

RAUMENŲ NUOVARGIS PO MAKSIMALAUS INTENSYVUMO VELOERGOMETRINIO FIZINIO KRŪVIO TAIKANT AKTYVŲ POILSĮ

Daiva Bulotienė¹, Albertas Skurvydas¹, Dalia Mickevičienė¹, Marius Brazaitis¹, Juozas Buitkus²
Lietuvos kūno kultūros akademija¹, Lietuvos žemės ūkio universitetas², Kaunas, Lietuva

Daiva Bulotienė. Biomedicinos mokslų doktorantė. Lietuvos kūno kultūros akademijos Jungtinės sporto šakų ir rekreacijos katedros asistentė. Mokslinių tyrimų kryptis — skirtingų fizinių krūvių įtaka raumenų nuovargiui ir atsigavimui.

SANTRAUKA

Tyrimo tikslas — nustatyti kojų raumenų nuovargį ir jo išnykimo eigą, kai atliekamas maksimalaus intensyvumo veloergometrinis fizinis krūvis ir po jo taikomas aktyvus poilsis. Sveiki aktyviai nesportuojantys kontrolinės grupės vyrai (amžius 20–21 metų; $n = 18$) atliko maksimalaus intensyvumo veloergometrinį fizinį krūvį (3×30 s, poilsis tarp serijų — 4 min). Po 4 mėnesių tie patys tiriamieji (eksperimentinė grupė) atliko analogišką krūvį, tik po jo praėjus 12 minučių jie 20 minučių mynė veloergometrą, įveikdami 1 kg pasipriešinimą (dažnis — 60–70 aps. / min). Krūvio ir atsigavimo metu buvo registruojami šie rodikliai: vidutinis pedalų mynimo galingumas, elektrostimuliacija sukelta jėga raumeniui esant skirtingo ilgio, maksimalioji valinga jėga (MVJ), mažų dažnių nuovargis (MDN), laktato koncentracija kraujyje (La), kreatinkinazės (CK) aktyvumas serume, raumenų skausmas.

Tyrimo rezultatai rodo, kad atlikus maksimalaus intensyvumo veloergometrinį krūvį sumažėjo visų stimuliavimo dažnių sukelta jėga, MVJ neatsigavo iki pradinio dydžio abiejų testavimų metu, pasireiškė mažų dažnių nuovargis, kuris esant raumeniui mažo ilgio buvo ryškesnis. Aktyvus poilsis nesumažino raumens skausmo, neapsaugojo raumens nuo pažeidos, tačiau pagreitino MDN išnykimą.

Raktažodžiai: griaučių raumenys, raumens ilgis, mažų dažnių nuovargis, atsigavimas, veloergometrinis fizinis krūvis, aktyvus poilsis.

ĮVADAS

Atliekant maksimalaus intensyvumo veloergometrinį fizinį krūvį, raumenyse pasireiškia MDN. Jis ypač ryškus tada, kai raumuo yra mažo ilgio. Po tokių krūvių raumenyse pasireiškia metabolinis nuovargis, kuris kaip greitai atsiranda (per 10–60 min), taip greitai ir išnyksta. Metabolinio nuovargio poreiškio metu raumens susitraukimo jėga sumažėja dėl energinių medžiagų (ATP, KP ir glikogeno) sumažėjimo ir metabolitų (neorganinio fosfato, vandenilio jonų ir kt.) koncentracijos padidėjimo (Fitts, 1994; Green, 1997; Saugen et al., 1997; Sahlin

et al., 1998). MDN gali pasireikšti dėl blogesnės miofibrilių aktyvacijos kalcio jonais, ir tai lemia mažesnę kalcio jonų išmetimą iš sarkoplazminio tinklo (Ratkevičius et al., 1998; Westerblad, Allen, 2002). Miofibrilių jautrumas kalcio jonams yra didesnis, kai raumuo mažo, o ne didelio ilgio (Balnave, Allen, 1995). Didelių stimuliavimo dažnių sukeltos jėgos raumens nuovargis gali atsirasti dėl blogesnės miofibrilių aktyvacijos ir pačių miofibrilių kontraktiškumo sumažėjimo (Ratkevičius et al., 1998; Westerblad, Allen, 2002).

Pastebėta, kad raumens masažas po intensyvių fizinių krūvių nepagreitina raumens funkcijos atsigavimo (Viitasalo et al., 1995; Tiidus, 1997). Atsigavimo greitis po fizinių pratimų priklauso nuo atlikto darbo apimties. Kuo didesnis atliktas darbas, tuo lėčiau raumuo atsigauna. Norint pagreitinti, palengvinti ir intensyvinti raumenų atsigavimą, ypač sportuojant, naudojamos darbingumą atgaunamosios priemonės. Svarbi operatyvi atsigavimo priemonė — aktyvus poilsis (*Žmogaus fiziologija*, 1999). Vienu atveju po intensyvaus darbo atliekamas neintensyvus, kitu — keičiamas veiklos pobūdis. Pirmu atveju greičiau pailsima, nes pagreitėja laktato išskyrimas. Antru — naująją veiklą aktyviai atliekantys nervų centrai skatina prieš tai nuvargusių atsigavimą. Tarp kitų priemonių būtina paminėti mitybą, fizioterapijos ir farmakologijos priemones. Įdomu, ar aktyvus poilsis pagreitintų raumens atsigavimą atlikus skirtingo pobūdžio fizinius pratimus?

Pagrindinis tyrimo tikslas — nustatyti kojų raumenų nuovargį ir jo išnykimo eigą, kai yra atliekamas maksimalaus intensyvumo veloergometrinis fizinis krūvis ir po jo taikomas aktyvus poilsis.

TYRIMO METODIKA

Tiriamieji: 18—24 metų sveiki nesportuojantys vyrai ($n = 18$). Jų amžius — $20,7 \pm 1,5$ m., kūno masė — $67,2 \pm 5,1$ kg, ūgis — $178,4 \pm 6,3$ cm.

Jie buvo supažindinti su tyrimo eiga. Tyrimo protokolai aptartas ir patvirtintas Kauno regioniniame biomedicininį tyrimų etikos komitete.

