

# DEGUONIES ĮSOTINIMO ŠLAUNIES RAUMENYJE IR ŠIRDIES FUNKCINIŲ RODIKLIŲ KAITA ATLIEKANT PAKOPOMIS DIDINAMĄ KRŪVĮ VELOERGOMETRU

Birutė Miseckaitė<sup>1</sup>, Vytautas Poškaitis<sup>2</sup>, Kristina Poderytė<sup>2</sup>, Alfonsas Vainoras<sup>2</sup>,  
Julija Andrejeva<sup>1</sup>, Jonas Poderys<sup>1,2</sup>

Lietuvos kūno kultūros akademija<sup>1</sup>, Kauno medicinos universitetas<sup>2</sup>, Kaunas, Lietuva

**Birutė Miseckaitė.** Biomedicinos mokslų magistrė. Lietuvos kūno kultūros akademijos Kineziologijos laboratorijos mokslo darbuotoja. Mokslinių tyrimų kryptis — organizmo funkcinės būklės kompleksinis vertinimas.

## SANTRAUKA

*Tyrimo tikslas — išsiaiškinti, ar audinių infraraudonosios spektroskopijos metodu registruojami rodikliai leidžia tiksliau vertinti širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinę būklę, t. y. centrinių ir periferinių, kraujotakos rodiklių kitimo sąsajas veloergometrinio krūvio metu.*

*Tirti 27 savanoriai sveiki vyrai: amžius —  $32,7 \pm 1,8$  m.; ūgis —  $180,9 \pm 0,03$  cm; KMI —  $25,3 \pm 0,6$ . Tiriamieji turėjo atlikti pakopomis didinamą veloergometrinį krūvį, kurio metu registruojama elektrokardiograma, matuojamas arterinis kraujospūdis ir deguonies įsotinimas šlaunies raumenyje (m. vastus lateralis).*

*Tyrimo rezultatai parodė, kad registruojama deguonies įsotinimo kaita priklauso nuo fizinio krūvio sunkumo. Deguonies įsotinimo kaitos vertinimas atliekant pakopomis didinamą krūvį veloergometru rodo periferinių kraujagyslių vazodilatacijos ar vazokonstrikcijos efektus. Didinant fizinio krūvio intensyvumą iki tol, kol tiriamasis nebepajėgia jo atlikti, deguonies įsotinimo kreivės kinta priklausomai nuo tiriamojo funkcinio parengtumo. Tarp didesnio darbingumo tiriamųjų nebuvo užregistruota reikšmingų elektrokardiogramos ST segmento depresijos pokyčių, o deguonies įsotinimo kreivė, atliekant pakopomis didinamą krūvį, vis krito. Tarp mažesnį krūvį tegebėjusių atlikti tiriamųjų deguonies įsotinimo kreivė pradėjo krito, o kilti pradėjo tada, kai krūvis pasidarydavo tiriamajam per sunkus, ir elektrokardiograma užfiksavo reikšmingą ST segmento depresijos didėjimą. Taigi deguonies įsotinimo kreivės kilimas (antra fazė) rodo širdies darbingumo ribą.*

*Apibendrinant galima teigti, kad infraraudonosios spektroskopijos metodu registruojami rodikliai leidžia tiksliau vertinti širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinę būklę, t. y. centrinių ir periferinių, kraujotakos reguliavimo rodiklių sąsajas.*

