlhaus, Kurths, Maass, Timmer, 2008; Navickas, Bikulčienė, 2008). Mūsų tyrime EKG buvo registruojama nepertraukiamai ir ją analizuojant visų, be išimties, širdies susitraukimų generuojami EKG komplekso parametrai (*RR intervalas*, *QRS komplekso trukmė*) buvo pamatuoti ir toliau analizuojama kaip skaitmeninės laiko eilutės. Toks EKG rodiklių dinaminės sąsajos vertinimas (*diskriminanto kaitos vertinimas*) leidžia tiksliau palyginti pratybų liekamuosius efektus. Fiziniai krūviai aktyvina ilgalaikės adaptacijos mechanizmus, įvairios kūno sistemos ir jų funkcija kinta (Alleman, 2015). Kaip buvo atskleista daugelyje mokslo studijų (Venskaitytė, Poderys, Balaguė, Bikulčienė, 2009; Poderys et al., 2010; Papievienė, 2014), fizinio krūvio pradžioje *Dsk* mažėja (sąsaja stiprėja), o krūviui sunkeįjant ir atsirandant nuovargiui, sąsaja tarp daugelio EKG rodiklių pradeda silpnėti (*Dsk* reikšmės didėja). Priešingai, po krūvio dinaminės sąsajos sustiprėjimo laipsnis liudija apie pratybose sukulto efekto stiprumą (Velička, Poderienė, Kairiūkšienė, Poderys, 2018).

Intervalinės treniruotės metu stebėtas RR intervalo ir QRS komplekso sąsajos stiprėjimas – ŠKS

mobilizacija ir vidinė darna didėjo. Tačiau sąsaja po ketvirtro krūvio kartojimo jau pradėjo silpnėti, palyginti su pirmaisiais krūviais, tai liudija, kad organizmo funkcijų suderinamumas jau pradėjo mažėti. Poilsio intervalų metu diskriminanto padidėjimas po kiekvieno krūvio kartojimo turėjo tendenciją vis mažėti, o tai liudijo apie besikaupiantį nuovargį. Mūsų tyrimo rezultatai patvirtino kitų mokslininkų teiginius, kad ŠSD nėra tiksliausias ŠKS sistemos funkcinės būklės kaitos rodiklis, jis neatspindi vidinės organizmo darnos (Berškienė et al., 2013; Vainoras et al., 2014; Velička et al., 2018). Taigi, šio tyrimo rezultatai patvirtino kitų tyrėjų tvirtinimus, kad EKG rodiklių sąsajos kaitos vertinimas teikia kokybiškai naują informaciją apie tiriamojo funkcinę būklę, leidžia vertinti fiziologinių rodiklių sąsajų kaitą, atskleisti funkcinės būsenos kaitos ypatybes.

Intervalinio krūvio metu tiriamiesiems pasiekiant 80 % ŠSD_{Rezervo} ribą matoma tendencija trumpėti laiko tarpasniui, kad ŠSD padidėtų iki nustatytos ribos. ŠSD atsigavimas truko, kol pasiekdavo 35 % ŠSD_{Rezervo} ribą, ir vėl matoma stipri tendencija, kad atsigavimas po kiekvieno tolesnio krūvio buvo vis ilgesnis. Tai liudija apie besikaupiantį nuovargį po kiekvieno atlikto krūvio. Praėjus 6 min. atsigavimo po abiejų treniruočių, buvo stebimi liekamieji fizinio krūvio reiškiniai įvairiuose EKG rodikliuose. Tačiau stebime, jog po intervalinio metodo pratybų jie buvo reikšmingai didesni nei po tradicinių pratybų.

Aptariant gautus tyrimų rezultatus, reikia pažymėti ir tai, kad širdies tvinksnų suma per pratybas reikšmingai skyrėsi, t. y. aerobinio krūvio pratybose ji buvo didesnė nei tuomet, kai pratybose buvo taikytas intervalinis treniruotės metodas. Šis rodiklis, kaip teigiama literatūros šaltiniuose (Javorka, 2015; Kwon et al., 2014), atspindi biologinę atlikto krūvio vertę. Taigi, pratybose taikant intervalinį treniruotės metodą, biologinė krūvio vertė buvo mažesnė nei aerobinio krūvio pratybose.

Žinoma, kad būtent liekamasis krūvio efektas ir nulemia ilgalaikės adaptacijos efektus (Hanssen et al., 2017; Wisloff, Stoylen, Loennechen, 2007). Šio tyrimo rezultatai parodė, kad taikant intervalinį treniruotės metodą po krūvio buvo reikšmingai didesni liekamieji efektai nei po tradicinio aerobinio krūvio. Manome, kad būtent tai gali paaiškinti stiprų treniruojamąjį intervalinio treniruotės metodo poveikį besimankštinančiojo organizmui, nepaisant reikšmingai mažesnės biologinės krūvio vertės.

Išvados

1. Sveikatos stiprinimo pratybose, taikant intervalinį treniruotės metodą, padidėja ir santykinai mažai kinta sistolinis AKS ir stebimi dideli diastolinio AKS kitimai kaitaliojantis krūvio ir atsigavimo fazėms. Apie besikaupiantį nuovargį liudija vis trumpėjantis laiko intervalas iki pasiekiamo nustatyto ŠSD riba ir ilgėjantis atsigavimas iki nustatytos ŠSD ribos.

2. Nors suminis širdies tvinksnų skaičius per intervalinio krūvio pratybas buvo 40 % mažesnis nei tradicinių aerobinių pratybų metu, tačiau reikšmingai didesnė širdies ir kraujagyslių sistemos mobilizacija krūvio metu ir didesni liekamieji pratybų efektai po krūvio gali paaiškinti stiprų treniruojamąjį intervalinio treniruotės metodo poveikį besimankštinančiojo organizmui.

LITERATŪRA

1. Alleman, R. J., Stewart, L. M., Tsang, A. M., Brown, D. A. (2015). Why does exercise “trigger” adaptive protective responses in the heart? *Dose Response*, 13(1).
2. Astorino, T. A., Edmunds, R. M., Clark, A., King, L., Gallant, R. A., Namm, S., et al. (2017). High-intensity interval training increases cardiac output and $\dot{V}O_{2\max}$. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(2), 265–273.
3. Berškienė, K., Navickas, Z., Vainoras, A. (2013). Heart rate complexity changes during bicycle ergometry (p. 612). *18th Annual Congress of the European College of Sport Science: Book of Abstracts*.
4. Bikulčienė, L., Navickas, Z., Šmidtaitė, R., Berškienė, K., Vainoras, A. (2011). The Measure of ECG complexity by matrix analysis (selected from cema'10 conference). *The Journal of Applied Electromagnetism*, 13(1), 1–9.
5. Blüher, S., Kapplinger, J., Herget, S., Reichardt, S., Bottcher, Y., Grimm, A., et al. (2017). Cardiometabolic risk markers, adipocyte fatty acid binding protein (aFABP) and the impact of high-intensity interval training (HIIT) in obese adolescents. *Metabolism*, 68, 77–87.
6. Buliuolis, A. (2006). *Širdies ir kraujagyslių sistemos funkcijos mobilizacijos ir atsigavimo ypatybės atliekant anaerobinius krūvius. Daktaro disertacija*. Kaunas: LKKA.
7. Dahlhaus, R., Kurths, J., Maass, P., Timmer, J. (2008). *Mathematical methods in time series analysis and digital image processing* (Understanding complex systems series). Springer – Verlag.
8. Gibala, M. J., Little, J. P., Macdonald, M. J., Hawley, J. A. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal of Physiology*, 590(5), 1 077–1 084.
9. Gulati, M., Shaw, L. J., Thisted, R. A., Black, H. R., Bairey Merz, C. N., Arnsdorf, M. F. (2010). Heart rate response to exercise stress testing in asymptomatic women: the St. James women take heart project. *Circulation*, 122, 130–137. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.939249

10. Hamer, M., de Oliveira, C., Demakakos, P. (2014). Non-exercise physical activity and survival: English longitudinal study of ageing. *American Journal of Preventive Medicine*, 47(4), 452–460. doi: 10.1016/j.amepre.2014.05.044
11. Hanssen, H., Minghetti, A., Magon, S., Rossmeissl, A., Papadopoulou, A., ... Donath, L. (2017). Superior effects of high-intensity interval training vs. moderate continuous training on arterial stiffness in episodic migraine: a randomized controlled trial. *Frontiers in Physiology*. doi: 10.3389/fphys.2017.01086
12. Herbert, P., Hayes, L. D., Sculthorpe, N. F., Grace, F. M. (2017). HIIT produces increases in muscle power and free testosterone in male masters athletes. *Endocrine Connections*, 6(7), 430–436.
13. Hristovski, R., Venskaitytė, E., Vainoras, A., Balagué, N., Vazquez, P. (2010). Constraints-controlled metastable dynamics of exercise-induced psychobiological adaptation. *Medicina*, 46(7), 447–53.
14. Hussain, S. R., Macaluso, A., Pearson, S. J. (2016). High-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training in the prevention/management of cardiovascular disease. *Cardiology in Review*, 24(6), 273–281.
15. Izadi, M. R., Ghardashi, A. A., Asvadi, F. M., Babae, M. A. (2018). High-intensity interval training lowers blood pressure and improves apelin and NOx plasma levels in older treated hypertensive individuals. *Journal of Physiology and Chemistry*, 74(1), 47–55. doi: 10.1007/s13105-017-0602-0
16. Javorka, K. (2015). Heart rate and blood pressure control in obesity – how to detect early dysregulation? *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 36(5), 337–345. doi: 10.1111/cpf.12234
17. Kwon, O., Park, S., Kim, Y. J., Min, S. Y., Kim, Y. R., Nam, G. B., et al. (2014). The exercise heart rate profile in master athletes compared to healthy controls. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 36(4), 286–292. doi: 10.1111/cpf.12226
18. Lalonde, S., Okazaki, K., Yamazaki, T., Nose, H., Joyner, M. J., Johnson, B. D. (2010). Effects of interval walking on physical fitness in middle-aged individuals. *Journal of Primary Care and Community Health*, 2(1), 104–110. doi: 10.1177/2150131910363598
19. Lewis, M., Kingsley, M. (2002). Recovery of cardiovascular regulatory balance as a function of rest period between intermittent constant intensity exercise (p. 122). *12th Commonwealth International Sport Conference*.
20. Lietava, J., Vohnout, B., Penz, P., et al. (2012). Relationship of self-reported exercise tolerance with inflammatory markers in women with stable ischemic heart disease. *Neuroendocrinology Letters*, 33(2), 50–54. doi: 10.1111/cpf.12226
21. Lloyd-Jones, D. M., Hong, Y., Labarthe, D., Mozaffarian, D., Appel, L. J., Van Horn, L., et al. (2010). Defining and setting national goals for cardiovascular health promotion and disease reduction: the American Heart Association's strategic Impact Goal through 2020 and beyond. *Circulation*, 121(4), 586–613.
22. Meneses, A. L., Forjaz, C. L., de Lima, P. F., Batista, R. M., Monteiro, M. D., Ritti-Dias, R. M. (2014). Influence of endurance and resistance exercise order on the post-exercise hemodynamic responses in hypertensive women. *Journal of Strength and Conditional Research*, 29(3), 612–618. doi: 10.1519/JSC.0000000000000676
23. Navickas, Z., Bikulčienė, L. (2008). Antros eilės matricų informatyvieji dėstiniai. *Matematika ir matematinis modeliavimas*, 4, 26–33.
24. Nilsson, B. B., Westheim, A. R. M. (2008). Long-term effects of a group-based high-intensity aerobic interval-training program in patients with chronic heart failure. *The American Journal of Cardiology*, 102, 1 220–1 224.
25. Papievičienė V. (2014). *Širdies ir kraujagyslių sistemų funkcinių rodiklių dinaminis sąsajų ypatybės atliekant didėjančią fizinį krūvį iki negalėjimo. Daktaro disertacija*. Kaunas: Lietuvos sporto universitetas.
26. Poderys, J. et al. (2004). *Kineziologijos pagrindai*. Kaunas: KLM leidykla.
27. Poderys, J., Papievičienė, V., Trinkūnas, E., Buliuolis, A., Grūnovas, A. (2013). Dynamics of concatenation between muscular blood flow and functional indices of cardiovascular system in endurance or sprint cohorts during graded exercise stress (p. 97). *6th 21 Baltic Scientific Conference „Sport Science for Sustainable Society“* [elektroninis išteklius]: Abstracts. Latvia: Riga.
28. Poderys, J., Venskaitytė, E., Poderienė, K., Buliuolis, A., Vainoras, A. (2010). Functional state assessment on the dynamics of interparametric concatenations during exercise tests. *Medicina*, 46(6), 429–434.
29. Racil, G., Zouhal, H., Elmontassar, W., Ben Abderrahmane, A., De Sousa, M. V., Chamari, K., et al. (2016). Plyometric exercise combined with high-intensity interval training improves metabolic abnormalities in young obese females more so than interval training alone. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 41(1), 103–109.
30. Rickards, C. A., Ryan, K. L., Convertino, V. A. (2010). Characterization of common measures of heart period variability in healthy human subjects: implications for patient monitoring. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 24, 61–70.
31. Romero, S. A., Minson, C. T., Halliwill, J. R. (2017). The cardiovascular system after exercise. *Journal of Applied Physiology*, 122(4), 925–932.
32. Vainoras, A., Ašeriškytė, D., Poderys, J., Navickas, Z. (2005). Fractal dimensions in evaluation in heart function parameters during physical investigations. *Education, Physical Training, Sport*, 3(57), 61–66.
33. Vainoras, A., Jaruševičius, G., Zabiela, V., Jurkonis, V., Gargasas, L. (2014). Assessment of the dynamics of ECG parameters interactions during invasive procedures (p. 27–30). *Biomedical Engineering 2014: Proceedings of the 18th International Conference*. Kaunas: KTU.
34. Velička, D., Poderienė, K., Kairūkštie, Ž., Poderys, J. (2018). Diferencinių mokymo metodų grindžiamų aerobinio krūvio pratybų poveikis širdies ir kraujagyslių sistemų funkcinei būklei. *Sporto mokslas*, 1(91), 31–38.
35. Venskaitytė, E., Poderys, J., Balagué, N., Bikulčienė, L. (2009). assessment of dynamics of inter-parameter concatenation during exercise tests. *Electronics and Electrical Engineering*, 6(94), 89–92.

36. Žumbakytė-Šermukšienė, R., Poderys, J., Kajėnienė, A., Mauricėnė, V., Vainoras, A., Poderienė, K. (2017). *Sporto medicinos pagrindai*. Kaunas: Vitae Litera.
37. Wisloff, U., Stoylen, A., Loennechen, J. P. (2007). Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation*, 115(24), 3 086–3 094.
38. *World Health Statistics*. (2010). World Health Organization. Prieiga per internetą: http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/EN_WHS10_Full.pdf.
39. Quarteroni, A., Formaggia, L., Veneziani, A. (2006). *Complex Systems in Biomedicine*. Springer.

THE EFFECTS OF INTERVAL TRAINING AND TRADITIONAL ENDURANCE TRAINING ON CARDIOVASCULAR SYSTEM

Aina Kravčikaitė¹, Deividas Velička², Dr. Kristina Poderienė¹

Lithuanian Sports University, Institute of Sport Science and Innovations¹

Lithuanian University of Health Sciences, Institute of Sports²

SUMMARY

The problem. Exercising and physical activity is an effective way to protect cardiovascular disorders and to promote cardiac functionality. The aim of this study was to identify the features of mobilization of cardiovascular system during the health exercising while the conventional aerobic type of exercising or the high intensity interval exercising is applied.

Methods. The subjects (healthy adult non-athletes men, $n = 8$) performed two different exercise sessions. The first exercise session was the 20-minutes exercising with a throttle pedometer, i.e. the traditional aerobic exercise, when the HR increased to 70% of the $HR_{Reserve}$. During the second session the subjects performed so-called high intensity interval training, i.e. five intensive bouts, continuing with them until the HR increased up to 80% of the $HR_{Reserve}$, while the rest intervals continued between bouts was until the HR recovered up to 35% of $HR_{Reserve}$. During all exercises, 12-leads of ECG were continuously recorded. The ECG analysis program evaluated the results of the research by providing the values of HRD, RR intervals, QRS complex duration and their changes, and the dynamical interaction between RR interval and QRS complex duration.

Results. The total number of heartbeats during interval type of exercising session was 40 percent lower than during traditional aerobic exercising. During traditional aerobic exercising, the changes in HR was within the physiological norms and at the end of exercising the dynamic interaction between the RR intervals and QRS complex duration became weaker. During exercising in interval training mode the steep changes in diastolic ABP as reaction to exercise bouts and recovery phases was observed. The residual effects was followed 6 minutes after both exercising types in different ECG parameters, but after the interval training session they were statistically significantly stronger ($p < 0.05$).

Conclusions: 1. Under the influence of the interval type of training the variation of systolic ABP was relatively small but the significant changes in diastolic ABP changes occurs during the load and recovery phases. The accumulation of fatigue is evidenced by the ever-shorter time interval until the target HR threshold is reached and the expanding of recovery time until HR reaches the limit of the HR. 2. Total number of cardiac beats during the interval exercise is approximately 40% lower than during traditional aerobic exercising session but significantly higher cardiovascular mobilization during exercising and greater residual exercise-induced changes can explain the strong effect of the interval training method.

Keywords: cardiovascular system, high intensity interval training.