Veloergometrinis krūvis. Tiriamieji mynė *Monark 834E* veloergometrą, leidžiantį matuoti darbo galingumą ir mynimo dažnumą viso testo metu (5 sekundžių intervalais). Tiriamieji, sėdėdami ant veloergometro, didžiausiomis pastangomis 3 kartus mynė pedalus po 30 sekundžių (poilsio pertraukos tarp mynimų — 4 min). Viso testo metu jie buvo skatinami išlaikyti kuo didesnį mynimo dažnumą. Mechaninis veloergometro priešinimasis kiekvienam tiriamajam buvo parinktas individualiai ir sudarė 7,5% jo kūno masės. Prieš testą buvo daroma 10 minučių pramankšta, kurios metu tiriamasis mynė pedalus tolygiai 50—60 aps. / min dažnumu, pabaigoje atlikdamas 3 labai trumpus pagreitėjimus. Mynimo galingumui (W) įvertinti taikytas maksimalaus

intensyvumo veloergometrinis krūvis — 3 kartai po 30 s (poilsis tarp mynimų — 4 min).

Raumenų stimuliavimas. Raumenų susitraukimo jėgos testavimo metodika buvo taikoma tokia pat kaip ir ankstesniuose tyrimuose (Skurvydas & Zachovajevas, 1998). Keturgalvis šlaunies raumuo stimuliuojamas elektros stimulatoriaus (MG 440, *Medicor*) dviem paviršiniais elektrodais (9×18 cm). Stimuliavimo įtampa parenkama tokia, kad sukeltų didžiausią raumens susitraukimo jėgą (nuo 120 iki 150 V). Stačiakampio formos stimulo trukmė — 1 ms. Tiriamieji buvo sodinami į specialų krėslą, jų dešinė koja per kelį fiksuojama 90° (didelis raumens ištempimo ilgis) ir 135° (mažas raumens ištempimo ilgis) kampu. Raumens susitraukimo jėga registruota specialiais prietaisais izometriniu režimu. Jėgos signalas buvo apdorojamas IBM AT486 tipo kompiuteriu, pastaruoju taip pat valdomi stimuliavimo režimai.

Raumens susitraukimo savybės buvo testuojamos raumeniui esant skirtingo ilgio, t. y. fiksuojant koją per kelį 90° ir 135° kampu (kuo didesnis kampas per kelio sąnarį, tuo mažiau raumuo gali dirbti). Pirmiausia buvo testuojama, kai raumuo — didelio ilgio, o po 3 minučių — mažo. Kiekvienu atveju buvo registruojama raumenų jėga, sukelta šių elektrostimuliavimo režimų: 1 Hz (P 1), 10 Hz (P 10), 20 Hz (P 20), 50 Hz (P 50), 100 Hz (P 100) (stimuliavimo trukmė — 1 s, poilsio pertraukos tarp stimuliavimo seansų — 5 s).

Maksimaliosios valingos jėgos (MVJ) registravimas. Raumenų valingų susitraukimų jėgai registruoti buvo naudojama tokia pat techninė ir programinė įranga, kaip ir nevalingų (stimuliuojamų elektra) susitraukimų metu. Tiriamasis turėjo kiek įmanoma greičiau pasiekti maksimaliąją valingą jėgą (MVJ) ir ją išlaikyti 2—3 sekundes. Tiriamasis atliko 3 bandymus, tarp kurių buvo 1 minutės pertrauka. MVJ buvo apskaičiuojama pagal to bandymo, kurio metu pasiekiamas didžiausias jėga, rezultatus. Jos dydis apskaičiuojamas pagal kompiuterinę kreivę.

Laktato koncentracijos kraujyje nustatymas. Laktato koncentracija kraujyje buvo nustatoma pagal Y. U. Kulis ir kt. (1988) metodiką. Specialiomis vienkartinėmis priemonėmis iš rankos piršto, prieš tai odą dezinfekavus, buvo imamas 0,1 ml kapiliarinio kraujo mėginys, iš kurio nustatoma laktato koncentracija naudojant gliukozės analizatorių *Exan - G*. Modifikuotu

analizatoriumi (jame įmontuota membrana su fermentu laktato oksidaze) galima nustatyti 0,8—25 mmol / l laktato koncentraciją (Kulis et al., 1988). Prieš kiekvieną testavimą analizatorius buvo kalibruojamas standartiniu 5 mmol / l laktato tirpalu.

Pagal tyrimo protokolą buvo nustatoma laktato koncentracija kraujyje prieš krūvį ir praėjus 6, 12, 30 minučių po jo.

Kreatinkinazės aktyvumo serume nustatymas. CK aktyvumas serume buvo vertinamas prieš krūvį ir praėjus 24 valandoms po jo (Clarkson, Sayers, 1999). Norint įvertinti CK aktyvumą serume, iš tiriamųjų rankos venos buvo imamas kraujo mėginys (apie 5 ml). Mėginio analizavimo procedūra atlikta Kauno medicinos universiteto klinikų biochemijos laboratorijoje. Standartinėmis sąlygomis sukrešėjęs kraujas (sedimentacijos jėga $g = 1000\text{—}1200$) 10—15 minučių centrifuguojamas (centrifugavimo galia apskaičiuojama pagal formulę $g = 1,118 \times 10^{-5} \times R \times n^2$ (R — rotoriaus spindulys centimetrais, n — sūkių skaičius per minutę, $1,118 \times 10^{-5}$ — gravitacijos konstanta)). Analizė atlikta naudojant automatinį biocheminį analizatorių „*Monarch*“ (gamintojas *Instrumentation Laboratory SpA*, JAV ir Italija). Kreatinkinazės aktyvumo serume matavimo vienetai — imunofermentiniai vienetai litre (IU / l).

Raumenų skausmo vertinimas. Raumens skausmas vertinamas subjektyviai balais (nuo 0 iki 10: 0 — visai nejautė skausmo, 3 — jautė nemalonų pojūtį, 5 — jautė skausmą, 8 — jautė didelį skausmą, 10 — jautė labai didelį skausmą, neleidžiantį vaikščioti) praėjus 24 valandoms po fizinio krūvio. Iš užregistruoto skausmo buvo sprendžiama apie raumens sužalojimo laipsnį (Newham et al., 1983; Jones et al., 1989; Clarkson, Sayers, 1999; Saxton, Donnelly, 1996).

TYRIMO EIGA

Buvo atlikti du tyrimai.