**Raktažodžiai:** darbingumas, širdies ir kraujagyslių sistema, deguonies įsotinimas.

## IVADAS

Parengtumo ir funkcinės būklės vertinimas yra labai svarbus darbo etapas planuojant sportininko treniruotės krūvius, sudarant sveikatos stiprinimo programas. Sportuojančių asmenų parengtumui ir funkcinėi būklei įvertinti taikomi fizinio krūvio testai. Plačiai taikomi pakopomis didinami krūviai veloergometru, registruojant elektrokardiogramą (EKG) ir matuojant arterinio kraujo spaudimo (AKS) kitimą (Vainoras, 1996; Poderys, 2000; Žumbakytė, 2006 ir kt.). Deja, tokių tyrimų metu raumenų kraujotakos ar deguonies įsotinimo aktyviuosiuose raumenyse

ypatybės retai vertinamos. Pastaruoju metu atsirado galimybė neinvaziniu audinių spektroskopijos metodu nenutrūkstamai registruoti deguonies kiekio pokyčius dirbančiame raumenyje (Mancini ir kt., 1994; Valic et al., 2006). Audinių infraraudonosios spektroskopijos naudojamos šviesos bangos ilgis yra 650–1000 nm. Infraraudonieji spinduliai lengvai parsiskverbia pro odą ir poodinius audinius. Audinio prisotinimas deguonimi nustatomas pagal šviesos kiekį, kurį absorbuoja ir parodo hemoglobinas. Šviesa sąlygiškai lengvai prasiskverbia pro audinius, tačiau deguonį

atidavęs ir deguonimi prisotintas hemoglobinas absorbuoja skirtingo ilgio šviesos spindulius.

**Tyrimo tikslas** — išsiaiškinti, ar audinių infraraudonosios spektroskopijos metodu registruojami rodikliai leidžia tiksliau vertinti širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinę būklę, t. y. centrinių ir periferinių, kraujotakos rodiklių sąsajas.

## METODIKA

Buvo tiriami 27 savanoriai sveiki vyrai: amžius —  $32,7 \pm 1,8$  m.; ūgis —  $180,9 \pm 0,03$  cm; KMI —  $25,3 \pm 0,6$ . Visi tiriamieji atliko pakopomis didinamą fizinį krūvį veloergometru, t. y. pradėdavo minti veloergometrą 50 W apkrova (60 apskukų per minutę dažniu) ir kas minutę didino krūvį po 50 W. Krūvį tiriamieji tęsdavo tol, kol nebebajėdavo jo atlikti arba iki pirmų klinikinių požymių išryškėjimo pagal AHA (*Amerikos širdies asociacijos*) rekomendacijas. Po krūvio tiriamieji tris minutes ilsėjosi sėdėdami ant veloergometro.

Širdies funkciniais rodikliais vertinti buvo naudojama Kauno medicinos universiteto Kardiologijos institute sukurta elektrokardiogramos analizės sistema „Kaunas—krūvis“. Krūvio metu ir pirmas tris atsigavimo minutes registruojome 12 standartinių EKG derivacijų. Buvo analizuojami šie rodikliai: širdies susitraukimų dažnis, ST segmento depresija. EKG analizės sistema apskaičiavo ŠKS funkcinį rodiklių visų 12 EKG atvadų per 10 s registracijos intervalo reikšmių vidurkius. AKS buvo matuojamas prieš krūvį, kiekvienos krūvio pakopos pabaigoje ir pirmas tris atsigavimo minutes.

Krūvio metu ir po jo deguonies įsotinimo ( $StO_2$ ) kaita raumenyje buvo vertinama neinvaziiniu artimosios infraraudonosios spektroskopijos būdu, naudojant vieną audinių spektrometrą (*In Spectra Tissue Spectrometer, Standart System Model 325*) ir 25 mm optinį laidą, sujungtą su sensitivityviniu fotodetektoriumi (*Hutchinson Technology, Hutchinson, Minnesota USA*), daviklį tvirtinant ant šlaunies keturgalvio raumens lateralinės galvos.  $StO_2$  matavimai buvo atliekami kas 2,5 s, registruojant rodiklių kaitą krūvio metu ir pirmas 3 minutes po krūvio.