Aina Kravčikaitė
Tvirtovės al. 6, Kaunas
Mob. tel. +370 679 30964
El. p. a.kravcikaite@gmail.com

Gauta 2018-06-25
Patvirtinta 2018-12-10

Diferenciniu mokymo metodu grindžiamų aerobinio krūvio pratybų poveikis širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinėi būklei

Deividas Velička¹, dr. Kristina Poderienė², Živilė Kairiūkštienė², prof. habil. dr. Jonas Poderys²
Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Sporto institutas¹
Lietuvos sporto universitetas, Sporto mokslo ir inovacijų institutas²

Santrauka

Optimalių ir galimai efektyvesnių mankštinimosi metodų paieška ir tyrinėjimai išlieka aktuali šių dienų problema. Žinoma, kad fizinių pratimų taikymas turi būti individualus, kad nerekomenduotini išskirtinai didelio intensyvumo, didelės įtampos reikalaujantys pratimai, ypač tuomet, kai žmogus po ilgesnės pertraukos vėl nusprendžia mankštintis. Šio darbo tikslas – remiantis nauju funkcinio rodiklių kaitos sąsąjį vertinimo metodu (algebriniu duomenų kointegracijos metodu) palyginti širdies ir kraujagyslių sistemos (ŠKS) funkcinės būklės atsigrąvimo po sveikatą stiprinančių pratybų ypatybes, kai pratybose atliekama lengva aerobinio krūvio užduotis ir kai tokio aerobinio krūvio pratybos papildomos diferencinio mokymo (DM) metodu grindžiamomis užduotimis.

Aštuoni savanoriai nesportuojantys vyrai buvo tirti du kartus, t. y. atsitiktinai sudaryta seka, ir dalyvavo dvejose 20 min. trukmės fizinio krūvio pratybose su trijų dienų pertrauka tarp jų. Tai buvo santykinai lengvas (25 W) krūvis, minant велоergometro pedalus 60 aps./min. dažniu. Vieno tyrimo uždavinys buvo nustatyti aerobinio krūvio, kito – DM metodo užduotimis papildytų pratybų įtaką EKG rodiklių dinaminį sąsąjį kaitai. Per pastarąsias pratybas tiriamajam minant велоergometro pedalus protarpiais buvo paprašoma atlikti nesudėtingas, bet koordinacinių pastangų reikalaujančias užduotis, o kiekviena tolesnė užduotis buvo vis nauja prieš tai buvusios užduoties variacija. Tiriamųjų ŠKS funkcinės būklės vertinimas buvo atliekamas prieš pratybas, praėjus 5 min. ir 30 min. po pratybų.

Funkcinėi būklei įvertinti buvo nepertraukiamai registruojama 12 standartinių derivacijų elektrokardiograma (EKG). Registruojamų rodiklių kaitos ypatybės vertinti buvo panaudojama antros eilės matricių analizė. Algebrinis duomenų kointegracijos metodas buvo taikomas vertinant sąsąjas tarp EKG RR intervalo ir QRS komplekso trukmės bei tarp JT intervalo. Minėti rodikliai buvo pasirinkti kaip atspindintys skirtingus miokardo funkcijos reguliacinius lygmenis bei metabolizmo bruožus.

Palyginus EKG RR intervalo (ŠSD), JT intervalo bei QRS komplekso trukmę, reikšmingų skirtumų nerasta ($p > 0,05$). Tiek aerobinio krūvio pratybos, tiek pratybos, papildytos DM užduotimis, vienodu laipsniu pakeisdavo registruotų elektrokardiogramos rodiklių reikšmes. Tiek po aerobinio krūvio pratybų, tiek po pratybų, papildytų DM užduotimis, sąsąja tarp EKG QRS komplekso ir JT intervalo buvo reikšmingai sustiprėjusi ($p > 0,05$). Praėjus 30 min. po pratybų buvo konstatuota, kad dinaminės sąsąjos išliko reikšmingai stipresnės, palyginti su pradinėmis jų reikšmėmis, registruotomis prieš pratybas ($p < 0,05$).

Gautų tyrimų rezultatų analizė atskleidė, kad dviejų EKG rodiklių sąsąjį kaitos vertinimas teikia kokybiškai naują informaciją apie tiriamojo funkcinės būklės ypatybes. Algebrinio duomenų kointegracijos metodo pritaikymas, vertinant sportininko organizmo funkcinės būklės kaitą, yra tikslingas, leidžia vertinti fiziologinių rodiklių sąsąjį kaitą, atskleisti naujus funkcinės būsenos kaitos bruožus.

Daroma išvada, kad aerobinio krūvio pratybos, papildytos diferencinio mokymo metodu grindžiamomis užduotimis, efektyviau paveikia širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinę būklę. Krūvio metu sustiprėjusios sąsąjos tarp širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinę būklę atspindinčių rodiklių atsigrąvimo po krūvio metu išlieka stipresnės.

Raktažodžiai: diferencinio mokymo metodas, elektrokardiograma, funkcinė būklė.

Išvada

Sveikatos stiprinimas fiziniais pratimais yra svarbi gyvenimo būdo sudėtinė dalis, turinti didelės reikšmės žmogaus darbingumui. Optimalių ir galimai efektyvesnių mankštinimosi metodų paieška ir tyrinėjimai išlieka aktuali šiuolaikinė problema. Žinoma, kad fizinių pratimų taikymas turi būti individualus, kad nerekomenduotina atlikti išskirtinai

didelio intensyvumo, didelės įtampos reikalaujančių pratimų, ypač tuomet, kai žmogus po ilgesnės pertraukos vėl nusprendžia mankštintis. Vis populiarėjantis ir efektyvus metodas raumenų masei ir jėgai didinti yra Japonijos mokslininkų pasiūlytas metodas, vadinamas „Okliuzinė treniruotė“ (angl. *Occlusion Training*), kai nedidelio intensyvumo prati-

mai atliekami veržiamuoju raiščiu (*manžete*) iš dalies pristabdžius mankštinamų raumenų kraujotaką (Shinohara, Kouzaki, Yoshihisa, Fukunaga, 1998; Renzi, Tanaka, Sugawara, 2010; Yasuda, Loenneke, Ogasawara, Abe, 2013; Loenneke et al., 2015).

Sportinių judesių mokymosi efektyvumui padidinti buvo pasiūlytas diferencinio mokymo (DM) metodas (angl. *Differential Learning*), kurio autorius vokiečių prof. W. Schöllhornas (Beckmann, Schöllhorn, 2006; Beckmann, Winkel, Schöllhorn, 2010). Metodą plėtojo ir kiti tyrėjai, parodydami, kad jis gali būti taikomas ir efektyvesniam fizinių gebėjimų lavinimui (Wagner, Müller, 2008; Beckmann et al., 2010; Henz, Schöllhorn, 2016), fizinės reabilitacijos efektyvumui didinti (Repšaitė, 2015).

DM yra judesių kartojimo metodo alternatyva. Asmuo įvairiais, paties pasirinkamais būdais turi atlikti vis naujas užduotis, ieškodamas optimalaus atlikimo varianto. Teigiama, kad taip mokydamasis asmuo lavina gebėjimą rasti individualiai optimalius atlikimo modelius, greičiau prisitaiko ir prie nuolat kintančių sąlygų. Moksliniai tyrimai patvirtino reikšmingai didesnę šio metodo efektyvumą (Shinohara et al., 1998; Repšaitė, 2015; Henz, Schöllhorn, 2016).

Centrinės nervų sistemos (CNS) aktyvinimas (stimuliacija) prieš jėgos lavinimo pratybas reikšmingai padidina jėgos lavėjimo tempus (Ertuğrul, 2018). Taigi pastarasis ir kiti anksčiau paminėti faktai liudija apie organizmo kompleksškumo ypatybes ir stiprų tiek vidinių, tiek išorinių veiksnių moduluojamąjį poveikį organizmui. Šio darbo hipotezė – papildomos užduotys (*kompleksinių sistemų požiūriu tai – trikdžiai, arba perturbacijos*)

pratybose, atliekant aerobinį krūvį, turėtų stipriau paveikti širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinę būklę. Darbo tikslas – taikant naują funkcinį rodiklių kaitos sąsajų vertinimo metodą (*algebrinis duomenų kointegracijos metodas*) palyginti širdies ir kraujagyslių sistemos (ŠKS) funkcinės būklės atsigavimo po sveiką stiprinančių pratybų ypatybes, kai pratybose atliekama aerobinio krūvio užduotis ir kai tokio aerobinio krūvio pratybos papildomos DM metodu grindžiamomis užduotimis.

Metodika

Aštuoni savanoriai nesportuojantys vyrai (*amžius* – $22,6 \pm 1,1$ m., *tūgis* – $176,0 \pm 2,2$ cm, *kūno masės indeksas* – $26,8 \pm 1,2$), buvo tirti du kartus, t. y. atsitiktinai sudaryta seka, atliko dvi 20 min. trukmės fizinio krūvio pratybas su trijų dienų pertrauka tarp jų. Tai buvo santykinai lengvas (25 W) krūvis, minant veloergometro pedalus 60 aps./min. dažniu. Vieno tyrimo uždavinys buvo nustatyti aerobinio krūvio, kito – DM metodo užduotimis papildytų pratybų įtaką EKG rodiklių dinaminių sąsajų kaitai. Pastarųjų pratybų ypatybė buvo tai, kad tiriamajam minant veloergometro pedalus protarpiais buvo prašoma ranka (*rankomis*) atlikti nesudėtingas, bet koordinacinių pastangų reikalaujančias užduotis, o kiekviena tolesnė užduotis buvo vis nauja prieš tai buvusios užduoties variacija. Tiriamųjų ŠKS funkcinės būklės vertinimas buvo atliekamas prieš pratybas, praėjus 5 min. ir 30 min. po pratybų. Tyrimo organizavimo schema parodyta 1 pav.

Pasinaudojant kompiuterine EKG registravimo ir analizės sistema „Kaunas-krūvis“ keturias minutes buvo nepertraukiamai registruojama 12 standarti-

A – aerobinio krūvio pratybos:



B – pratybos su DM užduotimis:



1 pav. Tyrimo organizavimo schema

nių derivacijų elektrokardiograma. Toks funkcinės būklės vertinimas buvo atliekamas prieš pratybas, praėjus 5 min. ir 30 min. po pratybų. Vertinimui buvo pasirinkti elektrokardiogramos RR ir JT intervalai bei QRS komplekso trukmė. Lietuvos mokslininkų pasiūlytas algebrinis duomenų kointegracijos metodas (Vainoras, Ašeriškytė, Poderys, Navickas, 2005; Navickas, Bikulčienė, 2008; Poderys, Venskaitytė, Poderienė, Buliuolis, Vainoras, 2010) buvo taikomas vertinant analizuojamų EKG rodiklių sąsajas. Minėti rodikliai buvo pasirinkti kaip atspindintys skirtingus miokardo funkcijos reguliacinius lygmenis bei metabolizmo bruožus (Vainoras et al., 2005; Telatavičienė, 2013 ir kt.).

Pagal šią metodiką vertinant dviejų elektrokardiogramos rodiklių sąveiką buvo sudaromos dvi sinchronizuotos skaitmeninės laiko eilutės $(x_n; n = 0, 1, 2, \dots)$ bei $(y_n; n = 0, 1, 2, \dots)$, čia x_n ir y_n yra realūs skaičiai, t. y. elektrokardiogramos pasirinktų rodiklių seka. Siekiant juos palyginti pradiniai duomenys buvo normuojami pagal formulę:

$$x_{\text{normuota reikšmė}} = \frac{x_{\text{sena reikšmė}} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}},$$

čia $x_{\min}$ ir $x_{\max}$ – minimali ir maksimali nagrinėjamo parametro fiziologinė reikšmė.

Turint dvi duomenų sekas $(x_n; n = 0, 1, 2, \dots)$ bei $(y_n; n = 0, 1, 2, \dots)$ iš jų buvo sudaroma matricinė laiko eilutė $(A_n; n = 0, 1, 2, \dots)$. Čia $A_n := \begin{bmatrix} a_n & b_n \\ c_n & d_n \end{bmatrix}$; o koeficientai a_n, b_n, c_n, d_n sudaromi taip: $a_n := x_n$, $d_n := y_n$, $b_n := \alpha(x_{n-1} - y_{n-1})$, $c_n := \beta(x_{n+1} - y_{n+1})$, kai parametrai α, β yra parenkami priklausomai nuo laiko eilučių $(x_n; n = 0, 1, 2, \dots)$ ir $(y_n; n = 0, 1, 2, \dots)$ ypatumų. Ryšį tarp dviejų sekų geriausiai apibūdina $dsk A_n = (dfr A_n)^2 + 4 cdp A_n$ (diskriminantas).

Vertinant tyrimu gautus rezultatus svarbu pažymėti tai, kad matricų analizės teorijoje išskiriamos dvi svarbios matricų rūšys. Matrica I yra vadinama idempotentu (*pastovios galios matrica*), jeigu $I^2 = I$, o matricą N – nulpotentu (*matrica, netenkančia galios*), jeigu $N^2 = 0$, kai $0 := \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$. Jeigu matricą A_n diskriminantai artėja prie nulio, tai matricos A_n iš idempotentinių matricų virsta nulpotentinėmis, tai rodo, kad duotosios dvi duomenų se-

kos $(x_n; n = 0, 1, 2, \dots)$ ir $(y_n; n = 0, 1, 2, \dots)$ panašėja, mažėja jų individualus informatyvumas, o tai reiškia, kad jos aprašo vis labiau sąveikaujančią dviejų procesus generuojančių subjektų sistemą. Taigi diskriminanto (Dsk) mažėjimas atspindi sąsajos stiprėjimą ir atvirkščiai, Dsk reikšmių didėjimas – sąsajos silpnėjimą.

Rezultatai

Lyginant mūsų registruotų elektrokardiogramos rodiklių kaitos ypatybes, atliekant aerobinio pobūdžio krūvį su krūviu, kurį sudarė toks pat aerobinis krūvis, bet papildytas DM užduotimis, rasta, kad reikšmingų skirtumų ($p > 0,05$) lyginant RR intervalo (ŠSD), JT intervalo bei QRS komplekso trukmės nebuvo. Tiek aerobinio krūvio pratybos, tiek pratybos, papildytos DM užduotimis, vienodu laipsniu pakeisdavo registruotų elektrokardiogramos rodiklių reikšmes. Pratybų fizinis krūvis (apkrova 25 W) smarkiai nepadidino ŠSD. Pratybų pabaigoje ŠSD reikšmės buvo vidutiniškai $121,8 \pm 2,1$ k./min. Taigi ŠSD rodiklis, jo reikšmių kaita neatskleidė mūsų lyginamų pratybų poveikio skirtumų. Lygiai taip pat ir kiti du elektrokardiogramos rodikliai (JT intervalas ir QRS komplekso trukmė) neatskleidė lyginamų pratybų sukeltą poveikio efekto skirtumų. Tačiau, kaip rodo šių rodiklių dinaminį sąsają vertinimo rezultatai, didesnis liekamas krūvio poveikis buvo, kai aerobinio krūvio pratybos buvo papildomos DM metodu grindžiamomis užduotimis.

Pradinės $Dsk_{(RR/QRS)}$ reikšmės registruotos prieš pratybas abiejų tyrimų metu statistškai nesiskyrė ($p > 0,05$), t. y. atitinkamai $0,316 \pm 0,09$ ir $0,335 \pm 0,09$. Vertinant RR intervalo ir QRS komplekso trukmių sąsajos kaitą rasta, kad po abiejų pratybų ši vertinama sąsaja sustiprėjo ($Dsk_{(RR/QRS)}$ buvo sumažėjęs, $p < 0,05$). Lyginant $Dsk_{(RR/QRS)}$ reikšmes, gautas po aerobinio krūvio pratybų ir po pratybų su DM užduotimis (2 pav., A grafikas), konstatuota, kad buvo sąsajos sustiprėjimo tendencija, tačiau statistškai patikimo skirtumo šių dviejų pratybų sukeltos $Dsk_{(RR/QRS)}$ sumažėjimo nebuvo ($p > 0,05$). Praėjus 30 min. po pratybų sustiprėjusi sąsaja tarp elektrokardiogramos RR intervalo ir QRS komplekso kaitos išliko (skirtumas tarp pradinių $Dsk_{(RR/QRS)}$ reikšmių ir jo reikšmių, registruotų po 30 min., buvo statistškai patikimas, $p < 0,05$). Taip pat buvo statistškai patikimai ($p < 0,05$) mažesnės $Dsk_{(RR/QRS)}$ reikšmės,

nustatytos tyrimo, kai pratybos buvo papildytos DM užduotimis.

2 pav. B grafike pateikta $Dsk_{(RR/JT)}$ reikšmės įvairiuose tyrimo etapuose. Aprašant šio rodiklio kaitą galima pažymėti, kad nei po aerobinio krūvio pratybų, nei po pratybų, papildytų DM užduotimis, $Dsk_{(RR/JT)}$ reikšmės reikšmingai nepakito ($p > 0,05$), tačiau praėjus 30 min. po pratybų jau buvo stebimas sąsajos tarp RR ir JT intervalų kaitos sustiprėjimas ($Dsk_{(RR/JT)}$ sumažėjimas). Ir tai buvo reikšmingas pasikeitimas, $p < 0,05$. Taip pat buvo statistškai reikšmingas skirtumas ($p < 0,05$) tarp pirmojo ir antrojo tyrimo, t. y. stipresnė sąsaja buvo konstatuota po pratybų, papildytų DM užduotimis.

2 pav. C grafike pateikta $Dsk_{(QRS/JT)}$ įvairiuose tyrimo etapuose. Pradinės $Dsk_{(QRS/JT)}$ reikšmės, registruotos prieš pratybas, statistškai nesiskyrė ($p > 0,05$), t. y. atitinkamai $0,464 \pm 0,09$ ir $0,474 \pm 0,08$. Tiek po aerobinio krūvio pratybų, tiek po pratybų, papildytų DM užduotimis, sąsaja tarp elektrokardiogramos QRS komplekso ir JT intervalo buvo reikšmingai sustiprėjusi ($Dsk_{(QRS/JT)}$ reikšmės sumažėjo, $p > 0,05$). Praėjus 30 min. po pratybų buvo stebimas sąsajos sustiprėjimas ($Dsk_{(QRS/JT)}$ sumažėjimas) išliko reikšmingai pakitęs, palyginti su pradinėmis reikšmėmis, registruotomis prieš pratybas, $p < 0,05$. Taip pat buvo statistškai reikšmingas skirtumas ($p < 0,05$) tarp pirmojo ir antrojo tyrimo, t. y. stipresnė sąsaja buvo konstatuota po pratybų, papildytų DM užduotimis.