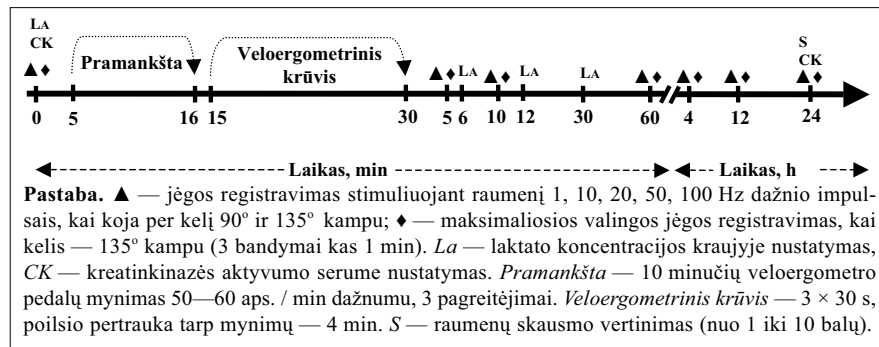
Kontrolinės grupės vyrai (amžius 20—21 metų; $n = 18$) atliko maksimalaus intensyvumo veloergometrinių fizinį krūvį (3×30 s, poilsis tarp serijų — 4 min). Po 4 mėnesių tie patys tiriamieji (eksperimentinė grupė) atliko analogišką tyrimą tik po krūvio praėjus 12 minučių jie 20 minučių mynė veloergometrą, įveikdami 1 kg pasipriešinimą (dažnis — 60—70 aps. / min).

Kontrolinės grupės tyrimo organizavimo protokolas. Prieš krūvį paimamas tiriamojo kapiliarinio kraujo mėginys La koncentracijai nustatyti. Paskui jis sodinamas į specialią kėdę ir nustatoma keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo jėga, koją fiksuojant per kelį 135° ir 90° kampu (kai kojos kelis — 135° kampu, nustatoma maksimalioji valinga jėga). Tiriamasis daro 10 minučių pramankštą, t. y. mina veloergometrą 50—60 aps. / min dažnumu. Po pramankštos atlieka veloergometrinių fizinį krūvį, t. y. 3 kartus mina veloergometrą maksimaliu intensyvumu, poilsio intervalas tarp mynimų — 4 minutės. Nustatomas vidutinis mynimo galingumas (W). Praėjus 5, 10 ir 60 minučių 4, 12 ir 24 valandoms po krūvio, testuojama keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo jėga (P 1), (P 10), (P 20), (P 50), (P 100) ir maksimalioji valinga jėga (MVJ). Tokia pat seka kaip ir prieš krūvį nustatomos elektrostimuliacija sukeltos raumens jėgos, kai kojos per kelius — 135° ir 90° kampu. La koncentracija kraujyje (mmol / l) nustatoma po krūvio praėjus 6, 12 ir 30 minučių, CK aktyvumas serume (IU / l) ir raumenų skausmas (S) vertinamas praėjus 24 valandoms po krūvio.

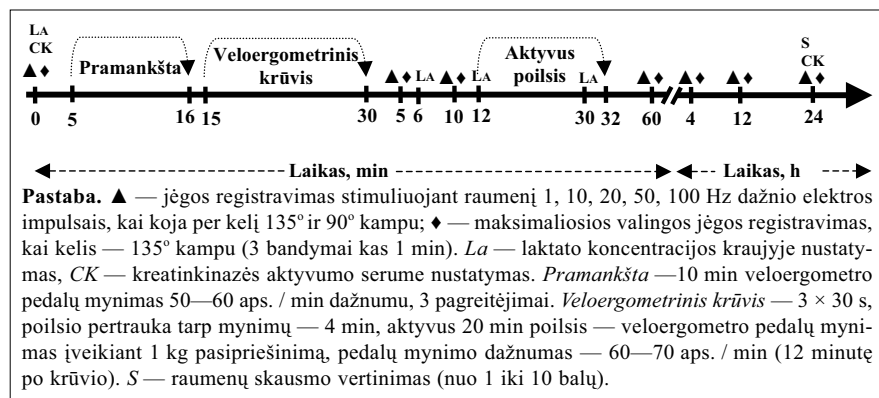
Eksperimentinės grupės tyrimo organizavimo protokolas. Tyrimo eiga tokia pati, kaip ir pirmo kontrolinės grupės tyrimo, tik 12 minutę po krūvio tiriamasis 20 minučių mina veloergometrą, įveikdamas 1 kg pasipriešinimą (60—70 aps. / min dažnumu). Praėjus 5, 10 ir 60 minučių ir 4, 12 ir 24 valandoms po krūvio, testuojama keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo jėga (P 1), (P 10), (P 20), (P 50), (P 100) ir maksimalioji valinga jėga (MVJ). Nustatomas vidutinis mynimo galingumas (W). Praėjus 5, 10 ir 60 minučių, 4, 12 ir 24 valandoms po krūvio, testuojama keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo jėga (P 1), (P 10), (P 20), (P 50), (P 100) ir maksimalioji valinga jėga (MVJ). Tokia pat seka kaip ir prieš krūvį nustatomos elektrostimuliacija sukeltos raumens jėgos, kai kojos per kelius 135° ir 90° kampu. La koncentracija kraujyje (mmol / l) nustatoma 6, 12 ir 30 minutę po krūvio, CK aktyvumas serume (IU / l) ir raumenų skausmas (S) vertinamas praėjus 24 valandoms po krūvio.

Matematinė statistika. Apskaičiuojame aritmetinį vidurkį (\bar{x}), vidutinį kvadratinį nuokrypį (S). Aritmetinių vidurkių skirtumo reikšmingumo lygmuo buvo laikomas svarbiu, kai p reikšmė mažesnė už 0,05; 0,01 ir 0,001, ir buvo apskaičiuojamas pagal Studento t kriterijų,

1 pav. Kontrolinės grupės pirmo tyrimo organizavimo protokolą



2 pav. Eksperimentinės grupės pirmo tyrimo organizavimo protokolą



pasirenkant porinį būdą, nes tyrimo metu buvo testuojami tie patys tiriamieji. Skaičiavimai atlikti naudojant statistinį paketą „Microsoft® Excel 2000“.