## REZULTATAI

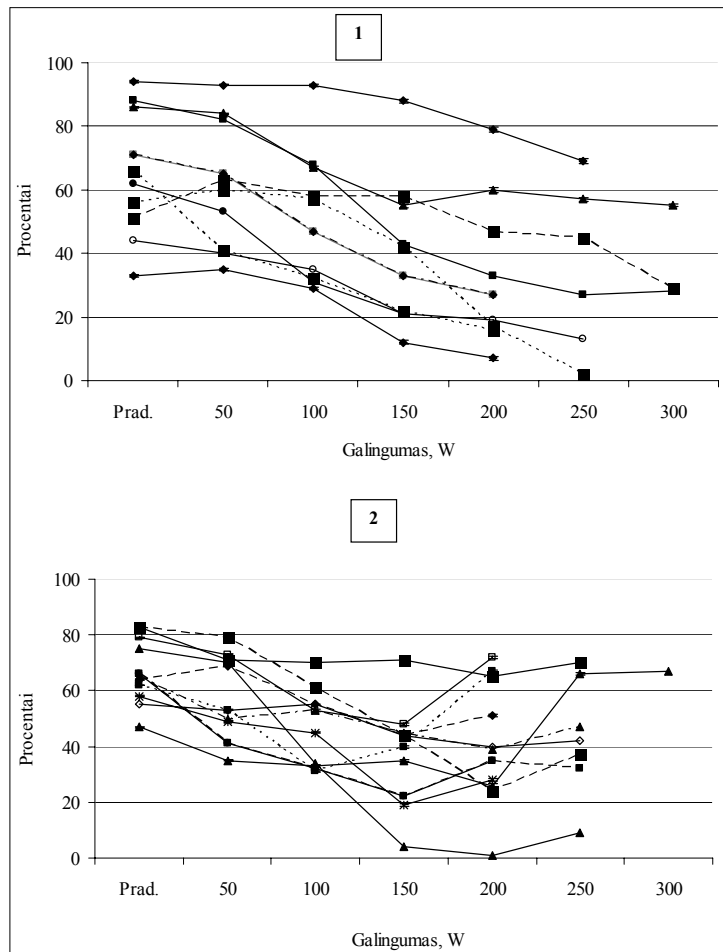
Širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinį rodiklių kaita atliekant kas minutę pakopomis didinamą krūvį veloergometru pateikta lentelėje. Didžiausi registruotų rodiklių pokyčiai buvo nustatyti tada, kai tiriamieji atlikdavo 250 W galingumo krūvį. Tuo metu širdies susitraukimų dažnis siekė  $162,6 \pm 5,4$  tv. / min; ST segmento depresija —  $0,48 \pm 0,11$  mV, o  $StO_2$  rodiklis šlaunies raumenyje buvo mažiausias tiriamiesiems pasiekus 200 W darbo galingumą, t. y.  $37,1 \pm 4,7\%$ . Pasiekus ribinį 300 W krūvį, visi rodikliai lyg ir pradėjo mažėti: ŠSD —  $140,3 \pm 12,1$  tv. / min; ST segmento depresija —  $-0,03 \pm 0,15$  mV,  $StO_2$  padidėjo iki  $44,7 \pm 9,7\%$ .

Atsigavimo po krūvio metu buvo užregistruotas spartus rodiklių grįžimas į pradinį lygį, tik per tris atsigavimo minutes AKS ir dauguma EKG rodiklių negrįžo į jį. EKG ST segmento depresija jau nesiskyrė nuo pradinių reikšmių, o