Aptarimas

Fizinių gebėjimų tobulėjimas atliekant fizinius krūvius vyksta histerezės principu, t. y. teigiamas pratimų taikymo efektas yra gaunamas ne iš karto, bet pastebimas vėliau. Būtent atsigavimo procese vyksta reikšmingi adaptaciniai procesai, struktūriniai ir funkciniai pokyčiai organizme. Taigi adaptaciniai pokyčiai labai priklauso nuo krūvio metu įvykusių pokyčių. Šio tyrimo rezultatai parodė, kad aerobinio krūvio pratybos, papildytos diferencinio mokymo metodu grindžiamomis užduotimis, efektyviau paveikia širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinę būklę. Krūvio metu sustiprėjusios sąsajos tarp širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinę būklę atspindinčių rodiklių atsigavimo po krūvio metu išlieka stipresnės.

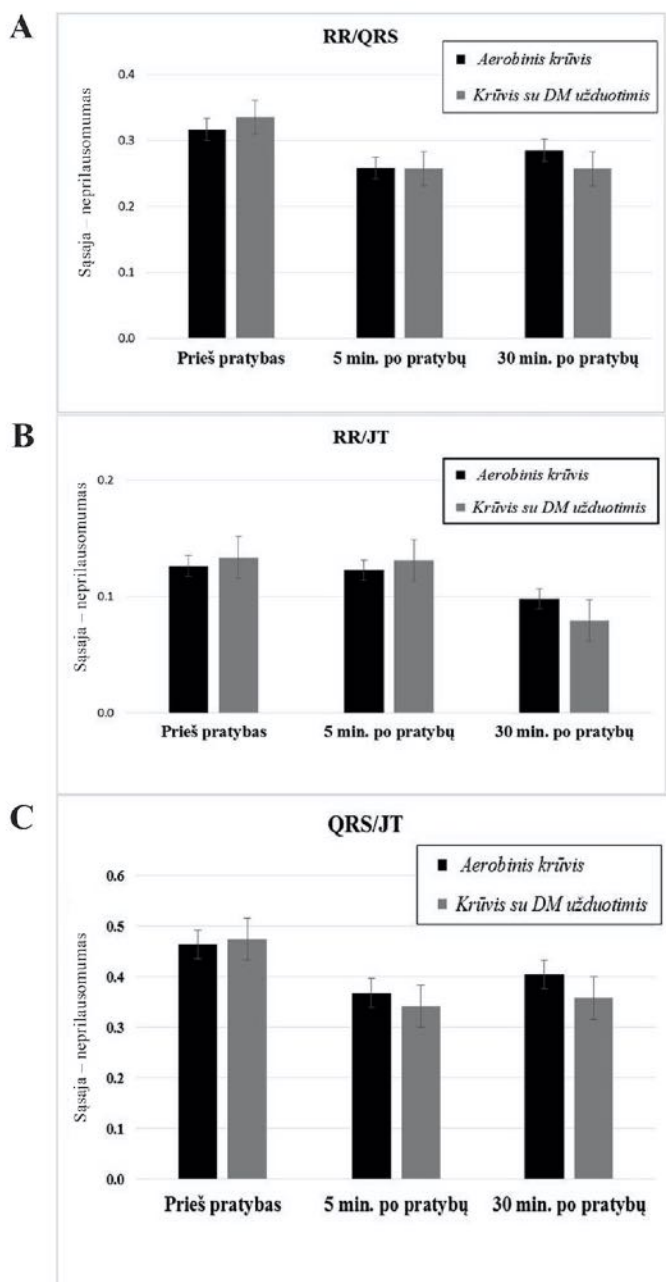
Elektrokardiografija yra plačiai taikoma diagnostikos ir funkcinės būsenos vertinimuose, o pati elektrokardiogramos signalą arba iš jo gautą para-

metų sekas galima laikyti laiko eilutėmis (Berškienė, 2009; Rickards, Ryan, Convertino, 2010). Mūsų tyrimo elektrokardiograma buvo registruojama nepertraukiamai keturias minutes ir analizuojami visų, be išimties, širdies susitraukimų generuojami elektrokardiogramos RR, JT intervalų bei QRS komplekso trukmės rodikliai buvo pamatuoti ir toliau analizuojami kaip skaitmeninės laiko eilutės. Laikoma, kad jeigu skaitmeninė laiko eilutė arba skaitmeninių laiko eilučių dvejetas teikia kokią nors informaciją apie tiriamą objektą, tai ši informacija gali būti išsireiškianti matematinių sąryšių pavidalu (Dahlhaus, Kurths, Maass, Timmer, 2008; Navikas, Bikulčienė, 2008).

Fiziniai krūviai aktyvina ilgalaikės adaptacijos mechanizmus, įvairios kūno sistemos ir jų funkcija kinta (Alleman, Stewart, Tsang, Brown, 2015). Klasikinės metodikos šiems pokyčiams įvertinti ne visuomet yra tinkamos. Atlikta nemažai studijų (Venskaitytė, 2009; Poderys et al., 2010; Papievienė, 2014), patvirtinančių, kad fizinio krūvio pradžioje Dsk mažėja (sąsaja stiprėja), o krūviui sunkėjant ir atsirandant nuovargiui sąsaja tarp daugelio EKG rodiklių pradeda silpnėti (Dsk reikšmės didėja). Mūsų tyrimo buvo pasirinkti EKG rodikliai, kurie pagal integralinio funkcinės būklės vertinimo modelį (Vainoras, 2002) atspindi reguliacinių mechanizmų ir metabolizmo intensyvumo kaitos ypatybes. Taip RR intervalo kaita atspindi sisteminių reguliacinių mechanizmų aktyvumo, QRS kaita – organo lygmens (širdies) reguliacinių mechanizmų kaitą, o JT intervalo kaita yra siejama su metabolizmo intensyvumo miokarde kaita (Vainoras et al., 2005; Telatavičienė, 2013).

Lyginant mūsų pasirinktų dinaminę sąsają kaitos ypatybes, pažymėtina, kad po pratybų (5 min. po krūvio) tik dvi dinaminės sąsajos buvo sustiprėjusios (RR/QRS ir QRS/JT) ir viena reikšmingai nepakito (RR/JT). $Dsk_{(RR/JT)}$ reikšmės vertintos prieš pratybas ir po jų statistškai reikšmingai nesiskyrė. Praėjus 30 min. po pratybų dinaminė sąsaja tarp elektrokardiogramos RR ir JT intervalų ($Dsk_{(RR/JT)}$) jau buvo reikšmingai sustiprėjusi. Taigi, praėjus 30 min. po pratybų visos mūsų vertinamos dinaminės sąsajos buvo sustiprėjusios.

Mūsų tyrimo sustiprėjusios sąsajos tarp registruotų EKG rodiklių praėjus 30 min., matyt, turi būti vertinamos kaip teigiamas pokytis, sukeltas pratybose atlikto fizinio krūvio. Taigi, kai aerobinio krūvio pratybose tiriamieji atlikdavo DM užduotis, pratybų sukeltas poveikis buvo stipresnis.



2 pav. EKG rodiklių dinaminių sąsajų vertinimas (*diskriminantų reikšmės*), registruotas prieš pratybas, po jų ir praėjus 30 min. po pratybų

Aptariant gautus tyrimų rezultatus nėra lengva kalbėti apie galimus fiziologinius mechanizmus, susijusius su šio fenomeno pasireiškimu. Komplexinių sistemų teorijos teiginiai apie organizmo funkcijų sinergijos ir saviorganizacijos ypatybes gali tai išsamiau paaiškinti. Atliekant fizinius pratimus aktyveja įvairių funkcinių sistemų veikla, aktyvuojami visi organizmo sandaros lygiai: subląstelinis, ląstelių, audinių, organų, sistemų (Vainoras et al., 2005; Quarteroni, Fornaggia, Veneziani, 2006; Venskaitytė, Poderys, Balagué, Bikulčienė, 2009). Morfologinių, fiziologinių, psichologinių ypatumų sąveika atliekant fizinius krūvius bei aplinkos įtaka sukuria nepakartojamus fiziologinių reakcijų derinius ir negali būti įvertinta pasinaudojant tik statistiniais vertinimo metodais (Vainoras et al., 2005; Berškienė, 2009; Hristovski, Venskaitytė, Vainoras, Balagué, Vazquez, 2010; Rickards, Ryan, Convertino, 2010).

Sinergija – tai adaptyvus sistemos dalių prisitakymas viena prie kitos ir prie visos sistemos kaip visumos (Turvey, Fonseca, 2014). Sinergija vyksta, kai biologinę sistemą ir joje susidariusią sinergiją veikia išoriniai ar vidiniai trikdžiai (*perturbacijos*). Trikdžių poveikis yra kompensuojamas kitų biologinės sistemos komponentų, dalyvaujančių sinergijoje, ir kompensacija yra atliekama taip, kad būtų išlaikytas funkcinis integralumas arba pasiektas pagrindinis tikslas.

Saviorganizacija atsiranda dėl „išorinių“ ir „vidinių“ trikdžių (savaržymų). Saviorganizacija – tai pagrindinis mechanizmas, kurį gamta naudoja erdviniam, laiko bei funkciniam elementams formuoti tokiose sistemose, kurios yra atviros energijos, informacijos apsiokitimui su aplinka (Haken, 1977; Nicolis, Prigogine, 1977). Nenatūrali variacija (*vadinamosios „klaidos“*) sistemos komponentuose yra kompensuojamos prisiderinant (*kovarijuojant*) kitiems komponentams, tam kad funkcija būtų stabili ir patenkinčių užduoties reikalavimus.

Taigi, kompleksinių dinamininių sistemų teorija keičia mūsų supratimą apie darbingumo didėjimo mechanizmus, formuoja naują požiūrį į sveikatos stiprinimą taikant fizinius pratimus, skatina mokslininkus ir trenerius ieškoti tinkamesnių sprendimų optimizuojant fizinių pratimų taikymą. Manome, kad tai yra vienas iš būdų, galintis paaiškinti šiame tyrime gautus rezultatus.

Išvados

Aerobinio krūvio pratybos, papildytos diferencinio mokymo metodu grindžiamomis užduotimis, efektyviau paveikia širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinę būklę. Krūvio metu sustiprėjusios sąsajos tarp širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinę būklę atspindinčių rodiklių atsigavimo po krūvio metu išlieka stipresnės.

References

1. Alleman, R. J., Stewart, L. M., Tsang, A. M., Brown, D. A. (2015). Why does exercise “trigger” adaptive protective responses in the heart? *Dose Response*, 13(1).
2. Beckmann, H., Schöllhorn, W. I. (2006). Differenzielles Lernen im Kugelstoßen. *Leistungssport*, 36, 44–50. [Differential training in shot put]. *Competitive Sports*, 36, 44–50.
3. Beckmann, H., Winkel, C., Schöllhorn, W. I. (2010). Optimal range of variation in hockey technique training. *International Journal of Sports Psychology*, 41, 5–10.
4. Berškienė, K. (2009). *Elektrokardiografinių signalų parametų dinaminės sąsajų analizė. Daktaro disertacija*. Kaunas: KTU.
5. Dahlhaus, R., Kurths, J., Maass, P., Timmer, J. (2008). *Mathematical Methods in Time Series Analysis and Digital Image Processing (Understanding Complex Systems Series)*, Springer – Verlag.
6. Ertegun, Ö. F. (2018). A novel type of activation function in artificial neural networks: Trained activation function. *Neural Networks*, 99, 148–157.
7. Henz, D., Schöllhorn, W. (2016). Differential Training facilitates early consolidation in motor learning. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 21(10), 199.
8. Hristovski, R., Venskaitytė, E., Vainoras, A., Balagué, N., Vazquez, P. (2010). Constraints-controlled metastable dynamics of exercise-induced psychobiological adaptation. *Medicina*, 46(7), 447–453.
9. Yasuda, T., Loenneke, J. P., Ogasawara, R., Abe, T. (2013). Influence of continuous or intermittent blood flow restriction on muscle activation during low-intensity multiple sets of resistance exercise. *Acta Physiologica Hungarica*, 100(4), 419–426. doi: 10.1556/APhysiol.100.2013.4.6.
10. Loenneke, J. P., Kim, D., Fahs, C. A., Thibaud, R. S., Abe, T., Larson, R. D., Bembien, M. G. (2015). The effects of resistance exercise with and without different degrees of blood-flow restriction on perceptual responses. *Journal of Sports Sciences*, 33(14), 1472–1479.
11. Navickas, Z., Bikulčienė, L. (2008). Antros eilės matricų informatyvieji dėstiniai. *Matematika ir matematinis modeliavimas*, 4, 26–33.
12. Nicolis, G., Prigogine, I. (1977). *Self-Organization in Nonequilibrium Systems. From Dissipative Structures to Order through Fluctuations*. J. Wiley and Sons, New York, London, Sydney, Toronto.
13. Papiėvienė, V. (2014). *Širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinių rodiklių dinaminės sąsajų ypatybės atliekant*

didejantį fizinį krūvį iki negalėjimo. *Daktaro disertacija*. Kaunas: Lietuvos sporto universitetas.

14. Poderys, J., Venskaitytė, E., Poderienė, K., Buliuolis, A., Vainoras, A. (2010). Functional state assessment on the dynamics of interparametric concatenations during exercise tests. *Medicina*, 46(6), 429–434.
15. Quarteroni, A., Formaggia, L., Veneziani, A. (2006). *Complex Systems in Biomedicine*. Springer.
16. Renzi, C. P., Tanaka, H., Sugawara, J. (2010). Effects of leg blood flow restriction during walking on cardiovascular function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(4), 726–732.
17. Repšaitė, V. (2015). *Diferencinio mokymo poveikis asmenų, patyrusių galvos smegenų insultą, funkciniam judesiui ir savarankiškumui. Daktaro disertacija*. Kaunas: Lietuvos sveikatos mokslų universitetas.
18. Rickards, C. A., Ryan, K. L., Convertino, V. A. (2010). Characterization of common measures of heart period variability in healthy human subjects: implications for patient monitoring. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 24, 61–70.
19. Schöllhorn, W. I., Beckmann, H., Janssen, D., Drepper, J. (2010). Stochastic perturbations in athletics field events enhance skill acquisition. In *Motor Learning in Practice. A Constraints-Led Approach*. London: Routledge.
20. Shinohara, M., Kouzaki, M., Yoshihisa, T., Fukunaga, T. (1998). Efficacy of tourniquet ischemia for strength training

with low resistance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77(1–2), 189–191.

21. Taletavičienė, G. (2014). *Elektrokardiografinių rodiklių ir jų dinaminio sąsajų kaita bendrosios krioterapijos ir peloidoterapijos procedūrų metu. Daktaro disertacija*. Kaunas: Lietuvos sveikatos mokslų universitetas.
22. Turvey, M. T. (2007). Action and perception at the level of synergies. *Human Movement Science*, 26, 657–697. doi: 10.1016/j.humov.2007.04.002
23. Turvey, M. T., Fonseca, S. T. (2014). The medium of haptic perception: a tensegrity hypothesis. *Journal of Motor Behavior*, 46, 143–187.
24. Vainoras, A. (2002). Functional model of human organism reaction to load – evaluation of sportsman training effect. *Education, Physical Training, Sport*, 3, 88–93.
25. Vainoras, A., Ašeriskytė, D., Poderys, J., Navickas, Z. (2005). Fractal dimensions in evaluation in heart function parameters during physical investigations. *Education. Physical Training. Sport*, 3(57), 61–66.
26. Venskaitytė, E., Poderys, J., Balaguė, N., Bikulčienė, L. (2009). Assessment of Dynamics of Inter-Parameter Concatenation during Exercise Tests. *Electronics and Electrical Engineering*, 6(94), 89–92.
27. Wagner, H., Müller, E. (2008). The effects of differential and variable training on the quality parameters of a handball throw. *Sports Biomechanics*, 7, 54–71.

DIFFERENTIAL LEARNING TASKS IMPACT CARDIOVASCULAR CHANGES AND ENHANCE THE EFFECTIVENESS OF EXERCISING IN EASY AEROBIC MODE

Deivydas Velička¹, Dr. Kristina Poderienė², Živilė Kairiūkštienė²,
Prof. Dr. Habil. Jonas Poderys²

¹Lithuanian University of Health Science, Institute of Sport¹
²Lithuanian Sports University, Institute of Sport Science and Innovations²

SUMMARY

Seeking for optimal and potentially more effective modes of exercising for health purposes remains an urgent problem today. It is well known that exercising must be individualized, that it is not recommended for exceptionally high intensity of workouts requiring high efforts, especially when a person chooses to exercise again after a longer dropout. The purpose of this study was to compare the changes in features of the cardiovascular system functional state in recovery phase after health-enhancing exercising, when this exercising are performed in easy aerobic mode and when such aerobic exercising are complemented by so-called “Differential Learning” (DL) methodology based tasks.

Eight male volunteers were examined twice, i.e. in randomly completed sequence, performed two 20-minutes duration exercising sessions with a three-day break between them. It was the relatively ease workload (25W) on bicycle ergometer. One of the tasks was to assess the impact of exercising in aerobic mode, and the next on the exercising with the DL tasks while the participants during exercising was asked to perform simple tasks that required some coordinating efforts, and each subsequent task was a new variation of the task given before. The evaluations of the functional condition of the cardiovascular system were performed before the exercising, after 5 minutes and 30 minutes after the exercise session.