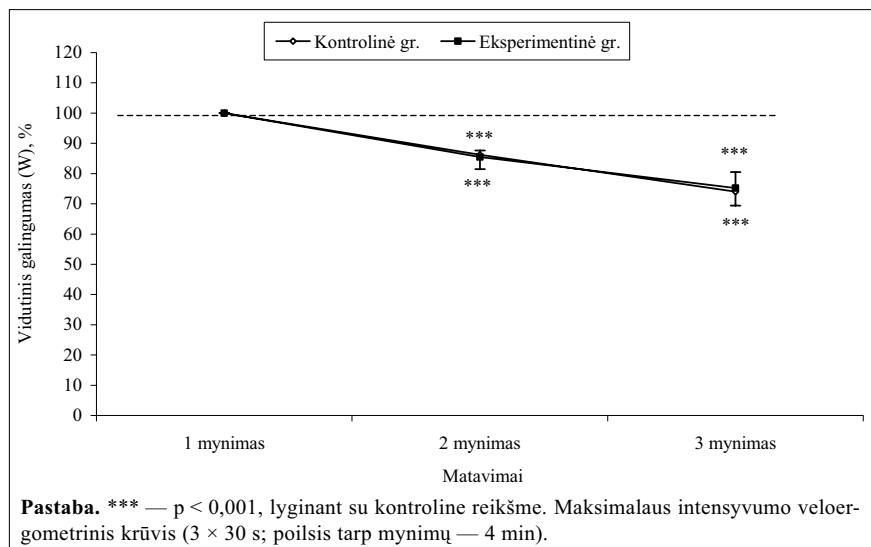
REZULTATAI

Nustatyta, kad vidutinis pedalų mynimo galingumas reikšmingai sumažėjo lyginant kontrolinės ir eksperimentinės grupės rodiklius su pradine reikšme ($p < 0,001$). Antro ir trečio mynimo metu statistiškai reikšmingo skirtumo, lyginant kontrolinės ir eksperimentinės grupės pedalų mynimo rodiklius, neaptikta ($p > 0,05$) (3 pav.).

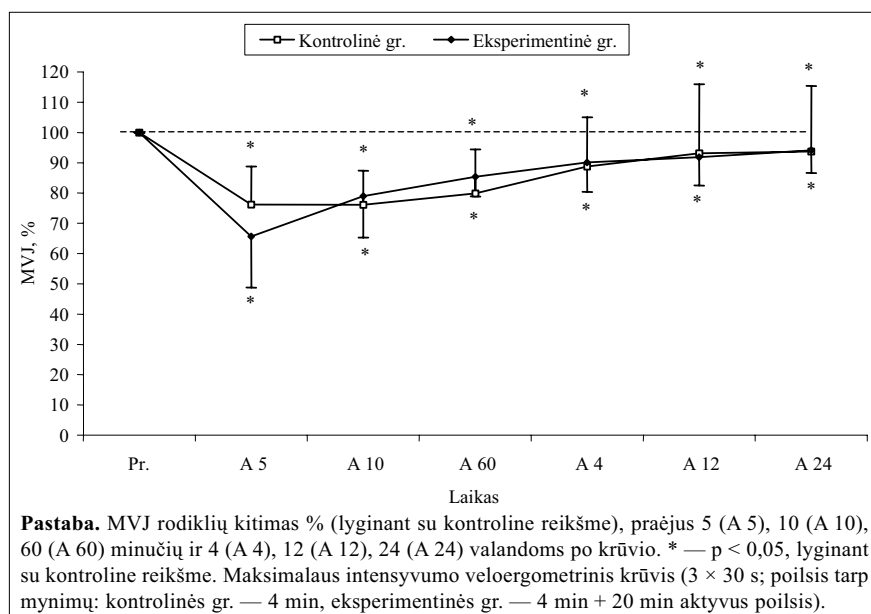
Kontrolinės ir eksperimentinės grupės tyrimo rezultatai parodė, kad reikšmingai sumažėjo mažų (20 Hz) ir didelių (100 Hz) stimuliavimo dažnių sukelta jėga ($p < 0,001$) (5 pav.). Šių grupių MVJ rodikliai reikšmingai ($p < 0,05$) sumažėjo 5-ą minutę po krūvio, lyginant su pradine reikšme, išliko reikšmingai pakitę praėjus 24 valandoms po krūvio ir vidutiniškai sudarė ~ 65–90% pradinės reikšmės (4 pav.). Lygindami kontrolinės ir eksperimentinės grupės rezultatus, statistiškai reikšmingų pokyčių nenustatėme ($p > 0,05$). Po veloergometrinio krūvio lygindami La koncentracijos kraujyje rodiklių reikšmes su pradinėmis nustatėme, kad abiejų grupių laktato koncentracija po krūvio statistiškai reikšmingai

padidėjo ($p < 0,001$) ir nepasiekė pradinio lygmens (10 pav.). Reikšmingo skirtumo tarp kontrolinės ir eksperimentinės grupės rodiklių nenustatėme ($p > 0,05$).

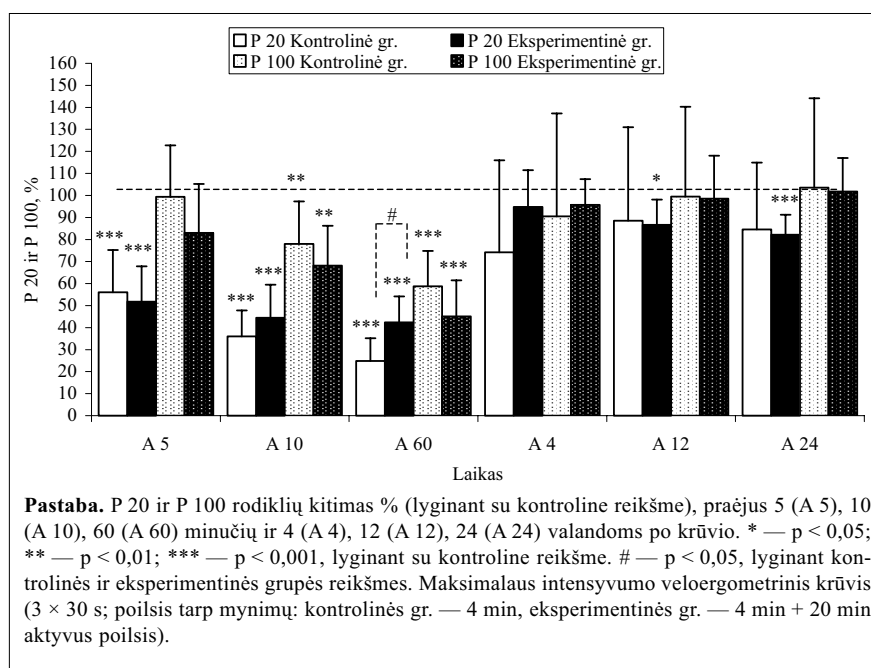
Raumens susitraukimo jėga stimuliuojant raumenį, kai koja per kelį buvo skirtingu kampu, kito nevienodai. Mažų stimuliavimo dažnių (20 Hz) sukelta jėga, esant dideliame raumens ištempimo ilgiui (90° kampas per kelį), sumažėjo labiau nei didelių dažnių (100 Hz) sukelta jėga. Didelių stimuliavimo dažnių sukelta raumens susitraukimo jėga reikšmingai sumažėjo kontrolinėje ir eksperimentinėje grupėje, praėjus 10 minučių ir 1 valandai po krūvio ($p < 0,01$) ($p < 0,001$) (5 pav.). Mažų stimuliavimo dažnių (20 Hz) sukelta jėga, kai raumuo mažo ilgio (135° kampas per kelį), sumažėjo labiau nei didelių dažnių (100 Hz) sukelta jėga (6 pav.). Nagrinėdami didelių dažnių nuovargį, sukeltą 100 Hz stimuliavimo, pastebėjome, kad kontrolinės grupės tiriamųjų raumuo nuvargo praėjus 5 minutėms po krūvio ir išliko reikšmingai pakitęs net 1 valandą po krūvio. Eksperimentinės grupės tiriamųjų nuovargis pasireiškė praėjus 10 minučių po krūvio ($p < 0,01$) ir išliko net 1 valandą ($p < 0,001$). Praėjus 4 valandoms po krūvio, abiejų grupių tiriamųjų jėga atsigavo iki pradinio lygio. Reikšmingo skirtumo tarp grupių rodiklių, esant didelių dažnių nuovargiui, nenustatėme ($p > 0,05$) (6 pav.). Kontrolinės grupės tiriamųjų