Tyrimo etapai	ŠSD, tv. / min	ST segmento depresija, mV	$StO_2$ , %	AKS (mmHg)		
				Sistolinis	Diastolinis	
Prieš krūvį	$86,5 \pm 2,4$	$-0,08 \pm 0,01$	$66,3 \pm 3,3$	$124,4 \pm 1,7$	$82,2 \pm 1,5$	
Krūvio metu	50 W	$104,3 \pm 2,3$	$-0,13 \pm 0,02$	$59,3 \pm 3,5$	$139,2 \pm 2,2$	$75,8 \pm 1,9$
	100 W	$120,2 \pm 2,4$	$-0,218 \pm 0,04$	$48,6 \pm 3,5$	$153,3 \pm 2,2$	$70,8 \pm 2,3$
	150 W	$138,6 \pm 2,8$	$-0,39 \pm 0,10$	$37,6 \pm 4,1$	$175,3 \pm 2,9$	$71,4 \pm 2,4$
	200 W	$154,8 \pm 2,8$	$-0,40 \pm 0,07$	$37,1 \pm 4,7$	$193,1 \pm 3,7$	$64,8 \pm 4,2$
	250 W	$162,6 \pm 5,4$	$-0,48 \pm 0,11$	$39,7 \pm 6,8$	$202,5 \pm 5,6$	$56,4 \pm 7,28$
	300 W	$140,3 \pm 12,1$	$-0,03 \pm 0,15$	$44,7 \pm 9,7$	$178,9 \pm 8,3$	$54,3 \pm 7,9$
Atsigavimo metu	1 min	$130,1 \pm 3,8$	$-0,23 \pm 0,04$	$76,3 \pm 2,9$	$162,7 \pm 3,3$	$62,8 \pm 3,5$
	2 min	$120,9 \pm 3,1$	$-0,22 \pm 0,04$	$80,0 \pm 2,7$	$153,9 \pm 3,6$	$63,3 \pm 2,6$
	3 min	$112,44 \pm 3,4$	$-0,24 \pm 0,05$	$84,32 \pm 2,5$	$139,9 \pm 3,7$	$66,5 \pm 2,3$

Lentelė. ŠKS funkcinį rodiklių kaita atliekant pakopomis didinamą krūvį veloergometru ir atsigavimo metu

Pav. Individuali tiriamųjų deguonies kiekio kaita šlaunies keturgalvio raumens lateralinėje galvoje, atliekant pakopomis didinamą krūvį велоergometru



Pastaba. 1 —  $StO_2$  mažėja iki krūvio pabaigos; 2 — įveikiant paskutines krūvio велоergometru pakopas  $StO_2$  pradeda didėti.

$StO_2$  viršijo reikšmes, užregistruotas prieš krūvį. Šie duomenys pateikti lentelėje.

Pateikti rodiklių vidurkiai yra įdomūs, bet jie neatskleidžia tų centrinių ir periferinių kraujotakos reguliavimo mechanizmų sąsajų, kurios vis kinta didėjant subjektyviam fizinio krūvio sunkumui iki maksimalaus. Todėl analizuojant tyrimo rezultatus buvo išskirtos ir individualios rodiklių kaitos fazės, įvertinti rodiklių kaitos greičiai ir jų tarpusavio ryšiai. Šis vertinimas atskleidė kai kuriuos dėsningumus. Pirmą, didesnį darbingumą (įveikė daugiau krūvio pakopų) buvo tų tiriamųjų, kurie nepatyrė funkcinį išeminių reiškinių atlikdami pakopomis didinamą krūvį велоergometru. Antra, didėjant atliekamo krūvio galingumui,  $StO_2$  dirbančiame raumenyje mažėjo (kreivė krito), tačiau kada tiriamieji išugdė krūvio galingumą, artimą ribiniam, t. y. 250–300 W,  $StO_2$  kreivė pradėjo kilti (deguonies trūkumas mažėjo). Paveiksle pateikiamos sugrupuotos tiriamųjų  $StO_2$  kaitos kreivės. Pirmos grupės tiriamųjų  $StO_2$  mažėjo tol, kol tiriamieji atsakydavo (nebepajėgdavo) tęsti krūvį. Šios grupės tiriamieji baigė krūvį, kai jis vidutiniškai pasiekdavo  $245,0 \pm 11,7$  W galingumą. Antros grupės tiriamieji baigė

krūvį ties  $206,7 \pm 9,6$  W galingumo riba. Skirtumas tarp grupių statistiškai patikimas ( $p < 0,05$ ).