The 12-lead standard ECG was registered continuously and the second-order matrix analysis (algebraic data cointegration approach) was used for assessment the dynamics of concatenation between RR interval and

QRS complex duration and between the JT interval. These indices were chosen as reflecting different levels of myocardial regulation and features of metabolism.

Results obtained during the study revealed that there was no significant differences ($p > 0.05$) while comparing the values of durations of RR intervals, JT intervals and the duration of QRS complex. Both aerobic exercising and exercising while the additional tasks based on DL methodology was added caused the same changes of registered electrocardiogram indices. Both, aerobic exercise exercising and the exercising with the DL tasks caused significant increase of concatenation between ECG indices ($p > 0.05$). Even after 30 minutes of exercising the increased concatenation remained significantly changed in comparison to the initial values recorded before exercising ($p < 0.05$).

The assessment of concatenation between two electrocardiographic indices provides qualitatively new information about features of participant's functional state. It is purposeful to apply the algebraic data cointegration approach for evaluation complexity features of sportsman body functioning during exercising, it allows to reveal the new features of functional state. It is concluded that aerobic exercising complemented with tasks based on DL methodology has made the stronger effect on the functional state of cardiovascular system. The increased concatenation between ECG indices remained substantially stronger in the recovery phase after exercising.

Keywords: functional state, electrocardiography, differential learning.

Jonas Poderys
Lietuvos sporto universitetas
Sporto mokslo ir inovacijų institutas
Aušros g. 42A-31, LT-44221 Kaunas
Tel. +370 37 302 650
El. p. liudas.poderys@lsu.lt

Gauta 2018-02-14
Patvirtinta 2018-03-16

INDIVIDUALIZATION OF EXERTION WHILE MONITORING FUNCTIONAL STATE DURING EXERCISING

Živilė Kairiūkštienė¹, Kristina Poderienė¹, Eugenijus Trinkūnas¹, Deividas Velička²,
Alfonsas Buliuolis¹, Jonas Poderys¹

Lithuanian Sports University¹, Kaunas, Lithuania

Lithuanian University of Health Sciences², Kaunas, Lithuania

ABSTRACT

Background. Individualization in workloads is important in order to get optimal benefits from exercising and long-term adaptation. Heart rate (HR) monitoring during exercise can be valuable for the feedback formation. The aim of the study was to compare the calculated HR values recommended for individualization of endurance training workloads while taking into account the HR at real or relative rest.

Methods. The participating 76 healthy adults were asked to measure the pulse rate, i.e. HR self-examination at absolute and relative rest states. The results obtained during the study were analysed according to the age and gender by calculating $HR_{Reserve}$ and the recommended intensity of exercising at 50% of $HR_{Reserve}$; 70% of $HR_{Reserve}$; 85% of $HR_{Reserve}$.

Results. Significant difference was found when comparing the averaged values of HR obtained at the real and relative states and even greater difference was observed between relative and real resting conditions in younger groups. When calculating the recommended HR values for exercising intensity, recommended HR values significantly differ depending on whether the real or relative rest states were taken into account. This means that the algorithm for feedback formation should take into account the initial values of HR corresponding to the state of absolute rest, i.e. after 8 hours of sleep.

Conclusion. The HR at relative rest state is different to the real rest state HR and therefore the algorithm for feedback formation should take into account this difference, i.e. the corresponding correction of such HR meanings should be installed.

Keywords: health promotion, cardiovascular system, individualization.

INTRODUCTION

Scientists have been searching for the answer to the questions of what kind of physical activity and what intensity of exercising are the most effective for health promotion (Vainoras & Šilanskienė, 2004; Warburton & Bredin, 2016). Before finding the solution to these questions we must evaluate numerous findings of research as well as compare the different physical loads of fast and long-term adaptation effects. Many of the body's functional systems are very active during exercising, therefore in scientific publications there

are various evaluations and suggestions on how to explore appropriate body reaction to various types of exercise (Fletcher et al., 2013; Mendonca, Fernhall, Heffernan, & Pereira, 2009).

Individualization in workloads is important in order to get optimal benefits from exercising and long-term adaptation. Heart rate (HR) monitoring during exercising is a valuable method for the feedback (Kiss et al., 2016). Some degree of HR measuring is necessary as to maintain all requirements of methodology suggested by

scientists (Karvonen & Vuorimaa, 1988), i.e. to calculate HR at rest and to follow HR changes during exercising. The Karvonen formula is used to calculate the heart rate at a given percentage training intensity.

A lot of pulse monitors or feedback providing devices could be helpful in this area if they had such kind algorithms installed in their system. In case where real values of HR at rest are not known or measured the further calculations for choosing the intensity of exercising could be inaccurate. This is because the HR at state of absolute rest, i.e. after 8 hours of sleep, differs from the values calculated at state of relative rest. The aim of the study was to compare the calculated HR values recommended for individualization of endurance training workloads while taking into account the HR at real or relative rest.

METHODS

The participants of the study consisted of 76 healthy adults who had to perform HR self-examination at absolute and relative rest states. In order to evaluate the difference of HR between the real and relative rest participants had to calculate their pulse for 30 seconds at each every 5 days.

The results obtained during the study were analysed according to the age and gender by performing calculations of $HR_{Reserve}$ and the recommended intensities of exercising at 50% of $HR_{Reserve}$, 70% of $HR_{Reserve}$, 85% of $HR_{Reserve}$. $HR_{Reserve}$ intensity was calculated using Karvonen formula (Karvonen & Vuorimaa, 1988):

$$\begin{aligned}
 HR_{max} &= 220 - \text{age (year)} \\
 HR_{Reserve} &= HR_{max} - HR_{rest} \\
 70\% HR_{Reserve} &= HR_{Reserve} \times 0.7 + HR_{Rest} \\
 85\% HR_{Reserve} &= HR_{Reserve} \times 0.85 + HR_{Rest} \\
 50\% HR_{Reserve} &= HR_{Reserve} \times 0.5 + HR_{Rest}
 \end{aligned}$$

The statistical data analysis was performed using "Excel 2000" software. Data values are reported as mean values and standard deviations. Changes were evaluated using Student's (*t*) test ($p < .05$ level of significance).

RESULTS

Significant difference was found while comparing the averaged values of HR obtained

at real and relative rest state and even greater difference between relative and real resting conditions was observed in younger age groups (Figure 1).

The results were different between subjects less than 35 years old and over 35 years of age. Women's HR at real rest was 58.1 ± 1.8 beats/min., men's – 55.2 ± 1.8 beats/min. The values in the younger groups were lower when compared to the ones in the older groups. HR for women older than 35 years at real rest state was 62.7 ± 3.0 beats/min., for men older than 35 years old it was 59.1 ± 1.2 beats/min. At relative rest the difference in values was also significant. HR at relative rest for women older than 35 years old was 70.4 ± 2.4 beats/min., for men older than 35 years old it was 67.7 ± 1.4 beats/min. Women's relative and real HR values were higher than men's HR values, but this difference was not statistically significant ($p > .05$).

Further calculations were aimed at calculating and comparing the values of HR at various recommended intensities of training, i.e. 50% of $HR_{Reserve}$, 70% of $HR_{Reserve}$ and 85% of $HR_{Reserve}$. Results showed that HR in for men younger than 35 years at real rest ($126.2 \pm 0.9 - 175.8 \pm 0.5$ beats/min.) and at relative rest ($132.2 \pm 0.9 - 177.6 \pm 0.5$ beats/min) were higher than those for men older than 35 years at real ($118.0 \pm 0.5 - 159.3 \pm 0.5$ beats/min) and relative ($122.3 \pm 0.6 - 160.6 \pm 0.5$ beats/min.) rest in cardiovascular system's training zones. While calculating the recommended HR values in order to choose the intensity of exertion, by evaluating the real and relative rest it can be noted that the recommended HR values during exercise differed significantly.

While analysing the results we can conclude that there are similarities between men and women in age groups. Cardiovascular training zone for women younger than 35 years old which was obtained by taking into account HR values in the real rest ranged from 126.2 ± 0.9 up to 175.8 ± 0.5 beats/min, and obtained by taking into account HR values in the relative rest state ranged between 132.2 ± 0.9 up to 177.6 ± 0.5 beats/min. This comparison revealed that figures obtained by these calculations differed. The same tendency was observed while comparing the results obtained in older groups. For men older than 35 years old cardiovascular training zone according to real rest state it was $118.0 \pm$

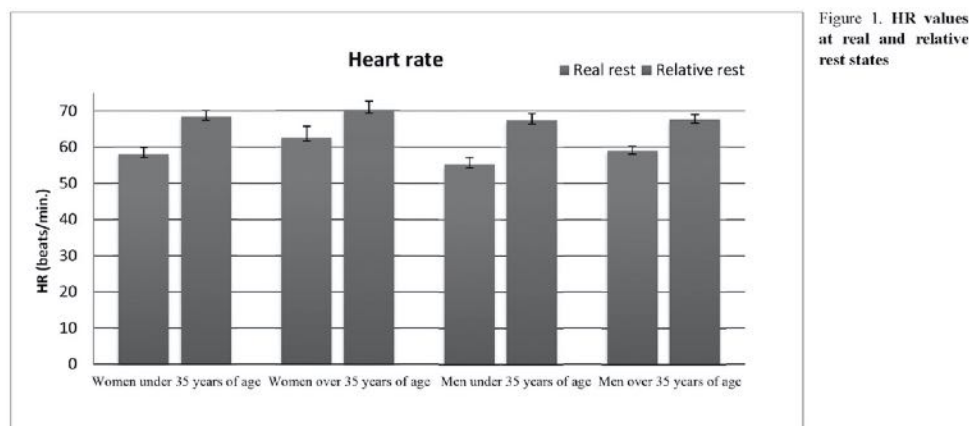


Figure 1. HR values at real and relative rest states

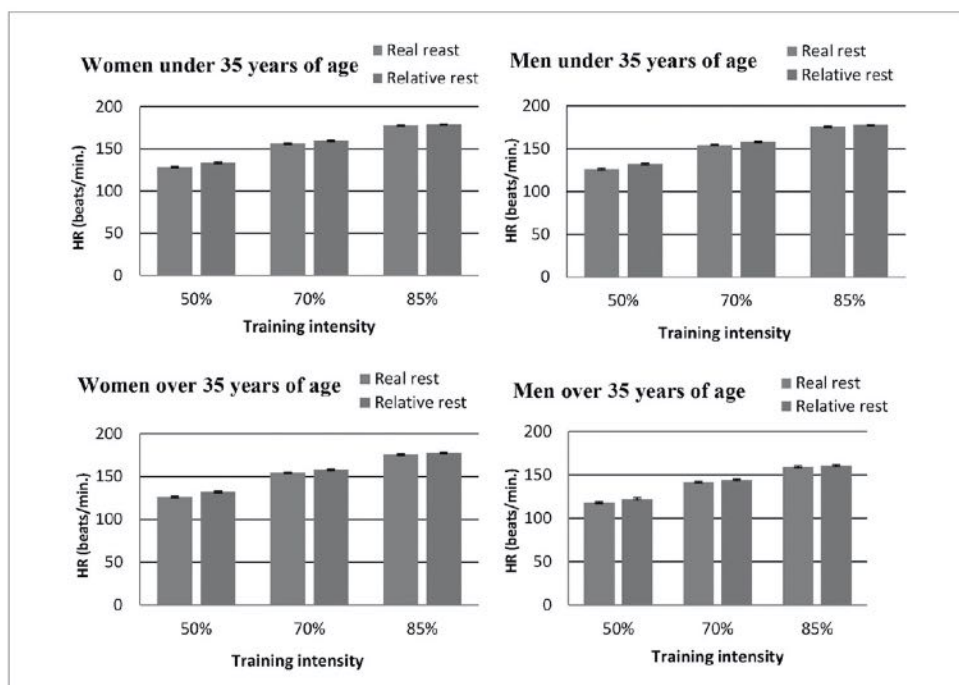


Figure 2. Values of HR calculated by taking into account real or relative rest states

0.5 – 159.3 ± 0.5 beats /min and according to the relative rest – 122.3 ± 0.6 – 160.6 ± 0.5 beats / min. For women older than 35 years old the recommended training zone according to the real rest state was 118.8 ± 2.1 – 158.1 ± 2.2 beats / min, while according to relative rest it was from 122.6 ± 1.7 to 159.2 ± 2.1 beats /min.

DISCUSSION

Health promotion by exercising is an important part of healthy life style, however it is also essential to consider the appropriate intensity of exercising (Fletcher et al., 2013; Karvonen & Vuorimaa, 1988; Warburton & Bredin, 2016). In

this study we used guidelines outlined in “The Recommended Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory and Muscular Fitness in Healthy Adults” (American College of Sports Medicine – <http://www2.gsu.edu/~wwwfit/howtoex.html>). In order to choose the appropriate intensity of exercising it is necessary to take HR measurement at rest and also to monitor it during the exercise. Studies have shown that recommended HR values during exercise depend on functional preparedness and the task of the training session (Kiss et al., 2016). The intensity of exercising while HR exceed 50% $HR_{Reserve}$ could be recommended for beginners and the higher HR values should be during exercising within so called “Target zone” while HR varies in zone from HR 70% $HR_{Reserve}$ up to HR 85% $HR_{Reserve}$. Significant differences of these HR limits evidence that more precisely these training zones will be outlined taking into account the HR values obtained in real rest state. If the person was physically active in the past, intensity can be increased to approximately 70–85% $HR_{Reserve}$. If the HR is too high, the intensity of the exercise should be reduced for the reason that the endurance training is the most efficient in this target zone (Morici et al., 2016; Sebastian, Reeder, & Williams, 2015).

Monitoring of heart rate (HR) during exercise is a valuable method for the feedback formation (Kiss et al., 2016; Mann, Lamberts, & Lambert, 2013) and many pulse monitors or feedback providing devices can be beneficial in this area (Argha, Su, Nguyen, & Celler, 2015). However in case of a

patient deciding to participate in an exercising session without having measured his or hers real HR after of 8 hours of sleep, further calculations for choosing the intensity of exercising could be inaccurate. The results of calculations obtained by comparing values of HR at various recommended intensities of training, i.e. 50% of $HR_{Reserve}$, 70% of $HR_{Reserve}$ and 85% of $HR_{Reserve}$ revealed that while (if) taking into account the real or relative rest values the obtained HR values recommended for exercising significantly differ. This means that the algorithm for feedback formation installed into the monitoring system should take into account the initial values of HR corresponding to the state of absolute rest, i.e. after of 8 hours of sleep. But in case we do not have such measurements and decide to arrange a training session, a measurement of HR before exercising, i.e. at relative rest state, can be taken for this purpose; however the algorithm for feedback formation should also take this difference into account.

CONCLUSION

The HR at relative rest state is different to the real rest state HR and therefore the algorithm for feedback formation should take this difference into account, i.e. the corresponding correction of such HR values should be installed.

Acknowledgement. This work was supported by a grant from the Agency for Science, Innovation and Technology (MITA) as part of the Eureka project “Electronic wearable sport and health solutions” (ITEA2 CareWare I3034).

REFERENCES

- Argha, A., Su, S. W., Nguyen, H., & Celler, B. G. (2015). Designing adaptive integral sliding mode control for heart rate regulation during cycle-ergometer exercise using bio-feedback. In *Conference proceedings: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, 2015*, 6688–6691. doi:10.1109/EMBC.2015.7319927
- Fletcher, G. F., Ades, P. A., Kligfield, P., Arena, R., Balady, G. J., Bittner, V. A., . . . Williams, M. A. (2013). Exercise standards for testing and training: A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 128(8), 873–934. doi:10.1161/CIR.0b013e31829b5b44
- Karvonen, J., & Vuorimaa, T. (1988). Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application. *Sports Medicine*, 5(5), 303–311.
- Kiss, O., Sydo, N., Vargha, P., Vago, H., Czimbalmos, C., Edes, E., . . . Merkely, B. (2016). Detailed heart rate variability analysis in athletes. *Clinical Autonomic Research: Official journal of the Clinical Autonomic Research Society*, 26(4), 245–252. doi:10.1007/s10286-016-0360-z
- Mann, T., Lamberts, R. P., & Lambert, M. I. (2013). Methods of prescribing relative exercise intensity: Physiological and practical considerations. *Sports Medicine*, 43(7), 613–625. doi:10.1007/s40279-013-0045-x

- Mendonca, G. V., Fernhall, B., Heffernan, K. S., & Pereira, F. D. (2009). Spectral methods of heart rate variability analysis during dynamic exercise. *Clinical Autonomic Research: Official Journal of the Clinical Autonomic Research Society*, 19(4), 237–245. doi:10.1007/s10286-009-0018-1
- Morici, G., Gruttad'Auria, C. I., Baiamonte, P., Mazzuca, E., Castrogiovanni, A., & Bonsignore, M. R. (2016). Endurance training: Is it bad for you? *Breathe*, 12(2), 140–147. doi:10.1183/20734735.007016
- Sebastian, L. A., Reeder, S., & Williams, M. (2015). Determining target heart rate for exercising in a cardiac rehabilitation program: A retrospective study. *The Journal of Cardiovascular Nursing*, 30(2), 164–171. doi:10.1097/JCN.0000000000000154
- Vainoras, A., & Šilanskienė, A. (2004). Fizinių krūvių veikiamo žmogaus organizmo pokyčių vertinimo kompleksinis modelis. In J. Poderys (Ed.), *Kineztologijos pagrindai* (pp. 195–203). Kaunas: KMU.
- Warburton, D. E., & Bredin, S. S. (2016). Reflections on Physical Activity and Health: What Should We Recommend? *The Canadian Journal of Cardiology*, 32(4), 495–504. doi:10.1016/j.cjca.2016.01.024

Received on August 30, 2016

Accepted on September 06, 2016

Corresponding author Živilė Kairiūkšienė

Lithuanian Sports University

Aušros str. 42, LT-44221 Kaunas

Lithuania

Tel. +370 646 81324

E-mail scevinskaite@gmail.com

BIOMEDICINOS MOKSLAI BIOMEDICAL SCIENCES

Sporto mokslas / Sport Science
2016, Nr. 1(83), p. 48–54 / No. 1(83), pp. 48–54, 2016

DOI: <http://dx.doi.org/10.15823/sm.2016.8>

Širdies ir kraujagyslių sistemos adaptacija sveikatą stiprinančiose pratybose taikant jėgos ugdymo pratimų arba šiaurietiškojo ėjimo užduotis

Živilė Kairiūkštienė, Deividas Velička, prof. habil. dr. Jonas Poderys

Lietuvos sporto universitetas, Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Sporto institutas

Santrauka

Tikslas – palyginti skirtingo pobūdžio sveikatą stiprinančių pratybų (jėgos ugdymo pratimų ir šiaurietiškojo ėjimo) poveikį širdies ir kraujagyslių sistemai. Tyrimė dalyvavo 28 asmenys, jie buvo santykinai sveiki, nesiskundžiantys širdies ir kraujagyslių sistemos funkcijos sutrikimais, turintys gydytojo leidimą dalyvauti sveikatos stiprinimo fiziniams pratimams pratybose. Tiriamieji buvo atrinkti atsitiktine tvarka ir suskirstyti į dvi grupes, kurios pagal amžiaus vidurkį, kūno masę, lytį, ramybės širdies susitraukimų dažnį (ŠSD) ir arterinį kraujo spaudimą (AKS) statistiškai reikšmingai nesiskyrė. Tiriamajam kontingentui buvo taikomos skirtingo pobūdžio sveikatą stiprinančios pratybos. Pirmajai (I) grupei buvo taikomas šiaurietiškojo ėjimas, o antrajai (II) – pratybos sporto salėje. Abiem grupėms iki 90 min trukmės pratybos vykdėtos tris kartus per savaitę šešis mėnesius. Tiriamųjų širdies ir kraujagyslių sistemos būklei bei fiziniam parengtumui vertinti buvo naudojamas Ruffė fizinio krūvio mėginys. AKS buvo matuojamas prieš krūvį, po krūvio ir kas minutę atsigavimo metu. Viso šio funkcinės būklės vertinimo metu nepertraukiamai buvo registruojama 12 standartinių derivacijų elektrokardiograma (EKG). Buvo analizuojami šie EKG rodikliai: ŠSD ir JT intervalo trukmė, bei vertinamos ST segmento depresijos reikšmės, registruotos ramybės metu ir didžiausios atliekant dozuoto krūvio mėginį.