3 pav. Kontrolinės ir eksperimentinės grupės tiriamųjų vieno mynimo vidutinio galingumo rodiklių kaita ($\bar{X} \pm S$)

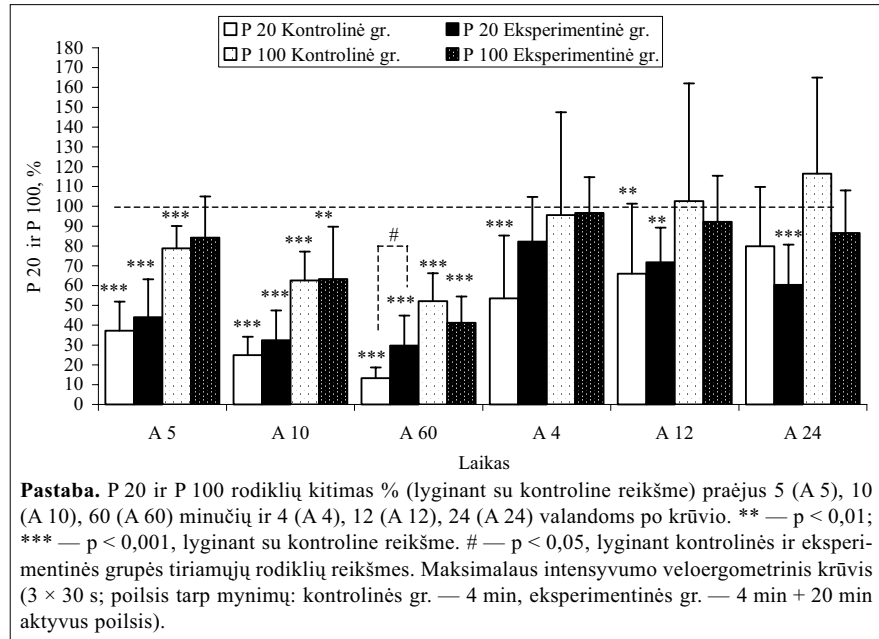


4 pav. Kontrolinės ir eksperimentinės grupės tiriamųjų keturgalvio šlaunies raumens maksimaliosio valingos jėgos (MVJ) reikšmių kaita prieš krūvį ir po jo (koja per kelį 135° kampu ($\bar{X} \pm S$))

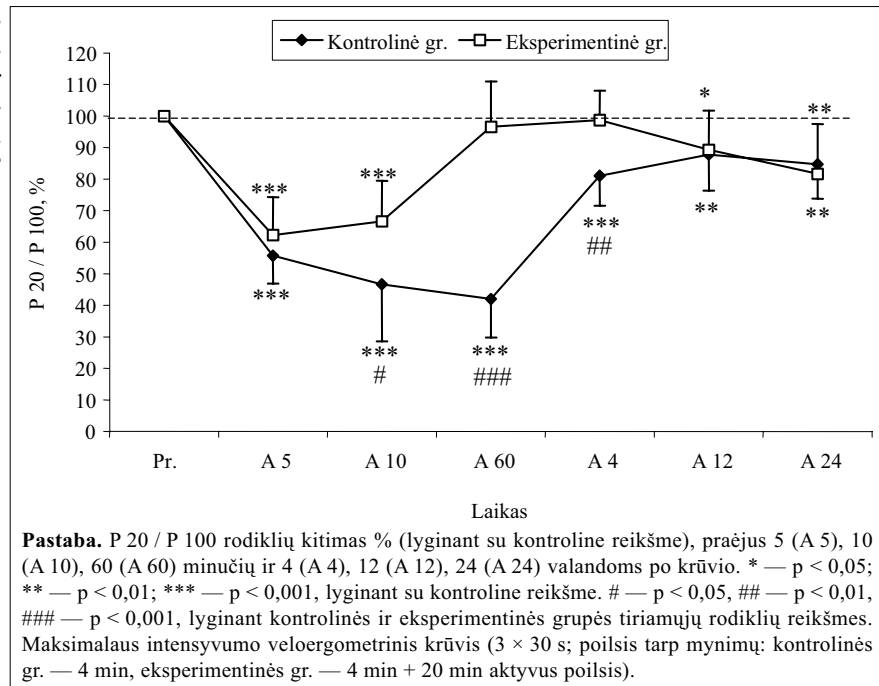


5 pav. Kontrolinės ir eksperimentinės grupės tiriamųjų keturgalvio šlaunies raumens jėgos, sukeltos 20 (P 20) ir 100 Hz (P 100) dažnio elektros impulsais, rodiklių kaita prieš krūvį ir po jo (koja per kelį 90° kampu ($\bar{X} \pm S$))

6 pav. Kontrolinės ir eksperimentinės grupės tiriamųjų keturgalvio šlaunies raumens jėgos, sukeltos 20 (P 20) ir 100 Hz (P 100) dažnio elektros impulsais, rodiklių kaita prieš krūvį ir po jo (koja per kelį — 135° kampu ($\bar{X} \pm S$))