## REZULTATŲ APTARIMAS

Atsiradus galimybei fizinio krūvio metu netiesioginiais metodais registruoti deguonies išotinio kaitos ypatybes raumenyje, padaugėjo mokslinių studijų šia tema, bet į daugelį klausimų vis dar neatsakyma. Nėra aišku, kaip ir kokia seka vyksta atskiri procesai, kuomet vis didinant atliekamo krūvio intensyvumą prasideda širdies funkcijos apribojimai. Šio tyrimo metu sinchroniškai registruojant EKG ir  $StO_2$  rodiklius, buvo ieškoma sąsajų. Lentelėje pateikti  $StO_2$ , EKG ir AKS rodiklių vidurkiai yra įdomūs, bet neatskleidžia tų centrinių ir periferinių kraujotakos reguliavimo mechanizmų sąsajų, kurios vis keičiasi kintant subjektyviam fizinio krūvio sunkumui iki maksimalaus. Todėl vertinant tyrimo rezultatus buvo išskirtos individualios rodiklių kaitos fazės, įvertinti rodiklių kaitos greičiai ir jų tarpusavio ryšiai. Šie vertinimai atskleidė tokius dėsningumus: 1) didesnį darbingumą (įveikė daugiau krūvio pakopų) buvo tų tiriamųjų, kurie nepatyrė funkcinį išeminių reiškinių miokarde viso

pakopomis didinamo krūvio metu; 2) didėjant atliekamo krūvio galingumui,  $StO_2$  dirbančiame raumenyje mažėjo, tačiau kada tiriamieji išugdė krūvio galingumą, artimą ribiniam, t. y. 250—300 W, kai kurių tiriamųjų  $StO_2$  kreivė pradėjo kilti. Tokią šio rodiklio kaitą galėjo lemti periferinės kraujotakos kaitos ypatumai, taip pat glaudžios sąsajos tarp periferinių ir centrinių kraujotakos reguliavimo mechanizmų. Kitų mokslininkų (Šilinskas, Poderys, 1999; Poderys, 2000) atlikti tyrimai vertinant raumenų kraujotakos kaitos ypatybes veloergometriniu krūvio metu parodė, kad didinant fizinio krūvio intensyvumą tol, kol tiriamasis nebepajėgia jo atlikti, pasireiškia periferinių kraujagyslių vazodilatacija ir stipriai suintensyvėja kraujotaka blauzdoje. Tiriamajam atliekant paskutines sunkiausiai įveikiamas krūvio pakopas, galima nustatyti širdies raumens darbingumo ribą ir kompensacinių mechanizmų įsitraukimo procesus. Šio tyrimo rezultatai parodė, kad  $StO_2$  kaitos antra fazė buvo užregistruota tik tarp tų tiriamųjų, kurie patyrė funkcinis išeminius reiškinius miokarde, ir atvirkščiai — ji nenustatyta tarp tų, kurių reikšmingas ST segmento depresijos didėjimas neužregistruotas. Elektrokardiogramos ST segmento dislokacija krūvio metu siejama su išeminių reiškinių atsiradimu miokarde, o tokius trumpalaikius ST segmento nuokrypius siūloma laikyti funkciniais išeminiais pokyčiais (Yazigi et al., 1998; Jernberg et al., 1999; Vainoras, 1996, 2002). Funkcinių išeminių reiškinių atsiradimas ir didėjimas fizinio krūvio metu gali būti organizmo darbingumo, parengtumo ir funkcinės būklės rodiklis.