Po šešių mėnesių trukmės sveikatą stiprinančių pratybų sveikų vidutinio amžiaus žmonių ramybės ŠSD ir AKS nepakito ($p > 0,05$). Po šešių mėnesių trukmės skirtingo pobūdžio pratybų reakcija į fizinį krūvį skyrėsi: po šiaurietiškojo ėjimo programos ŠSD padidėjimas Ruffė fizinio krūvio mėginio metu sumažėjo, o po pratybų sporto salėje ŠSD reakcija į fizinį krūvį nepakito ($p > 0,05$). Paaiškėjo, kad šešių mėnesių trukmės šiaurietiškojo ėjimo pratybos padarė poveikį ST segmento depresijos reikšmėms atliekant Ruffė fizinio krūvio mėginį – nustatytas ST segmento depresijos mažėjimas ($p < 0,05$). Šešių mėnesių trukmės pratybos sporto salėje neturėjo įtakos ST segmento depresijos pokyčiams atliekant Ruffė fizinio krūvio mėginį ($p > 0,05$).

Šešių mėnesių sveikatos stiprinimo pratybos, kuriose pagrindinis krūvis buvo šiaurietiškojo ėjimas, ir pratybos, kurios buvo atliekamos sporto salėje su treniruokliais, turėjo teigiamos įtakos sveikatą stiprinančių asmenų širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinei būklei. Tyrimas atkleidė keletą šiaurietiškojo ėjimo pranašumų stiprinant sveikatą. Po pusės metų eksperimento šiaurietiškojo ėjimo praktikavusiųjų grupės tiriamiesiems, atliekantiems dozuoto fizinio krūvio užduotis, mažiau padidėjo ŠSD ir pastebimas mažesnis funkcinis išeminių reiškinų pasireiškimas miokarde nei jėgos ugdymo pratimus sporto salėje praktikavusiems tiriamiesiems.

Raktažodžiai: šiaurietiškojo ėjimas, jėgos ugdymo pratimai, širdies ir kraujagyslių sistema.

Išvadas

Judėjimas būtina sąlyga ne tik žmogaus praktiniams tikslams pasiekti, bet ir fiziniam pajėgumui bei sveikatai stiprinti (Karmisholt, Gotzsche, 2005; Downward et al., 2015). Viena iš vis populiarėjančių fizinio aktyvumo formų yra šiaurietiškojo ėjimas. Tai ėjimo būdas naudojant specialias lazdas. Šiaurietiškojo ėjimo ir įprasto ėjimo pagrindinis skirtumas yra šiaurietiškojo ėjimo naudojamos specialios lazdos, kurios pritaikomos prie kiekvieno žmogaus ūgio (Hartvigsen et al., 2010). Dėl ėjimo technikos

ypatumų šiaurietiškojo ėjimo metu yra pasiekiamas didesnis greitis negu einant įprastu būdu. Atliekant didesnius žingsnius ir aktyviai dirbant rankų raumenimis, daugiau aktyvėja organizmo funkcinė sistemų veikla. Tyrimai parodė, kad šiaurietiškojo ėjimo metu širdies susitraukimų dažnis (ŠSD) yra padidėjęs apie 8 % daugiau nei paprasto ėjimo metu, daugiau vartojama deguonies (11 %), didesnės energijos sąnaudos (18 %) (Tschentscher et al., 2013). Atliekta mokslinių tyrimų, kur šiaurietiškojo ėjimas lyginamas su bėgimu ar greitu ėjimu, ir visais minė-

tais atvejais šiaurietiškas ėjimas turėjo pranašumą (Tschentscher et al., 2013). Šiaurietiškas ėjimas yra saugi aerobinio darbingumo didinimo priemonė, nes einantis žmogus gali pats pasirinkti ėjimo tempą atsižvelgdamas į savo fizinį pajėgumą, be to, esant poreikiui, bet kuriuo pratybų momentu galima nutraukti mankštiniimąsi (Stief et al., 2008).

Nors neabejojama šiaurietiško ėjimo naudingu, tačiau palyginamųjų studijų, kuriose būtų vertinamas šiaurietiško ėjimo ir kitų sveikatą stiprinančių pratybų efektyvumas širdies ir kraujagyslių sistemai, vis dėlto nėra daug. Šio **tyrimo tikslas** buvo palyginti skirtingo pobūdžio sveikatą stiprinančių pratybų (jėgos ugdymo pratimų ir šiaurietiško ėjimo) poveikį širdies ir kraujagyslių sistemai.

Tyrimo metodika

Šiam tyrimui atlikti buvo pateikta paraiška ir gautas Lietuvos sveikatos mokslų universiteto bioetikos centro leidimas.

Tiriamieji. Tyrime dalyvavo 28 tiriamieji (vyrai, amžius $46,3 \pm 1,2$ m., KMI $24,3 \pm 1,4$), tai Panevėžio sporto klube „Tauras“ sveikatos stiprinimo pratybas lankantys asmenys. Visi tiriamieji buvo santykinai sveiki, nesiskundžiantys širdies ir kraujagyslių sistemos funkcijos sutrikimais, turintys gydytojo leidimą dalyvauti sveikatos stiprinimo fiziniams pratimams pratybose. Tiriamieji buvo atrinkti atsitiktine tvarka ir suskirstyti į dvi grupes, kurios pagal amžiaus vidurkį, kūno masę, lytį, ramybės ŠSD ir AKS tarpusavyje statistiškai reikšmingai nesiskyrė.

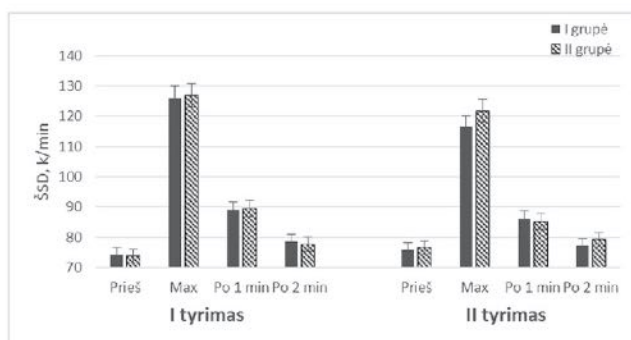
Skirtingo pobūdžio sveikatą stiprinančios pratybos. Sveikatą stiprinančios pratybos tęsėsi 6 mėn., vyko tris kartus per savaitę po 1,5 valandos. Tiriamajam kontingentui buvo taikomos skirtingo pobūdžio sveikatą stiprinančios pratybos. Pirmajai (I) grupei buvo skiriamos šiaurietiško ėjimo užduotys, kuriose vyraavo aerobinio pobūdžio krūviai. Antrosios (II) grupės tiriamųjų sveikatą stiprinančios pratybos vyko sporto salėje, pratybose vyraavo jėgos pobūdžio pratimai su treniruokliais. Šių pratybų programoje buvo jėgos ugdymo pratimai įvairioms raumenų grupėms, tačiau vienos pratybose tiriamieji atlikdavo pratimus, skirtus tik keturioms raumenų grupėms. Kiekvienai pasirinktai raumenų grupei buvo skiriama po 3–4 serijas pratimo, kai apkrova 40–70 % maksimalios valingos jėgos, atliekant 6–12 judesių.

Funkcinės būklės vertinimas. Tiriamųjų ŠKS funkcinė būklė buvo tirta du kartus: prieš pradedant pratybas ir po šešių mėnesių pratybų. Tyrimo dieną tiriamieji nedalyvavo pratybose ir neturėjo kito sunkaus fizinio krūvio. Tiriamieji atliko dozuoto fizinio krūvio mėginį, t. y. 30 pritūpimų per 45 s, nepertraukiamai registruojant 12 standartinių derivacijų elektrokardiogramą. Buvo analizuojami šie EKG rodikliai: ŠSD ir JT intervalo trukmė, bei ST segmento depresijos reikšmės. Arterinis kraujo spaudimas buvo matuojamas prieš krūvį, po krūvio ir kas minutę atsigavimo metu.

Statistika. Pateikiami aritmetiniai vidurkiai ir aritmetinio vidurkio paklaida. Statistinis skirtumas patikimumas buvo skaičiuojamas naudojant Stjudento t testą.

Tyrimo rezultatai

Šio tyrimo, vertinančio skirtingo pobūdžio sveikatos stiprinimo pratybų įtaką širdies ir kraujagyslių sistemai, rezultatai pateikti 1–4 paveiksluose. Vi-



1 pav. Ruffe fizinio krūvio mėginį atliekančių tiriamųjų ŠSD kaita prieš ir po šešių mėnesių reguliarių pratybų

Pastaba: I grupė – asmenys, praktikavę šiaurietiško ėjimą; II grupė – asmenys, praktikavę pratybas sporto salėje.

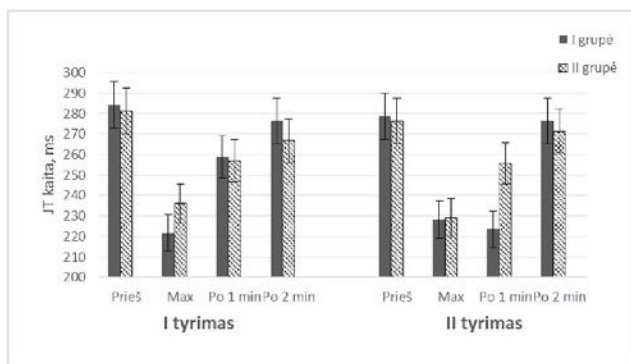
suose paveiksluose pateikiama Ruffjė fizinio krūvio mėginį atliekančių tiriamųjų registruotų rodiklių, nustatytų prieš pradedant reguliarias pratybas ir po pusės metų, kaita.

I paveiksle pateiktos ŠSD reikšmės. Per pirmąjį tyrimą abiejų grupių, t. y. vėliau šiaurietiskąjį ėjimą kultivavusių ir dirbusių su treniruokliais, tiriamųjų ŠSD reikšmės, registruotos ramybės metu, reikšmingai nesiskyrė. I grupės tiriamųjų ŠSD buvo $74,3 \pm 2,2$ k./min, o II grupės – $73,8 \pm 2,2$ k./min. Po pusės metų pratybų ramybės ŠSD reikšmė pakito nedaug, reikšmingo pokyčio nebuvo ($p > 0,05$). Per pirmąjį funkcinės būklės vertinimą didžiausia I grupės ŠSD reikšmė, atliekant Ruffjė fizinio krūvio mėginį, buvo $126,2 \pm 2,3$ k./min, o II grupės – $126,9 \pm 3,2$ k./

min ($p > 0,05$). Po šešių mėnesių laikotarpio didžiausia ŠSD reikšmė, atliekant Ruffjė fizinio krūvio mėginį, I grupės sumažėjo iki $116,6 \pm 2,2$ k./min ($10,6 \pm 0,5$ k./min, $p < 0,05$), o II grupės – iki $121,9 \pm 2,8$ k./min (pokytis $5 \pm 0,4$ k./min, $p > 0,05$).

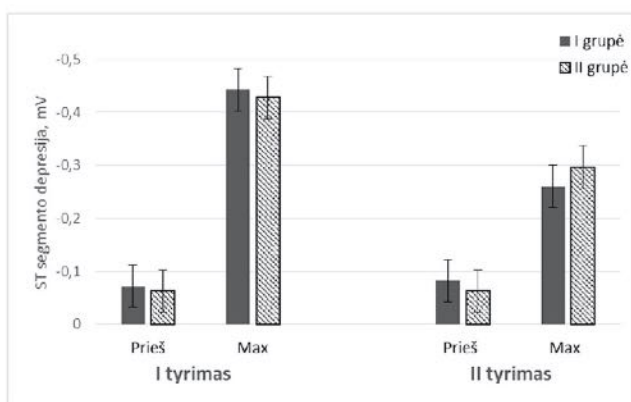
Vertinant abiejų tiriamųjų grupių individualius ŠSD pokyčius nustatyta, kad po pusės metų pratybų ŠSD nesumažėjo I grupės vienam tiriamajam iš 12, o II grupės – penkiems iš 14 tiriamųjų.

Apibendrinant ŠSD kaitos duomenis galima konstatuoti, kad po sveikatą stiprinančių pratybų šiaurietiškojo ėjimo grupės tiriamųjų ŠSD reakcija į fizinį krūvį buvo mažesnė ($p < 0,05$) nei fizinės pratybas sporto salėje atlikusių tiriamųjų.



2 pav. Ruffjė fizinio krūvio mėginį atliekančių tiriamųjų elektrokardiogramos JT intervalo kaita prieš ir po šešių mėnesių reguliarių pratybų

Pastaba: I grupė – asmenys, praktikavę šiaurietiskąjį ėjimą; II grupė – asmenys, praktikavę pratybas sporto salėje.



3 pav. Elektrokardiogramos ST segmento depresijos reikšmės, registruotos ramybės būsenoje ir didžiausios – atliekant Ruffjė fizinio krūvio mėginį

Pastaba: I grupė – asmenys, praktikavę šiaurietiskąjį ėjimą; II grupė – asmenys, praktikavę pratybas sporto salėje.

2 paveiksle pateikti EKG JT intervalo kaitos duomenys. Per pirmąjį tyrimą abiejų tiriamųjų grupių JT intervalo reikšmė ramybės metu nesiskyrė ($p > 0,05$). I grupės tiriamųjų JT intervalo trukmė buvo $284,2 \pm 2,4$ ms, o II grupės – $281,4 \pm 2,4$ ms. Tyrimo, atlikto po pusės metų sveikatą stiprinančių pratimų, rezultatai parodė, kad abiejų grupių reikšmingo JT intervalo reikšmės pokyčio ramybės metu taip pat nebuvo ($p > 0,05$). Taigi, nenustatytas statistškai reikšmingas skirtumas tarp grupių atliekant Ruffjė fizinio krūvio mėginį tiek pirmojo, tiek antrojo funkcinės būklės vertinimo metu ($p > 0,05$).

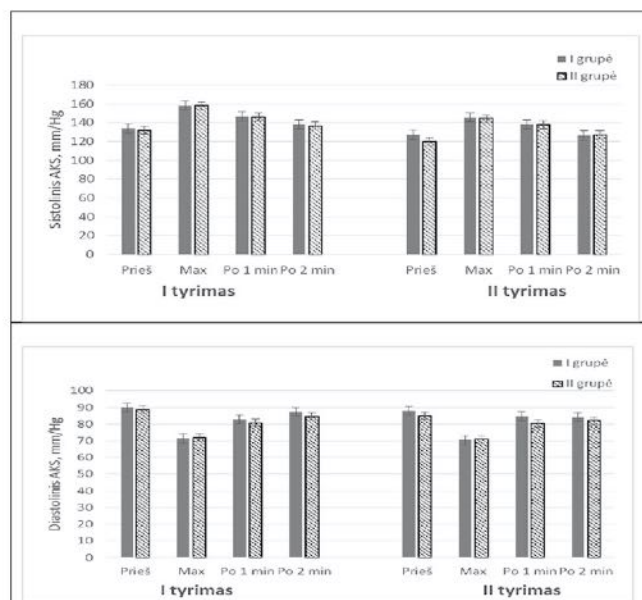
3 paveiksle pateiktos EKG ST segmento depresijos reikšmės, registruotos ramybės būsenoje ir didžiausios – atliekant Ruffjė fizinio krūvio mėginį. I ir II grupių ST segmento depresija ramybės metu per pirmąjį ir antrąjį tyrimą reikšmingai nesiskyrė ($p > 0,05$). ST segmento depresijos didžiausia reikšmė, registruota I grupės tiriamųjų fizinio krūvio metu, buvo $0,44 \pm 0,05$ mV, o II grupės – $0,43 \pm 0,05$ mV ($p > 0,05$).