7 pav. Kontrolinės ir eksperimentinės grupės tiriamųjų keturgalvio šlaunies raumens jėgų, sukeltų 20 Hz (P 20) ir 100 Hz (P 100) dažnio elektros impulsais, rodiklių santykio P 20 / P 100 kaita prieš krūvį ir po jo (koja per kelį 90° kampu ($\bar{X} \pm S$))

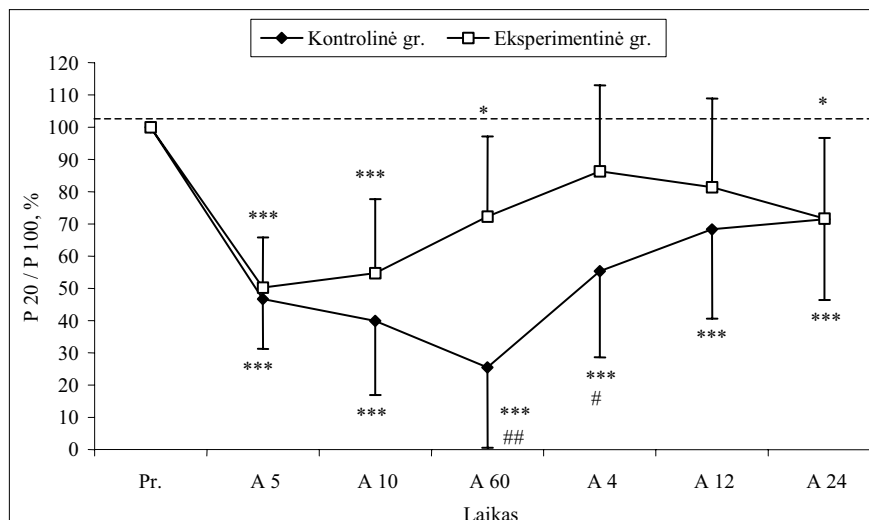


jėgų P 20 ir P 100 santykis, esant mažam (8 pav.) ir didiam (7 pav.) raumens ilgiui, statistiškai patikimai sumažėjo praėjus 5 minutėms po krūvio ir visiškai neatsigavo iki pradinės reikšmės praėjus 24 valandoms po krūvio ($p < 0,001$) ($p < 0,01$) (7, 8 pav.). Eksperimentinėje grupėje, kurios tiriamiesiems buvo taikytas aktyvus poilsis, esant mažam ir didiam raumens ilgiui, jėgų santykis reikšmingai sumažėjo po krūvio praėjus 5–10 minučių ($p < 0,001$) ir 12 ($p < 0,05$) ir 24 ($p < 0,01$) valandoms — kai raumens ištempimo ilgis didelis. Po krūvio praėjus 60 minučių ir 24 ($p < 0,05$) valandoms, jėgų santykis reikšmingai sumažėjo, kai raumuo buvo mažo ilgio.

Reikšmingas skirtumas tarp grupių rodiklių nustatytas praėjus 10 minučių ($p < 0,05$), 1 ($p < 0,001$) ir 4 ($p < 0,01$) valandoms po krūvio, esant didiam raumens ištempimo ilgiui, praėjus 60 minučių ($p < 0,01$) ir 4 ($p < 0,05$) valandoms po krūvio, kai raumens ilgis buvo mažas (7, 8 pav.).

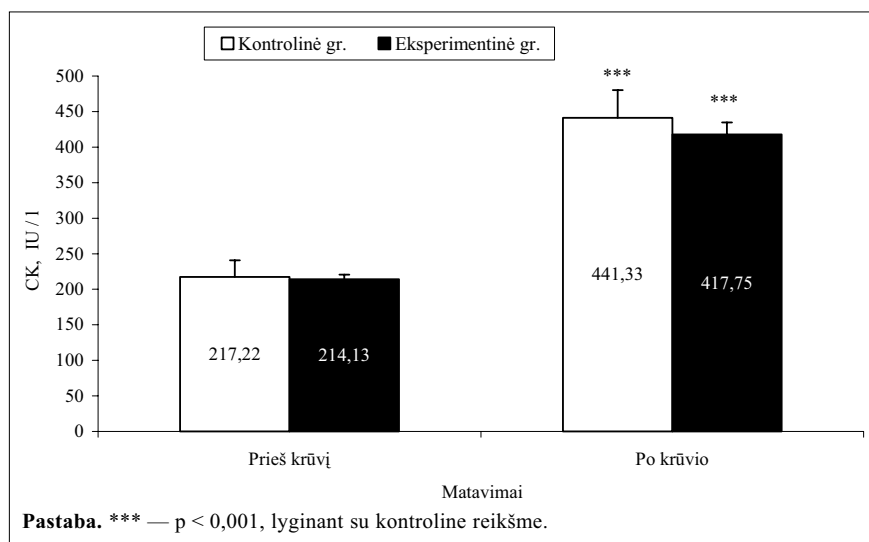
Kreatinkinazės (CK) aktyvumas serume po abiejų krūvių praėjus 24 valandoms yra statistiškai patikimai didesnis nei prieš krūvį ($p < 0,001$) (9 pav.), tačiau reikšmės tarpusavyje nesiskiria.

Praėjus 24 valandoms po велоergometrinio krūvio, kontrolinės grupės vyrai jautė subjektyvų (1,5 ± 0,53 balo) raumenų skausmą, o ekspe-



Pastaba. P 20 / P 100 rodiklių kitimas % (lyginant su kontroline reikšme) praėjus 5 (A 5), 10 (A 10), 60 (A 60) minučių ir 4 (A 4), 12 (A 12), 24 (A 24) valandoms po krūvio. * — p < 0,05; *** — p < 0,001, lyginant su kontroline reikšme. # — p < 0,05, ## — p < 0,01, lyginant kontrolinės ir eksperimentinės grupės tiriamųjų rodiklių reikšmes. Maksimalaus intensyvumo veloergometrinis krūvis (3 × 30 s; poilsis tarp mynimų: kontrolinės gr. — 4 min, eksperimentinės gr. — 4 min + 20 min aktyvus poilsis).

8 pav. Kontrolinės ir eksperimentinės grupės tiriamųjų keturgalvio šlaunies raumens jėgų, sukeltų 20 Hz (P 20) ir 100 Hz (P 100) dažnio elektros impulsais, rodiklių santykio P 20 / P 100 kaita prieš krūvį ir po jo (koja per kelį — 135° kampu ($\bar{X} \pm S$))



Pastaba. *** — p < 0,001, lyginant su kontroline reikšme.