Sisteminės kraujotakos reguliaciniai mechanizmai palaiko slėgio gradientą, būtiną norint palaikyti reikiamą kraujotakos intensyvumą dirbančiuose raumenyse. Širdies darbo ir bendrojo periferinio pasipriešinimo rodiklių kitimas yra tarpusavyje susiję (Ahlborg et al., 1996). Lokalioji kraujotaka efektyviausiai reguliuojama tada, kai

yra keičiamas hidrodinaminis kraujagyslių pasipriešinimas, t. y. keičiamas jų spindis (Schmidt, Thews, 1996). Todėl reikšmingas AKS rodiklis yra pulsinis slėgis, kurio kaita atliekant pakopomis didinamą krūvį veloergometru koreliaciniais ryšiais buvo susijusi su audinių deguonies prisotinimo kaita. Kai krūvis didėjo ir jį tiriamajam buvo vis sunkiau atlikti, koreliacija tarp pulsinio AKS ir  $StO_2$  kaitos vis didėjo. Padidėjusi baroreceptorių impulsacija slopina simpatinę eferentaciją — įvyksta vazodilatacija, mažėja kraujagyslių periferinis pasipriešinimas (Halliwill et al., 1996; Žemaitytė, 1997; Krieger et al., 2001).

Funkcinius kraujotakos rodiklius nuolatos registruoja receptoriai, išdėstyti įvairiose širdies ir kraujagyslių sistemos vietose. Aferentiniais impulsais iš šių receptorių siunčiama informacija patenka į pailgose smegenyse esančius vazomotorinius centrus, iš kurių eferentinėmis skaidulomis siunčiamais impulsais yra reguliuojamas širdies darbas ir įvairių kūno kraujagyslių tonusas. Tyrimo rezultatai parodė, kad  $StO_2$  kreivės kaita koreliuoja su fizinio krūvio sunkumo ir individualiais ST segmento kaitos rodikliais. Tai leidžia aiškiau suprasti centrinių ir periferinių kraujotakos rodiklių sąsajas.

## IŠVADOS

1. Pakopomis didinant krūvį, deguonies įsotinimas aktyviuose raumenyse mažėja, o kai krūvis pasidaro per sunkus, dalis tiriamųjų patiria vis didėjančius funkcinis išeminius reiškinius miokarde, keičiasi deguonies įsotinimo kreivė, kuri rodo širdies darbingumo ribą.
2. Infraraudonosios spektroskopijos metodu registruojami rodikliai leidžia tiksliau vertinti širdies ir kraujagyslių sistemos funkcinę būklę, t. y. centrinių, periferinių ir kraujotakos rodiklių sąsajas.

## LITERATŪRA

- Ahlborg, G., Ottosson-Seeberger, A., Hemsén, A., Lundberg, J. M. (1996). Central and regional hemodynamic effects during infusion of Big endothelin-1 in healthy humans. *Journal of Applied Physiology*, 80 (6), 1921—1927.
- Halliwill, J. R., Taylor, J. A., Eckberg, D. L. (1996). Impaired sympathetic vascular regulation in humans after acute dynamic exercise. *Journal of Physiology*, 15, 495 (Pt 1), 279—288.
- Jernberg, T., Lindahl, B., Wallentin, L. (1999). ST-segment monitoring with continuous 12-lead ECG improves early risk stratification in patients with chest pain and ECG nondiagnostic of acute myocardial infarction. *American College of Cardiology*, 34 (5), 1413—1419.
- Krieger, E. M., Da Silva, G. J., Negrao, C. E. (2001). Effects of exercise training on baroreflex control of the cardiovascular system. *Annual New York Academic Science*, 940, 338—347.
- Poderys, J. (2000). *Širdies ir kraujagyslių sistemos greitosios ir lėtosios adaptacijos savybės, atliekant fizinius pratimus: habilitacinis darbas*. Kaunas.
- Schmidt, R. F., Thews, G. (1996). *Human physiology*. 2nd edition. London.

Šilinskas, V., Poderys, J. (1999). Asmenų, adaptuotų prie greیتumo jėgos ir ištvėmės pobūdžio fizinių krūvių, blauzdos raumenų kraujotaka funkinių mėginių ir fizinio krūvio metu. *Sporto mokslas*, 2 (16), 22—25.

Vainoras, A. (2002). Functional model of human organism reaction to load-evaluation of sportsman training effect. *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas*, 3 (44), 88—93.