Po pusės metų sveikatą stiprinančių pratimų I grupės tiriamųjų ST segmento depresijos maksimalios reikšmės sumažėjimas buvo statistškai reikšmingas ($p < 0,05$). Prieš pradedant pratimus šiaurietiškojo ėji-

mo tiriamųjų grupės ST segmento didžiausia reikšmė buvo $0,44 \pm 0,05$ mV, o po pusės metų pratimų – $0,23 \pm 0,06$ mV (pokytis $0,21 \pm 0,01$ mV, $p > 0,05$). Statistiškai reikšmingo II tiriamųjų grupės šios reikšmės pasikeitimo dėl pusės metų pratimų sporto salėje nenustatyta ($p > 0,05$), buvo galima konstatuoti tik ST segmento depresijos mažėjimo tendenciją. Prieš pradedant pratimus II grupės tiriamųjų ST segmento didžiausia reikšmė buvo $0,43 \pm 0,05$ mV, o po 6 mėnesių pratimų – $0,30 \pm 0,06$ mV (skirtumas $1,2 \pm 0,01$ mV, $p > 0,05$).

4 paveiksle pateikti AKS duomenys, gauti vertinant tiriamųjų funkcinę būklę ir jos kaitą dėl taikytų fizinio krūvio. Vertinant ramybės metu registruotas sistolinio AKS reikšmes, nenustatyta statistškai reikšmingo skirtumo tarp grupių tiek per pirmąjį, tiek per antrąjį tyrimą ($p > 0,05$). Be abejo, matyti nedidelė abiejų grupių tiriamųjų sistolinio AKS mažėjimo tendencija: ramybės sistolinis AKS I grupės tiriamųjų per I tyrimą buvo $133,8 \pm 4,4$ mm/Hg, o po šešių mėnesių – $126,9 \pm 3,4$ mm/Hg ($p > 0,05$), II grupės atitinkamai $132,0 \pm 2,3$ mm/Hg ir $125,0 \pm 2,7$ mm/Hg.

Atliekant dozuoto fizinio krūvio mėginį abiejų grupių sistolinis AKS didėjo. I grupės tiriamųjų



4 pav. Sistolinio ir diastolinio AKS kaita atliekant Ruffjė fizinio krūvio mėginį

Pastaba: I grupė – asmenys, praktikavę šiaurietiškojo ėjimą; II grupė – asmenys, praktikavę pratimus sporto salėje.

per pirmąjį tyrimą jis padidėjo iki $156,3 \pm 3,0$ mm/Hg, o po 6 mėn. šiaurietiškojo ėjimo pratybų – iki $148,2 \pm 4,1$ mm/Hg. Pasikeitimas nebuvo statistiškai reikšmingas ($p > 0,05$). Per pirmąjį tyrimą II grupės tiriamųjų sistolinį AKS krūvis padidino iki $157,2 \pm 4,6$ mm/Hg, o po pusės metų pratybų – iki $148,8 \pm 5,3$ mm/Hg. Pokytis taip pat nebuvo statistiškai reikšmingas ($p < 0,05$).

Vertinant diastolinio AKS kaitos ypatybes reikia konstatuoti, kad statistiškai reikšmingų skirtumų tarp grupių ir statistiškai reikšmingų pasikeitimų per pusę metų nei vienoje iš tiriamųjų grupių nenustatyta ($p > 0,05$).

Tyrimo rezultatų aptarimas

Aktuali praktikos ir sveikatos mokslų problema: kokio pobūdžio fizinė veikla ar fizinis aktyvumas efektyviausi siekiant stiprinti sveikatą (Vainoras, 2004). Norint atsakyti į šį klausimą, būtina įvertinti daugelio atliktų tyrimų rezultatus, palyginti įvairių fizinių krūvių sukeliamus ilgalaikės adaptacijos efektus. Atliekami fiziniai pratimai aktyvina daugelio organizmo funkcinių sistemų veiklą, aktyvėja daugelis reguliacinių mechanizmų. Mokslinėse publikacijose aprašomi įvairūs tyrimai ir gautų rezultatų vertinimai. Per pastaruosius metus buvo paskelbta nemažai darbų, kuriuose diskutuojama apie šiaurietiškojo ėjimo poveikį įvairioms žmogaus organų sistemoms (Simic et al., 2011, Mikalacki et al., 2011), tačiau reikšmingai mažiau darbų, kuriuose buvo vertinta ŠKS ilgalaikės adaptacijos ypatybės. Šiuo savo tyrimu siekėme ne tik parodyti, kad šiaurietiškas ėjimas yra saugi, naudinga ŠKS ligų profilaktikos priemonė, bet ir detaliau įvertinti reguliarių pratybų sukeliamus efektus. Tai yra aktualu, nes daugelis tyrėjų pažymi, kad organizmo adaptacinėse reakcijose į fizinius krūvius išskirtinis vaidmuo yra priskiriamas ŠKS, nes tai yra viena gyvybiškai reikšmingiausių organizmo sistemų (Hollmann, 2006; Žumbakytė, 2006).

AKS yra vertingas ir informatyvus kraujotakos sistemos funkcinės būklės rodiklis. Su amžiumi sistolinis AKS didėja labiau negu diastolinis, ir tai susiję su kraujagyslių elastingumo mažėjimu (Schmidt et al., 1996). Fizinio krūvio metu sistolinis AKS didėja, bet, priklausomai nuo pratimo specifiškumo, atsakas priklauso nuo atliekamo krūvio pobūdžio: atliekant statinio pobūdžio krūvius – didėja, atliekant dinaminio pobūdžio krūvius – mažėja, dėl mažėjančio bendro periferinio pasipriešinimo raumenų

kraujotaka intensyvėja, ir priešingai, aukštas diastolinis AKS rodo padidėjusį periferinį pasipriešinimą (Schmidt et al., 1996; Xie et al., 2015). Laikoma, kad normalus sistolinio AKS atsakas į dinaminio pobūdžio fizinius pratimus yra toks, kai sistolinis AKS, didinant darbo intensyvumą, pamažu didėja, tačiau maksimali jo reikšmė neviršija 180–240 mm/Hg (Xie et al., 2015). Reikšmingų AKS pokyčių tarp grupių, vertinant suvidurkintas reikšmes bei lyginant pirmojo ir antrojo tyrimo metu registruotas AKS reikšmes, nenustatyta ($p > 0,05$), nors negalima paneigti vyraujančios nuomonės, jog atskirais atvejais pastebėta AKS mažėjimo tendencija.

ŠSD yra plačiausiai taikomas rodiklis organizmo funkciniai būsenai vertinti, o jo mažesnis padidėjimas atliekant krūvį yra vertinamas kaip pagerėjusio ekonomiško rodiklis (Gondim et al., 2015). Taigi, mūsų pakartotinio tyrimo metu registruotos mažesnės ŠSD reikšmės, atliekant dozuoto fizinio krūvio mėginį, liudija apie teigiamą abiejų poveikių (ir šiaurietiškojo ėjimo, ir pratybų, atliekamų sporto salėje su treniruokliais) įtaką.

EKG JT intervalas parodo skilvelių repoliarizacijos procesų eigą ir gali būti naudojamas kaip jų repoliarizacijos trukmės rodiklis, o jo kaita yra susijusi su metabolizmo kaita miokarde (Hlaing et al., 2005; Vainoras ir kt., 2008). Vertindami šio rodiklio kaitos ypatybes, mes nenustatėme statistiškai reikšmingų pasikeitimų. Galima diskutuoti apie tendenciją, jog optimalėnei ŠKS reakcijai į krūvį galėjo įtakos turėti ir metabolinių procesų optimizavimasis miokarde, tačiau šie pokyčiai nebuvo statistiškai reikšmingi.

Rezervinės širdies galimybės reikšmingai priklauso nuo to, ar patenkinamas miokardo O_2 poreikis, t. y. kaip greitai ir ar pakankamai padidėja O_2 kiekis, tiekiamas širdžiai prasidėjus fiziniam krūviui (Hlaing et al., 2005). Aktyvios raumenų veiklos metu širdies raumenyje metaboliniai procesai pagreitinėja 4–5 kartus, o norint patenkinti šį didėjančią O_2 poreikį miokardui būtinas kraujotakos intensyvėjimas vainikinėse kraujagyslėse. Jei krūvio metu vainikinėmis širdies kraujagyslėmis teka nepakankamai kraujo, tai, pakitus metabolinių procesų pusiausvyrai, pakinta ir elektriniai miocitų potencialai, o EKG-oje registruojami pokyčiai, būtent ST segmento depresija. Taigi, funkcinių išeminių reiškinių vertinimas fizinio krūvio metu taip pat turi prasmę ir parodo širdies funkcines galimybes. Mūsų tyrimas atskleidė, kad po pusės metų sveikatą

stiprinančių pratybų ST segmento depresijos reikšmės sumažėjo. Šiaurietiškojo ėjimo grupės tiriamųjų šios reikšmės sumažėjo statistiškai reikšmingai, tai liudija apie didesnę šio poveikio efektyvumą sveikatą stiprinančiose pratybose.

Apibendrinant mūsų atlikto tyrimo rezultatus galima konstatuoti, kad organizmo funkcinę būklę ir jos pasikeitimą dėl pratybose atlikto krūvio galima nusakyti EKG ir AKS rodiklių, nustatytų atliekant dozuoto fizinio krūvio mėginį, kaitos ypatybėmis. Šešių mėnesių sveikatos stiprinimo pratybos, kuriose pagrindinis krūvis buvo šiaurietiškas ėjimas, ir pratybos, kurios buvo atliekamos sporto salėje su treniruokliais, kai daugiau dėmesio skiriama jėgos pobūdžio fiziniams krūviams, turėjo teigiamos įtakos sveikatą stiprinančių asmenų ŠKS funkciniai būklėi. Nors AKS rodiklių reikšmės ramybės būsenoje ir jo reakcijos į dozuoto krūvio mėginį reikšmingai nepakito, tačiau po šešių mėnesių reguliarių sveikatos stiprinimo pratybų atliekant dozuoto fizinio krūvio mėginį buvo registruojamas mažesnis laipsnio ŠSD padidėjimas, silpnesni funkciniai išeminiai reiškiniai miokarde. Tyrimas atkleidė keletą šiaurietiškojo ėjimo pranašumų, kurie yra reikšmingi pasirenkant pratimų pobūdį sveikatos stiprinimo pratybose. Būtent po šešių mėnesių trukmės šiaurietiškojo ėjimo pratybų labiau sumažėjo maksimalios ŠSD reikšmės, registruojamos atliekant fizinį krūvį, ir funkcinį išeminių reiškinų pasireiškimas miokarde negu dėl pratybų sporto salėje.

Išvados

Šešių mėnesių sveikatos stiprinimo pratybos, kuriose pagrindinis krūvis buvo šiaurietiškas ėjimas, ir pratybos, kurios buvo atliekamos sporto salėje su treniruokliais, turėjo teigiamos įtakos sveikatą stiprinančių asmenų širdies ir kraujagyslių sistemos funkciniai būklėi. Tyrimas atkleidė keletą šiaurietiškojo ėjimo pranašumų stiprinant sveikatą. Po pusės metų eksperimento šiaurietiškojo ėjimą praktikavusiųjų grupės tiriamiesiems, atliekantiems dozuoto fizinio krūvio užduotis, mažiau padidėja ŠSD ir pastebimas mažesnis funkcinį išeminių reiškinų pasireiškimas miokarde nei jėgos ugdymo pratimus sporto salėje praktikavusiems tiriamiesiems.

LITERATŪRA

1. Downward, P., Dawson, P., Mills, T. C. (2015). Sports participation as an investment in (subjective) health: a time series analysis of the life course. *J Public Health*, 6, 164.

2. Gondim, O. S., Camargo, V. T., Gutierrez, F. A., Martins, P. F., Passos, M. E., Momesso, C. M., Santos, V. C., Gorjão, R., Pithon-Curi, T. C., Cury-Boaventura, M. F. (2015). Benefits of regular exercise on inflammatory and cardiovascular risk markers in normal weight, overweight and obese adults. *PLoS One*, 10(10).
3. Hartvigsen, J., Morso, L., Bendix, T., Manniche, C. (2010). Supervised and non-supervised Nordic walking in the treatment of chronic low back pain: a single blind randomized clinical trial. *BMC Musculoskeletal Disord.*, 10.
4. Hlaing, T., DiMino, T., Kowey, P. R., Yan, G. X. (2005). ECG repolarization waves: their genesis and clinical implications. *Ann Noninvasive Electrocardiol*, 10(2), 211–223.
5. Hollmann, W. (2006). Heart and sports medicine-history and perspectives. *Deutsches Herzzentrum München*, 31(6), 500–506.
6. Karmisholt, K., Gotzsche, P. C. (2005). Physical activity for secondary prevention of disease. Systematic reviews of randomised clinical trials. *Dan Med Bull.*, 52(2), 90–94.
7. Knudsen, F., Hendriksen, I., Tak, E., Beekman, A. T., Hopman-Rock, M. (2012). Effect of running therapy on depression (EFFORT-D). Design of a randomised controlled trial in adult patients. *BMC Public Health*, 12(50).
8. Mikalacki, M., Cokorilo, N., Katić, R. (2011). Effect of Nordic walking on functional ability and blood pressure in elderly women. *Faculty of Sport and Physical Education*, 35(3), 889–894.
9. Schmidt, R. F., Thews, G. (1996). *Human Physiology*. London (2nd ed.).
10. Simic, M., Hinman, R. S., Wrigley, T. V., Bennell, K. L., Hunt, M. A. (2011). Gait modification strategies for altering medial knee joint load: A systematic review. *Arthritis Care Res (Hoboken)*, 63(3), 405–426.
11. Stief, F., Kleindienst, F., Wiemeyer, J., Wedel, F., Campe, S., Krabbe, B. (2008). Inverse dynamic analysis of the lower extremities during Nordic walking, walking, and running. *J Appl Biomech*, 24(4), 351–359.
12. Tschentscher, M., Niederseer, D., Niebauer, J. (2013). Health benefits of Nordic walking: a systematic review. *American Journal of Preventive Medicine*, 44(1), 76–84.
13. Vainoras, A. (2004). *Fizinių krūvių veikiamo žmogaus organizmo pokyčių vertinimo kompleksinis modelis. Kineziologijos pagrindai / Mokomoji knyga* (p. 195–206). KMU leidykla.
14. Vainoras, A., Daunoravičienė, A., Šiupšinskas, L., Zaveckas, V., Poderys, J., Maurickienė, V., Dulkienė, I., Sederskienė, V., Poškaitis, V., Sendžikaitė, E. (2008). *Kineziologija*. Kaunas: KMU.
15. Xie, X., Atkins, E., Lv, J., Bennett, A., Neal, B., Ninomiya, T., Woodward, M., MacMahon, S., Turnbull, F., Hillis, G. S., Chalmers, J., Mant, J., Salam, A., Rahimi, K., Perkovic, V., Rodgers, A. (2015). Effects of intensive blood pressure lowering on cardiovascular and renal outcomes: updated systematic review and meta-analysis. *N Engl J Med*, 11(7).
16. Žumbakytė, R., Vainoras, A., Kajėnienė, A., Berškienė, K., Augutienė, V. (2006). Krepšininkų, futbolininkų ir nesportuojančiųjų atsigavimo proceso ypatybės po submaksimalaus fizinio krūvio mėginio. *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas*, 3(62), 59–64.

CARDIOVASCULAR ADAPTATION TO THE NORDIC WALKING OR STRENGTH TYPE OF EXERCISING FOR HEALTH PROMOTION

Živilė Kairiūkštienė, Deividas Velička, Prof. Habil. Dr. Jonas Poderys
Lithuanian Sport University, Lithuanian University of Health Sciences

SUMMARY

The aim of this study was to identify the influence of different kinds of health enhancing exercising (*strength-training and Nordic walking*) on the cardiovascular system. 28 healthy volunteers were involved into this study and they were randomly divided into two groups. There was no statistical significant difference between the groups in age, weight, sex, resting heart rate and arterial blood pressure (ABP). The first group was involved in regular exercising by use the Nordic walking and the second – strength type of exercising in the gym. Both groups training sessions were applied for 6 month, three times per week, for 90 minutes each training session. The cardiovascular functional state was assessed by continuous recording 12-lead ECG while performing a Roufier exercise test (30 squats per 45 s), and measuring the ABP. The values and changes in heart rate (HR), duration of JT interval and ST-segment depression were analysed.

There was no significant change ($p > 0.05$) in ABP and HR values at rest during the 6 months of exercising. The reaction of cardiovascular system to Roufier exercise test revealed that after six months of regular exercising by applying the Nordic walking

program HR decreased while the strength type of exercising in the gym for same period of time did not change HR considerably ($p > 0.05$). The increase of HR during Roufier exercise test did not changed after 6 months of exercising in the gym ($p > 0.05$). The six-month exercising in the gym did not influenced the ST-segment depression changes during Roufier exercise test ($p > 0.05$) but after six months of Nordic walking the ST-segment depression during the Roufier exercise test decreased ($p < 0.05$). A six months period of different types of health enhancing exercises did not influence the ECG parameters changes during Roufier exercise test ($p > 0.05$).

The six months health enhancing exercising by applying the Nordic walking tasks and the strength type of exercising at the gym had a positive impact on the functional state of cardiovascular system. The study revealed some advantages of the Nordic walking, i.e. the greater decrease in HR during the exercise workload and the less cardiac ischemic episodes were expressed.