9 pav. Kreatinkinazės aktyvumas (CK) serume prieš veloergometrinių krūvį (kontrolinė reikšmė) ir praėjus 24 valandoms po jo ($\bar{X} \pm S$)

rimentinės grupės — po aktyvaus poilsio ($0,5 \pm 1,46$ balo).

REZULTATŲ APTARIMAS

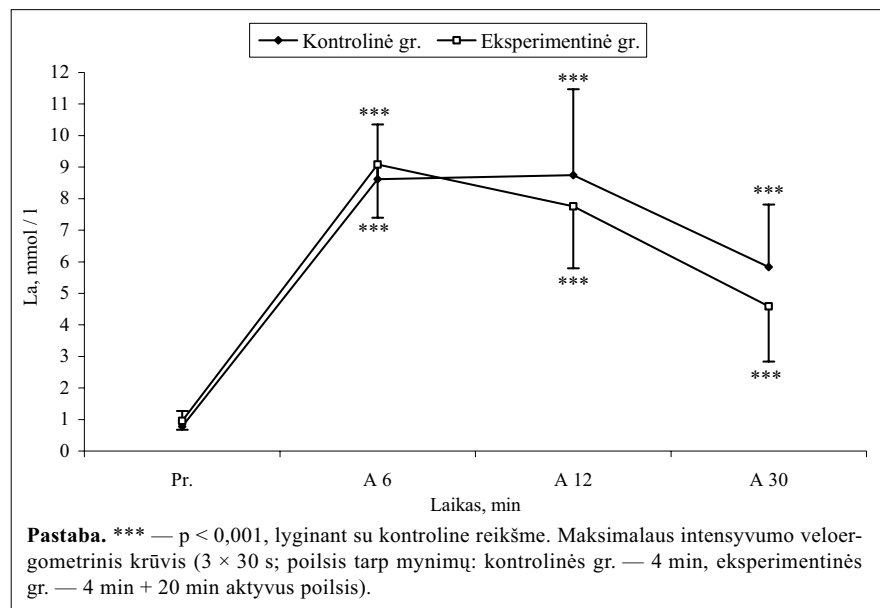
Maksimalaus intensyvumo veloergometrinis krūvis sukėlė metabolinį nuovargį, kurį rodo ryškus laktato koncentracijos padidėjimas kraujyje iš karto po krūvio (10 pav.), ir nemetabolinį — kreatinkinazės (CK) aktyvumo serume padidėjimas (9 pav.). Atliekant maksimalaus intensyvumo fizinius pratimus, nuovargis gali atsirasti keliose nervų ir raumenų sistemų vietose (Fitts, 1994; Gandevia, 2001). Raumens atsigavimas po tokių krūvių gana sudėtingas procesas, nes metabolinis nuovargis greitai išnyksta, o nemetabolinis — gali

dar labiau padidėti (Fitts, 1994; Sahlin et al., 1998; Allen, 2001; Friden, Lieber, 2001).

Įdomu tai, kad maksimalus daugelio registruojamų kontrolinės grupės valingų ir nevalingų raumens susitraukimo jėgos rodiklių sumažėjimas buvo akivaizdus praėjus 1 valandai po krūvio. Manome, kad tai postkontraktilinės tiriamųjų depresijos, kuri pasireiškia maksimaliu Ca^{2+} išskyrimu iš sarkoplazminio tinklo sumažėjimu, požymis (Lannergren et al., 1996). Tai rodo ne tik per 1 valandą tendencingai mažėjančios didelių stimuliavimo dažnių sukeltos (P 100) jėgos rodiklių reikšmės (5, 6 pav.), bet ir sumažėję MVJ rodikliai (4 pav.).

Raumenų nuovargį, atliekant maksimalaus intensyvumo fizinius pratimus, lemia ne tik

10 pav. Kontrolinės ir eksperimentinės grupės tiriamųjų laktato koncentracijos (La) kraujyje vidutinės reikšmės prieš krūvį (Pr.) ir praėjus 6 (A 6), 12 (A 12) ir 30 (A 30) minučių po jo ($\bar{X} \pm S$)



metaboliniai (ATP, kreatinfosfato, glikogeno sumažėjimas ir metabolitų koncentracijos padidėjimas), bet ir nemetaboliniai (pavyzdžiui, mechaninė sarkomerų pažeida) veiksniai (Westerblad et al., 1993; Sahlin et al., 1998). Raumens susitraukimo jėgos kitimas po krūvio priklauso ne tik nuo potenciacijos, bet ir nuo mažų dažnių nuovargio poreiškio atsigavimo metu (Skurvydas et al., 2000). MDN atsiradimas dėl mechaninės raumeninių skaidulų pažeidos krūvio metu — tai tik viena jo atsiradimo priežasčių. Manoma, kad atsigavimo metu intensyvėja baltymų, kurie atsakingi už elektromechaninių ryšių, degradacijos procesai (Chin et al., 1997; Smith et al., 1999). Tai gali būti MDN poreiškio priežastis atsigavimo po darbo metu. Taigi mokslinėje literatūroje dažniausiai minimos MDN atsiradimo 2 priežastys, susijusios su raumens fizine pažeida: jeigu krūvio metu MDN poreiškį lemia raumeninių skaidulų mechaninis poveikis (ypač tai ryšku atliekant ekscentrinis pratimus), tai atsigavimo metu reikšmingas metabolinis — susijęs su raumeninių skaidulų degradacijos procesais. Krūvio metu raumuo pažeidžiamas mechaniškai tuomet, kai susitraukimo jėgos intensyvumas viršija tam tikrą slenkstinį lygį (Jones et al., 1989).

Pažeidą netiesiogiai rodo sumažėjusi raumens susitraukimo jėga ir greitis, užsitęsęs atsigavimas, skausmas, patinimas, raumens baltymų ištekėjimas į cirkuliacinę sistemą (Faulkner et al., 1993; Friden, Lieber, 1992; Sayers, Clarkson, 2001). Atlikto tyrimo duomenimis, padidėjęs kreatinkinazės aktyvumas serume rodo, kad buvo pažeistos

raumeninės skaidulos (9 pav.), bet tiriamieji jautė nedidelį skausmą, todėl manome, kad po maksimalaus intensyvumo veloergometrinio krūvio raumeninės skaidulos buvo pažeistos nedaug.