Vainoras, A. (1996). *Investigation of the heart repolarization process during rest and bicycle ergometry (100-lead and standard 12-lead ECG data): Synopsis of a Doctor of Science Habil.* Kaunas.

Valic, Z., Palada, I., Bakovic, D., Valic, M., Dujic, Z. (2006). Muscle oxygen supply during cold face immersion

in breath-hold divers and controls. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 77 (12), 1224—1229.

Yazigi, A., Richa, F., Gebara, S. et al. (1998). Prognostic importance of automated ST-segment monitoring after coronary artery bypass graft surgery. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 42 (5), 532—535.

Žemaitytė, D. (1997). *Širdies ritmo autonominis reguliavimas: mechanizmai, vertinimas, klinikinė reikšmė.* Palanga. P. 50—53, 138—141.

Žumbakytė, R. (2006). *Krepšininkų ir futbolininkų funkcinės būklės ypatybės naudojant integraliojo vertinimo modelį: daktaro disertacijos santrauka.* Kaunas: KMU.

## PECULIARITIES OF OXYGEN SATURATION IN MUSCULAR TISSUE AND CARDIOVASCULAR CHANGES DURING THE INCREMENTAL BICYCLE ERGOMETRY

Birutė Miseckaitė<sup>1</sup>, Vytautas Poškaitis<sup>2</sup>, Kristina Poderytė<sup>2</sup>, Alfonsas Vainoras<sup>2</sup>, Julija Andrejeva<sup>1</sup>, Jonas Poderys<sup>1,2</sup>

*Lithuanian Academy of Physical Education<sup>1</sup>, Kaunas University of Medicine<sup>2</sup>, Kaunas, Lithuania*

### ABSTRACT

The aim of this study was to assess in what sequence various changes in cardiovascular system occur during the incremental increase in workload. A synchronous observation of changes in oxygen saturation (StO<sub>2</sub>) in m. vastus lateralis and changes in 12 leads ECG during the incremental increase in workload every minute were registered. System “Kaunas—load” was employed for the registration and analysis of 12 leads ECG and a InSpectra Standart System Model 325 was used for the registration of changes in StO<sub>2</sub>. Participants of the study were 27 healthy males.

The results obtained in the study showed that the StO<sub>2</sub> increased during the incremental increase in workload significantly with every next step of workload. The characteristics of changes in StO<sub>2</sub> were closely related to the effects of vascular vasodilatation. When the workload increased much and serious ischemic episodes in cardiac muscle occurred the curve of changes of StO<sub>2</sub> depended on the functional preparedness of the participant of the study. All participants of the study could be divided into two groups according to the type of changes of StO<sub>2</sub> during the workload. The first group demonstrated decrease in curve of StO<sub>2</sub> till the end of incremental increase in workload and higher performance abilities, i. e. more exercise steps were performed. The second group demonstrated decrease in the curve of StO<sub>2</sub> during workload, which was changed to increase of curve of StO<sub>2</sub> at that point of exercising when the significant increase in ST-segment depression was registered. We conclude that the second phase in curve of StO<sub>2</sub> during the heavy workload is the sign of limited abilities of cardiac muscle. Assessments of cardiovascular function complemented by data obtained by InfraRed Spectroscopy provides the ability assess the cardiovascular changes during exercising more precisely, i. e. to assess the links between central and peripheral changes in cardiovascular system.

**Keywords:** physical working capacity, cardiovascular system, oxygen saturation.

Gauta 2007 m. vasario 12 d.  
Received on February 12, 2007

Priimta 2007 m. balandžio 24 d.  
Accepted on April 24, 2007

Birutė Miseckaitė  
Lietuvos kūno kultūros akademija  
(Lithuanian Academy of Physical Education)  
Sporto g. 6, LT-44221 Kaunas  
Lietuva (Lithuania)  
Tel +370 612 21220  
E-mail biruseb@gmail.com