Keywords: Nordic walking, strength exercising, cardiovascular system.

Jonas Poderys
Lietuvos sporto universiteto Kineziologijos laboratorija
Aušros g. 42A-31, LT-44221 Kaunas
Tel. +370 37 302 650
El. paštas: liudas.poderys@lsu.lt

DIFFERENTIAL TRAINING TASKS TRIGGER THE DECREASE OF CONCATENATION BETWEEN CARDIOVASCULAR PARAMETERS

Deivydas Velička¹, Gilija Bernotienė¹, Kristina Poderienė²,
Alfonsas Vainoras¹, Jonas Poderys²

Lithuanian University of Health Sciences¹, Kaunas, Lithuania
Lithuanian Sports University², Kaunas, Lithuania

ABSTRACT

Background. A lot of studies have shown the Differential Training (DT) is more effective than the traditional training based on repetition at constant conditions. The aim of this study was to find the changes in dynamical concatenation between ECG parameters during the DT task.

Methods. Participants (13 healthy adult males) performed two balance tests standing on LIBRA balance board. Continuous ECG registration during both balance tests and during the rest was 3 minutes. The changeable parametric interactions and its dynamics during exercise tasks while monitoring ECG parameters and its data sequences analysis based on mathematical method based on matrix theory were applied, the concatenation between ECG parameters were analysed.

Results. Results obtained during the study showed that there were no drastic differences between ECG parameters while performing both balance tests. The concatenation between analysed ECG parameters increased or there was no significant change. The decrease of concatenation was observed during the second task while the participants performed the squats standing on the balance board. This type of change in concatenation was found during the analysis of all ECG parameters, i.e. between duration of RR intervals and QRS, between JT and RR intervals and between QRS and JT intervals.

Conclusion. DT tasks trigger the decrease of concatenation between cardiovascular parameters that allows discussing about the hypothesis that decrease of concatenation between systemic regulatory commands and cardiac metabolic changes could be one of possible chain activating and enhancing the efficiency of long-term adaptation at conditions of DT.

Keywords: cardiovascular system, concatenation, Differential Training.

INTRODUCTION

The discussion on schedule of the training session is an important research question. How to make motor learning and training more efficient and effective is important for sports practices as well. The application of variable practice has achieved acceptance as being beneficial for motor learning processes. Numerous studies have demonstrated enhanced motor learning performance in variable practice over repetitive learning schedules (Beckmann, 2013).

The new methodology of so called “Differential Learning” (DL) or “Differential Training” (DT) was introduced (Schöllhorn, 1999, 2000) and this approach has been applied in the context of motor learning and extensively investigated by Schöllhorn and collaborates (Frank, Michelbrink, Beckmann, & Schöllhorn, 2008; Schöllhorn, Beckmann, Janssen, & Drepper, 2010). It was shown that DT was more effective than traditional training (TT). DT scheduled on movement variations are from a

traditional point of view considered as movement errors and accordingly have to be avoided in common motor learning schedules (Schöllhorn, 1999; Henz & Schöllhorn, 2016). The effectiveness of DT was shown for track and field (Beckmann & Gotzes, 2009; Beckmann & Schöllhorn, 2006), handball (Wagner & Müller, 2008), basketball (Lattwein, Henz, & Schöllhorn, 2014), volleyball (Römer, Schöllhorn, Jaitner, & Preiss, 2009), ice-skating (Savelsbergh, Kamper, Rabijs, De Koning, & Schöllhorn, 2010), hockey (Beckmann, Winkel, & Schöllhorn, 2010). Most intriguingly, DT not only leads to increased acquisition rates but also to increased learning rates (Beckmann & Schöllhorn, 2006; Savelsbergh et al., 2010).

Internal body changes during exercising are a trigger for long-term adaptation (Saltin, & Rowell, 1980; Boström et al., 2013; Alleman et al., 2015). A number of physiological changes can be described as activation of mechanisms responsible for maintaining of homeostasis. Thus, these changes are an important because this is a trigger for activation of long-term adaptation processes taking place in the body during the recovery process (Boström, Graham, & Georgiadi, 2013).

Cardiovascular system is a vital body system and plays an important role in long-term adaptation to workloads. There are relatively small cardiovascular changes at onset of low intensity exercising and thus could be a good situation to vary by exercising tasks and compare dynamical concatenation between cardiovascular parameters. A lot of studies have shown that the Differential Training (DT) is more effective than the traditional training based on repetition at constant conditions. However, the underlying mechanisms are not fully understood. We hypothesised that the fine tuning between various body fractal levels is an important for sports performance and the disruption or the temporally loss of these interaction could be a trigger for long term adaptation. The aim of this study was to determine the changes in dynamical concatenation between ECG parameters during the DT task.

METHODS

Thirteen healthy adult male volunteers took part in this study. After adaptation to the laboratory environmental all participants performed two balance tests by standing on LIBRA balance board. The first balance task was without additional disturbances and during the second balance task the

participant was asked to perform squats, i.e. in this task, while each next squat had to be performed at constantly changing conditions, which means that this situation was more close to the methodology of DT.

The continuous 12-lead ECG registration was done before and after each balance task. Continuous ECG registration during both balance tests and during the rest was 3 minutes. In this study the changeable parametric interactions and its dynamics during exercise tasks ECG parameters (*RR intervals*; *JT intervals and duration QRS complex*) monitoring and its data sequences analysis based on mathematical method based upon matrix theory were applied. According to the model of integral evaluation of body functioning during exercising the concatenation between the two chosen ECG parameters were analysed. Two synchronous signals (ECG parameters) were taken at discrete time intervals and after normalization (to interval [0; 1]) by the difference between maximal and minimal physiological values. The data was normalized using the formula

$$x_{new\ value} = \frac{x_{old\ value} - x_{min}}{x_{max} - x_{min}},$$

where x_{min} and x_{max} are minimal and maximal physiological values of parameter.

These signals are co-integrated into the second order matrix. From the initial parameters of the matrix (difference $dfr\ A_n = x_n - y_n$ and co-diagonal product $cdp\ A_n = ab(x_{n+1} - y_{n+1})(x_{n+1} - y_{n+1})$, in both cases x_n and y_n are real numbers and they represent the recorded parameters) follow characteristic which has more comprehensive sense, i.e. discriminant (Dsk):

$$Dsk\ A_n = (dfr\ A_n)^2 + 4\ cdp\ A_n$$

Large Dsk values indicate low inter-parametric concatenation, whereas small Dsk values (close to zero) correspond to high interaction between the analysed parameters.

Statistical analysis. Kolmogorov-Smirnov test was used to determine whether data had an underlying normal distribution and the requirement for homogeneity variance of compared samples that was verified with Levene's test. The difference was regarded as statistically significant if $p < .05$. The values are reported as arithmetical mean $\pm$ standard error of the mean (SEM).

RESULTS

The results of this study were analysed on the basis of the statement that the complexity of a dynamic system decreases with the loss of parametric independence (Alleman, Stewart, Tsang, & Brown, 2015). Research (Costa, Peng,

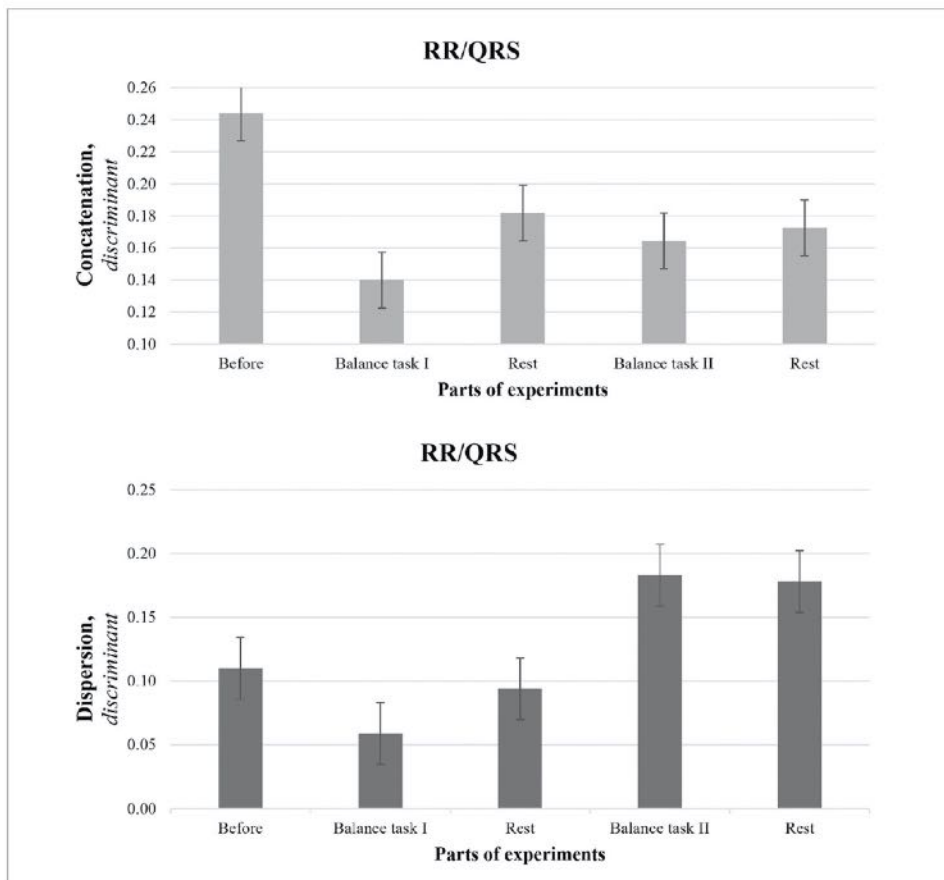
& Goldberger, 2008) shows that the increase of concatenation between cardiovascular indices begins at the onset of exercise. This type of changes can be observed during some stages of workload but reaching some functional state

Table. ECG parameters registered during various parts of experiment

Index	Before	First balance task	Rest	Second balance task	Rest
HR <i>b/min</i>	77.8 ± 4.0	89.3 ± 4.2	81.5 ± 4.2	90.7 ± 3.5	83.7 ± 4.4
JT <i>ms</i>	249.5 ± 7.7	235.7 ± 7.9	245.3 ± 8.2	234.6 ± 6.7	238.6 ± 7.9
QRS <i>ms</i>	84.4 ± 1.7	85.7 ± 2.1	85.6 ± 1.6	87.8 ± 2.0	85.3 ± 1.4

Note. Averaged data of 3 minutes during each part of experiment.

Figure 1. Concatenation between ECG parameters RR intervals & duration of QRS



Note. According to the model of integral evaluation (Vainoras, 2002) RR – represents systemic regulatory response; QRS represents organ level regulatory response.

(fatigue) the increase of concatenation has changed in an opposite direction, i.e. the decrease or loss of these concatenations leads to inability to continue exercising.

Results obtained during the study showed that there was no drastic difference between the values of registered ECG parameters while performing both balance tests by standing on LIBRA balance board. The values of RR intervals were 0.93 ± 0.04 s – before exercising; 0.85 ± 0.03 s – during the first and 0.69 ± 0.02 s – during the second exercise tasks. In the Table these data presented as HR values during various part of experiment. The results obtained during this study showed that even low intensity of exercising at constantly changing conditions triggers some changes between cardiovascular parameters.

Figures 1–3 present the data obtained during data sequences analysis based on mathematical method based on matrix theory. The increase of concatenation between systemic and organ level

commands while exercising presented in Figure 1 ($D_{RR,QRS}$ was 0.24 ± 0.01 – before exercising and $D_{RR,QRS}$ was 0.14 ± 0.01 and 0.16 ± 0.01 – during the first and second balance tasks). There were no significant changes in concatenation between parameters representing peripheral (organ) regulatory commands and metabolic changes (the initial values of $D_{QRS/JT}$ was 0.28 ± 0.01 ; during the first balance task 0.27 ± 0.01 and 0.25 ± 0.01 – during the second task), these data presented in Figure 2. The concatenation between systemic regulatory commands and metabolic changes significantly ($p < .05$) decreased, these data presented in Figure 3. We should point that the increase of complication of the motor task lead to more expressed decrease of this concatenation, i.e. $D_{RR/JT} = 0.13 \pm 0.05$ while performing the first balance task and $D_{RR/JT}$ was 0.16 ± 0.06 while performing the second balance task, i.e. the squats were performed at constantly changing conditions.

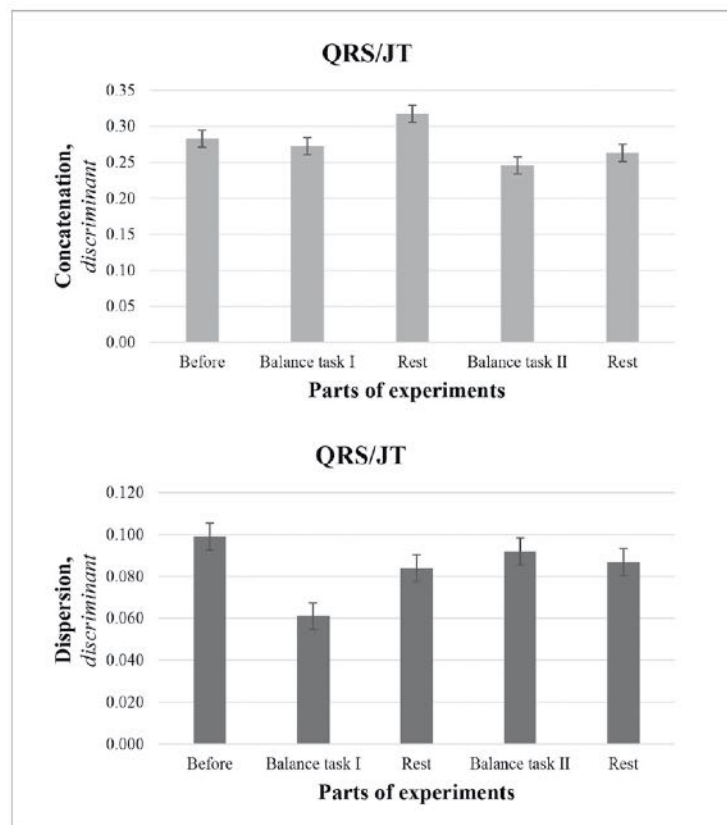
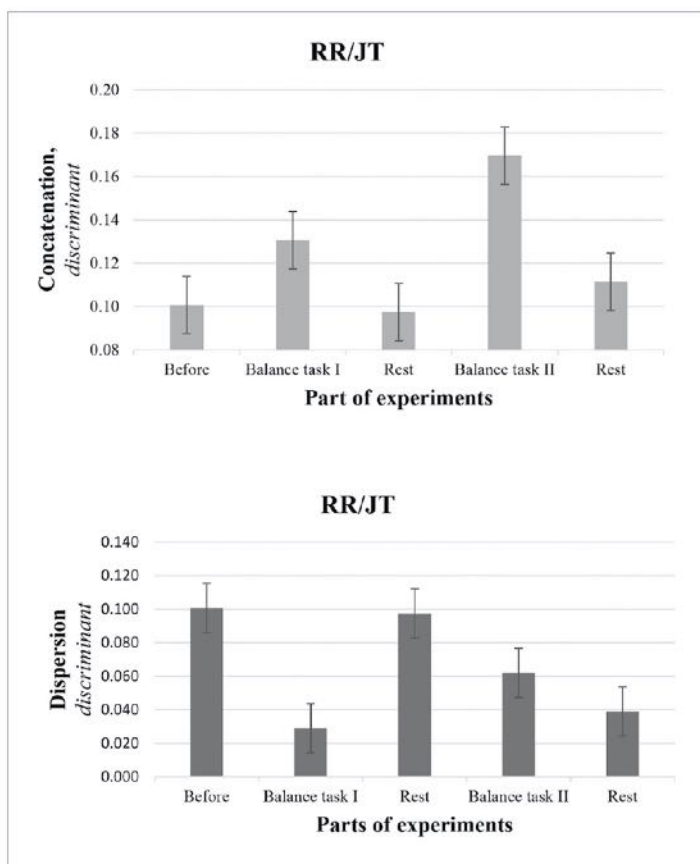


Figure 2. Concatenation between ECG parameters QRS duration & JT interval

Note. According the model of integral evaluation (Vainoras, 2002) QRS – organ level regulatory response; JT represents cardiac metabolic response.

Figure 3. Concatenation between ECG parameters RR & JT intervals



Note. According the model of integral evaluation (Vainoras, 2002) RR – represents systemic regulatory response; JT represents cardiac metabolic response.

DISCUSSION

The task to keep balance while standing on balance board can be described as movement a variation that is closely to DT tasks. The second task, i.e. to perform the squats during the balance test while each next squat should be performed at constantly changing conditions, what means this situation was more complicated, more unexpected and both balance tasks laid in line with the requirements of the DT methodology.

Results obtained during the study showed that there were no drastic differences between the values of registered ECG parameters while performing both balance tests by standing on LIBRA balance board. The significant difference in the type of change of concatenation between registered ECG indices was distinguished. The

concatenation between analysed ECG parameters increased or there was no significant change while performing the balance task by standing on LIBRA balance board only. The decrease of concatenation was observed during the second task while the participants performed the squats standing on the balance board. This type of change in concatenation was found during the analysis of all ECG parameters, i.e. between duration of RR intervals and QRS; between JT and RR intervals and between QRS and JT intervals.

A dynamical concatenation shows the interactions of components and changes of their interconnections (Bikulčienė, Navickas, Vainoras, Poderys, & Ruseckas, 2009; Poderys et al., 2015). According the model of integral evaluation

(Vainoras, 2002) dynamical concatenation $D_{RR/QRS}$ describes intersystemic concatenation between two fractal levels, i.e. the link between responses of systemic and organ levels; $D_{RR/TT}$ describes relationship between regulatory and supplying systems (metabolic response) and $D_{TT/QRS}$ describes relationship between organ level regulatory response and cardiac metabolic response (Vainoras, 2002; Telatavičienė, 2014).

Internal body changes occurred during exercising is a trigger for long-term adaptation. Mobilization of cardiovascular system during exercise tasks is warranted that the body meets the demands of exercising muscles. Aside from matching changes in ECG exercise also induces preconditioning whereby the body is more resistant even long after the exercise has ceased. So the physiological changes occurred during exercising are important trigger activating the long-term adaptation processes taking place in the body during the recovery process. All physiological systems undergo specific adaptations that increase the body's efficiency and capacity. The magnitude of these changes depends largely not only on the intensity and duration of the training sessions but on the content, i.e. on the type of motor tasks, as well.

A lot of evidence showing that DT is more effective than TT may be is that in repetitive training the training processes are stimulated less than in DL (Henz & Schöllhorn, 2016). One line

of argumentation might be that due to repetitive movement performance habituation processes of the cognitive and motor system are to be postulated (Henz & Schöllhorn, 2016). However, the underlying mechanisms are not fully understood, and there is currently much focus on detailing such pathways (Boström et al., 2013).

In contrast, in repetition based motor learning movements are performed with a large number of repetitions without voluntary variations until a predefined ideal state of movement is reached. The system dynamic approach states that living systems show fluctuations continuously and an increase of fluctuations before a phase transition has the purpose to find a new and more effective mode. Within the DT approach, fluctuations during the motor learning process are a fundamental basis for improvement (Henz & Schöllhorn, 2016).

CONCLUSION

Differential training tasks trigger the decrease of concatenation between cardiovascular parameters, that allows to discuss about the hypothesis that decrease of concatenation between systemic regulatory commands and cardiac metabolic changes could be one of possible chain activating and enhancing the efficiency of long-term adaptation at conditions of differential training.

REFERENCES

- Alleman, R.J., Stewart, L.M., Tsang, A.M., & Brown, D.A. (2015). Why does exercise "trigger" adaptive protective responses in the heart? *Dose Response*, 13(1). doi: 10.2203/dose-response
- Beckmann, H., & Gotzes, D. (2009). Differenzielles lehren und lernen in der leichtathletik. *Sportunterricht*, 58, 46–50. [DL teaching and learning in track and field]. *Physical Education*, 58, 46–50.
- Beckmann, H., & Schöllhorn, W.I. (2006). Differenzielles Lernen im Kugelstoßen. *Leistungssport* 36, 44–50. [Differential training in shot put]. *Competitive Sports*, 36, 44–50.
- Beckmann, H. (2013). Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Variationsbereiche des differenziellen Lernens und Lehrens im weiten Sinn auf ausgewählte technische Grundfertigkeiten im Hallenhockey. [Examination on effects of different variations in differential learning and teaching on selected techniques in hockey]. PhD thesis. Johannes-Gutenberg Universität,
- Mainz. Retrieved from <http://ubm.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2013/3606>
- Beckmann, H., Winkel, C., & Schöllhorn, W. I. (2010). Optimal range of variation in hockey technique training. *International Journal of Sports Psychology*, 41, 5–10.
- Bikulčienė, L., Navickas, Z., Vainoras, A., Poderys, J., & Ruseckas, R. (2009). Matrix analysis of human physiologic data. *Proceedings of International Conference on Information Technology Interfaces* (pp. 41–46). University of Zagreb.
- Boström, P. A., Graham, E. L., Georgiadi, A., & Ma, X. (2013). Impact of exercise on muscle and non-muscle organs. *IUBMB Life*, 65(10), 845–50. doi: 10.1002/iub.1209
- Costa, M. D., Peng, C. K., & Goldberger, A. L. (2008) Multiscale Analysis of Heart Rate Dynamics: Entropy and Time Irreversibility Measures. *Cardiovascular Engineering*, 8, 88–93.

- Frank, T. D., Michelbrink, M., Beckmann, H., & Schöllhorn, W. I. (2008). A quantitative dynamical systems approach to differential learning: Self-organization principle and order parameter equations. *Biological Cybernetics*, 98, 19–31. 10.1007/s00422-007-0193-x
- Henz, D., & Schöllhorn, W. (2016). Differential Training facilitates early consolidation in motor learning. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 21(10), 199. doi: 10.3389/fnbeh.2016.00199
- Lattwein, M., Henz, D., & Schöllhorn, W. I. (2014). Differential training as an intervention strategy to prevent choking under pressure in basketball free-throw. In *Book of Abstracts of the 19th Annual Congress of the European College of Sport Science – 2nd–5th July 2014*. A. De Haan, C. J. De Ruitter, E. Tsolakidis (Eds.). Utrecht: Digital Printing Partners.
- Poderys, J., Bikulčienė, L., Trinkūnas, E., Poderienė, K., Buliuolis, A., & Vainoras, A. (2015). Matrix analysis of ECG parameters may be a way to improve quality of functional state monitoring during exercising. *Baltic Journal of Sport and Health Sciences*, 5, 39–45.
- Römer, J., Schöllhorn, W. I., Jaitner, T., & Preiss, R. (2009). Differenzielles Lernen im Volleyball. Sportunterricht, 58, 41–45. [Differential training in volleyball]. *Physical Education*, 58, 41–45.
- Saltin, B., & Rowell, L. B. (1980). Functional adaptations to physical activity and inactivity. *Federation Proceedings*, 39, 1506–1513.
- Savelsbergh, G. J. P., Kamper, W. J., Rabijs, J., De Koning, J. J., & Schöllhorn, W. I. (2010). A new method to learn to start in speed skating: A differential learning approach. *International Journal of Sports Psychology*, 41, 415–427.
- Schöllhorn, W. I. (2000). Applications of systems dynamic principles to technique and strength training. *Acta Academiae Olympicae Estoniae*, 8, 67–85.
- Schöllhorn, W. I., Beckmann, H., Janssen, D., & Drepper, J. (2010). Stochastic perturbations in athletics field events enhance skill acquisition. In *Motor Learning in Practice. A Constraints-Led Approach*. London: Routledge.
- Schöllhorn, W. I. (1999). Individualität – ein vernachlässigter Parameter? *Leistungssport* 29, 7–11. [Individuality – a neglected parameter?] *Competitive Sports*, 29, 7–11.
- Taletavičienė, G. (2014). *Changes of electrocardiographic parameters and their dynamic concatenations during whole-body cryotherapy and peloidotherapy procedures. Summary of the Doctoral Dissertation*. Kaunas: Lithuanian University of Health Sciences Medical Academy.
- Vainoras, A. (2002). Functional model of human organism reaction to load – evaluation of sportsman training effect. *Education. Physical Training. Sport*. 3, 88–93.
- Wagner, H., & Müller, E. (2008). The effects of differential and variable training on the quality parameters of a handball throw. *Sports Biomechanics*, 7, 54–71. doi: 10.1080/14763140701689822

Received on November 07, 2016
Accepted on December 09, 2016

Corresponding author **Deividas Velička**
Lithuanian University of Health Sciences
A. Mickevičiaus str. 9, Kaunas LT-44307
Lithuania
Email velicka.d@gmail.com

PRIEDAI

1 priedas



KAUNO REGIONINIS BIOMEDICININIŲ TYRIMŲ ETIKOS KOMITETAS

Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, A. Mickevičiaus g. 9, LT-44307 Kaunas, tel. (+370) 37 32 68 89; el. paštas: kaunorbtek@ismuni.lt

LEIDIMAS ATLIKTI BIOMEDICININĮ TYRIMĄ

2015-03-26 Nr. BE-2-10

Biomedicininio tyrimo pavadinimas:	"Įvairaus kryptingumo treniruotės mikrociklų įtaka sportuojančiųjų parengtumui ir funkcinei būklei"
Protokolo Nr.:	1
Data:	2015-02-17
Versija:	2
Asmens tėvų (globėjų) informavimo forma	2015-02-17, versija Nr. 2
Asmens informavimo forma	2015-02-17, versija Nr. 2
Pagrindinis tyrėjas:	Prof. Habil.dr. Jonas Poderys
Biomedicininio tyrimo vieta:	Lietuvos sporto universitetas
Įstaigos pavadinimas:	Sporto g. 6, LT-44221, Kaunas, Lietuva
Adresas:	Kineziologijos laboratorija
	Aušros g. 42A, Kaunas

Išvada:

Kauno regioninio biomedicininio tyrimų etikos komiteto posėdžio, įvykusio **2015 m. vasario 5 d.** (protokolo Nr. BE10-2) sprendimu pritarta biomedicininio tyrimo vykdymui.

Mokslinio eksperimento vykdytojai įsipareigoja: (1) nedelsiant informuoti Kauno Regioninį biomedicininio Tyrimų Etikos komitetą apie visus nenumatytus atvejus, susijusius su studijos vykdymu, (2) iki sausio 15 dienos – pateikti metinį studijos vykdymo apibendrinimą bei, (3) per mėnesį po studijos užbaigimo, pateikti galutinį pranešimą apie eksperimentą.

Kauno regioninio biomedicininio tyrimų etikos komiteto nariai			
Nr.	Vardas, Pavardė	Veiklos sritis	Dalyvavo posėdyje
1.	Prof. Romaldas Mačiulaitis	Klinikinė farmakologija	taip
2.	Prof. Edgaras Stankevičius	Fiziologija, farmakologija	taip
3.	Doc. Eimantas Peičius	Filosofija	taip
4.	Dr. Ramunė Kasperavičienė	Kalbotyra	ne
5.	Med. dr. Jonas Andriuskevičius	Chirurgija	taip
6.	Agnė Krušinskaitė	Teisė	taip
7.	Prof. Skaidrius Miliauskas	Pulmonologija, vidaus ligos	taip
8.	Med. dr. Rokas Bagdonas	Chirurgija	ne
9.	Eglė Vaižgelienė	Visuomenės sveikata	taip

Kauno regioninis biomedicininio tyrimų etikos komitetas dirba vadovaudamasis etikos principais nustatytais biomedicininio tyrimų Etikos įstatyme, Helsinkio deklaracijoje, vaistų tyrinėjimo Geros klinikinės praktikos taisyklėmis.

Pirmininkas

Prof. Romaldas Mačiulaitis





VALSTYBINĖ DUOMENŲ APSAUGOS INSPEKCIJA

Lietuvos sveikatos mokslų universitetui
A. Mickevičiaus g. 9, 44307 Kaunas
(registruotu paštu ir el. paštu: velicka.d@gmail.com)

Pagr. tyrėjas prof. habil. dr. J. Poderys

SPRENDIMAS
DĖL LEIDIMO LIETUVOS SVEIKATOS MOKSLŲ UNIVERSITETUI
ATLIKTI ASMENS DUOMENŲ TVARKYMO VEIKSMUS

2017 m. balandžio 18 d. Nr. 2R-*2284* (2.6-1.)
Vilnius

Valstybinė duomenų apsaugos inspekcija, išnagrinėjusi Lietuvos sveikatos mokslų universiteto pateiktą 2017-03-09 Pranešimą dėl išankstinės patikros Nr. DVT2-383 (toliau – Pranešimas) (Inspekcijoje gauta 2017-03-13, reg. Nr. 1R-1867), taip pat 2017-03-22 raštu Nr. DVT2-473 ir 2017-04-03 raštu Nr. DVT2-529 pateiktus Pranešimo patikslinimus (Inspekcijoje gauta 2017-03-27, reg. Nr. 1R-2278 ir 2017-04-06 reg. Nr. 1R-2605) dėl asmens duomenų tvarkymo mokslinio medicininio tyrimo tikslu,

n u s t a t ė,

kad Pranešime ir jo patikslinimuose nurodyti asmens duomenų tvarkymo veiksmai atitinka Lietuvos Respublikos asmens duomenų teisinės apsaugos įstatyme nustatytus asmens duomenų tvarkymo ir duomenų subjektų teisių įgyvendinimo reikalavimus bei numatytos tinkamos organizacinės ir techninės duomenų saugumo priemonės.

Valstybinė duomenų apsaugos inspekcija, vadovaudamasi Lietuvos Respublikos asmens duomenų teisinės apsaugos įstatymo 33 straipsniu, Valstybinės duomenų apsaugos inspekcijos direktoriaus 2016 m. birželio 22 d. įsakymu Nr. IT-23 patvirtintų Išankstinės patikros atlikimo taisyklių 12 ir 19.2 punktais,

n u s p r e n d ė i a

Lietuvos sveikatos mokslų universitetui išduoti leidimą atlikti Pranešime ir jo patikslinimuose nurodytų asmens duomenų apie sveikatą tvarkymo mokslinio medicininio tyrimo „Ivairaus kryptingumo fizinių pratybų poveikio, grindžiamo diferencinio mokymo metodika, įtaka širdies ir kraujagyslių sistemai“ tikslu veiksmus.

Direktoriaus pavaduotoja
atliekanti direktoriaus funkcijas



Dijana Šinkūnienė

Atkurtai
Lietuvai

D. Almanienė, tel. (8 5) 219 7277, el. p. dovile.almaniene@ada.lt

Biudžetinė įstaiga
A. Juozapavičiaus g. 6
LT-09310 Vilnius

Tel. (8 5) 279 1445
Faks. (8 5) 261 9494
El. p. ada@ada.lt

Duomenys kaupiami ir saugomi
Juridinių asmenų registre
Kodas 188607912

Diferencinio ėjimo pratimų atlikimo eiliškumas

Tiriamieji atliko šias variacijas:

- 1 pratimas: Rankos į šalis.
- 2 pratimas: Plaštakos sukimas atgal.
- 3 pratimas: Alkūnės sukimas atgal.
- 4 pratimas: Pečių sukimas atgal.
- 5 pratimas: Rankų sukimas: abiejų.
- 6 pratimas: Rankų sukimas: viena paskui kitą.
- 7 pratimas: Rankų sukimas: viena pirmyn, kita atgal.
- 8 pratimas: Rankų siekimas aukštyn, žemyn.
- 9 pratimas: Rankų sukimas į šonus.
- 10 pratimas: Suktis aplink ašį.
- 11 pratimas: Suktis aplink ašį (pečių kėlimas ir nuleidimas).
- 12 pratimas: Rankų ištiesimas ir pirštų išskėtimas.
- 13 pratimas: Lenkimas su atrama.
- 14 pratimas: Rankos sunertos už galvos ir sukti pečių juostą.
- 15 pratimas: Rankos į šalis, sukti rankas (išsukti) rankos ištiesios.



Diferencinio ėjimo pratimų atlikimo schema

CURRICULUM VITAE

Name, Surname: Deivydas Velička

Address: Lithuanian University of Health Sciences, Sports center, Department of Sports Medicine, Tilžės 18, LT-47181 Kaunas, Lithuania

Phone: +370 604 11019

E-mail: deivydas.velicka@lsmuni.lt

Education:

2015–2019 Lithuanian University of Health Sciences, Medical Academy, Faculty of Nursing; Department of Sports Medicine, Doctoral studies

2007–2009 Lithuanian Academy of Physical Education; Master’s degree of Educology Science

2001–2005 Lithuanian Academy of Physical Education; Bachelor’s degree of Sports Science

Work experience:

2019–till present Lithuanian University of Health Sciences, Head of the Sports center

2019–till present Lithuanian University of Health Sciences, Department of Sports Medicine; Lecturer

2012–2019 Lithuanian University of Health Sciences, Institute of of Sport; Lecturer

2010–2012 Lithuanian University of Health Sciences; Department of Kinesiology and Sports Medicine; Lecturer

2006–2010 Lithuanian Veterinary Academy; Department of Physical Education; Lecturer

2003–2007 Basketball Club “Tornadas”; Coach

2002–2004 Basketball Club “Olimpas”; Founder, Coach

PADĖKA

Rengiant mokslinį darbą, labai rūpestingai man vadovavo disertacinio darbo vadovas, **prof. habil. dr. Jonas Poderys**, pasižymintis išskirtiniais gebėjimais, profesiniu pasišventimu, visada jautrus, dėmesingas. Jis rodė mokslo kelią, tikėjo mano nusiteikimu ir kryptingumu. **Iš visos širdies dėkoju Profesoriumi** linkėdamas jam naujų mokslo pasiekimų, ryškios dabarties ir veiklaus, darbštaus rytojaus. Dėkoju Profesoriaus vadovaujamai LSU Sporto mokslo ir inovacijų instituto Kineziologijos laboratorijos kolektyvui už galimybę atlikti mokslinius tyrimus.

Nuoširdžiausiai dėkoju konsultantui, **prof. habil. dr. Alfonsui Vainorui** už supažindinimą su mokslo pasauliu, už nuoširdumą, vertingas mokslines idėjas, už nuolatinį palaikymą, kritines pastabas, mokslines diskusijas, gyvenimiškus patarimus.

Ypatingą padėką skiriu **Sporto medicinos klinikos kolektyvui** už šiltą ir nuoširdų palaikymą, geranoriškumą, dėmesingumą, vertingus patarimus bei suteiktas galimybes tobulėti.

Lieku dėkingas konsultantui **Prof. dr. Wolfgang Immanuel Shollhorn** už diskusijas ir patarimus diferencinio mokymo metodo klausimais.

Dėkoju recenzentui **prof. dr. Raimondui Kubiliui** už naudingus patarimus ir pastabas, kurios buvo labai naudingos tobulinant disertacinį darbą.

Nuoširdžiausiai dėkoju žmonai **Dovilei ir sūnui Matui** už didelę kantrybę, supratingumą, palaikymą ir tikėjimą.

Nuoširdžiausia ačiū taviu tėvams už nuolatinį rūpinimąsi, padrąsinimą ir tikėjimą manimi.

Dėkoju visiems geriems mano gyvenimo kely sutiktiems žmonėms, kurie padėjo man, įvertino mano nuoširdų triūsą.