Pagrindinis energijos gamybos būdas atliekant maksimalaus intensyvumo krūvį yra anaerobinė glikolizė (Inbar et al., 1996). Tai rodo padidėjusi laktato koncentracija kraujyje (10 pav.). Po tokio krūvio raumenyse smarkiai sumažėja ATP ir kreatinfosfato (KP), padidėja vandenilio jonų koncentracija (Inbar et al., 1996). Manoma, kad raumeninės skaidulos mioplazmoje padaugėja Ca^{2+} , kurie vėliau taip pat skatina MDN atsiradimą (Chin, Allen, 1996; Westerblad et al., 1998). Nustatyta, kad praėjus 2—3 minutėms po tokio krūvio KP koncentracija grįžta į pradinę būseną, o H^+ koncentracija — po 10—15 minučių. Po maksimalaus intensyvumo krūvio gali gerokai skirtis tiriamųjų minėtų rodiklių atsigavimo tempai. Praėjus 12 minučių po krūvio, laktato koncentracija išliko nepakitusi ir tik po 30 minučių pastebima mažėjimo ($p < 0,05$) tendencija (10 pav.). Metabolinio nuovargio sukelta jėgos generavimo pažeida atsiranda dėl sumažėjusių miozino filamentų jautrumo kalcio jonams, kuri lemia medžiagų apykaitos produktų tiesioginis poveikis (H^+) filamentams (Weicker, 1995; Westerblad et al., 1993). Nustatyta, kad esant mažesniam raumens ilgiui yra mažesnis ir pačių miofibrilių jautrumas kalcio jonams (Stephenson, Wendt, 1984). Tai išryškėjo ir atlikto tyrimo metu. Rezultatai rodo, kad mažų dažnių nuovargis stipriau reiškiasi tada, kai raumuo yra mažo ilgio (8 pav.). Apibendrinant mokslinėje literatūroje dažniausiai

minimas raumenų nuovargio atsiradimo priežastis, jo mechanizmus, galima daryti išvadą, kad po maksimalaus intensyvumo krūvio nuovargį lemia struktūriniai (nemetabolinės priežastys — raumens pažeida krūvio metu ir po jo) ir metaboliniai (tiesioginis metabolitų poveikis ir Ca^{2+} kinetinės ypatybės) veiksniai. Manome, kad nuo šių veiksnių santykio priklauso nuovargio pobūdis. Kaip rodo gausūs nuovargio reiškimosi ypatumų tyrimai, struktūrinės jo atsiradimo priežastys pašalinamos gana lėtai, ir tie procesai gali užtrukti net iki kelių parų (Miles, Clarkson, 1994). Galima teigti, kad aktyvus poilsis po maksimalaus intensyvumo fizinio krūvio turėjo sumažinti nuovargio poreiško metabolines priežastis.

Eksperimentinės ir kontrolinės grupės vidutinio mynimo galingumo rodikliai sumažėjo maždaug vienodai (3 pav.), todėl galima manyti, kad ir nuovargis turėjo būti panašus. Kai kurių rodiklių kontrolinės ir eksperimentinės grupės reikšmės labiausiai sumažėjo praėjus 1 valandai po krūvio. Tai rodo didelių stimuliavimo dažnių sukeltos jėgos rodikliai (5, 6 pav.; ryškūs postkontraktilinės depresijos (PKD) reiškiniai) (Lannergren et al., 1996). Tyrimais nustatyta S formos jėgos generavimo ir kalčio koncentracijos priklausomybė. Pavyzdžiui, žinduolių skaidulas stimuliuojant 100 Hz dažniu, vidutinis Ca^{2+} sumažėjimas menkai veikia jėgą. Taigi, stimuliuojant dideliais dažniais, kalčio jonų, kurių vidutinis sumažėjimas labai sumenkina jėgą, kaita matoma horizontalioje kreivės dalyje, o stimuliuojant mažais dažniais — vertikalioje (Lannergren et al., 1996). Didelių dažnių stimuliuojamos jėgos mažėjimas tarp tiriamųjų pastebėtas praėjus 60 minučių po krūvio, ir tai leidžia manyti, kad pasireiškė PKD, kurio esmė — maksimalaus Ca^{2+} kiekio sumažėjimas (Lannergren et al., 1996).

Kodėl aktyvus poilsis visiškai nepašalina nuovargio? Manome, kad nuovargio reiškiniai vėlesnėmis atsigavimo fazėmis galėjo būti susiję su nemetaboliniu (struktūrinė raumens pažeida) veiksmu, nes buvo atliktas maksimalaus intensyvumo krūvis. Dirbant tokiu intensyvumu, sarkomerų galai išsitempia, o pertempimas mechaniškai pažeidžia raumenines skaidulas (Cannel, Allen, 1984). Tokia raumenų pažeida praeina gana greitai, ir po 1—2 parų dar jaučiamas raumenų skausmas (Newham et al., 1987; Jones et al., 1989). Eksperimentinės grupės tiriamieji, praėjus 24 valandoms po krūvio, jautė subjektyvų raumenų skausmą ($0,5 \pm 1,46$ balo), nors ir buvo

jiems taikytas aktyvus poilsis. Manome, kad raumenys po tokio krūvio nebuvo labai pažeisti (tai rodo subjektyvus raumenų skausmas ir po abiejų tyrimų nustatytas kreatinkinazės aktyvumas), lyginant su pažeida, kurią sukeltų maksimalūs ekscentriniai-koncentriniai susitraukimai. Aktyvus poilsis (lengvas aerobinis darbas) turėjo padėti neutralizuoti metabolinius nuovargio atsiradimo veiksmus. Struktūrinės raumens pažeidos priežastis (nors ir nedidelės) turėtų įrodyti toks krūvis, kurio metu metabolinis veiksnys nepaveiktų raumenų darbingumo kitimo.

Raumenų jėgos atsigavimo greitoji fazė, priklausanti nuo metabolitų koncentracijos ir potenciacijos, nepasireiškė per pirmas atsigavimo minutes po maksimalaus intensyvumo veloergometrino krūvio. A. Skurvydas ir kiti mokslininkai (2000) teigia, kad greitoji raumens atsigavimo fazė priklauso nuo greito energinių medžiagų, ATP ir kreatinfosfato atsigavimo raumenų potenciacijos. Atlikto tyrimo metu nenustatyta greitoji raumens atsigavimo fazė, nes tiriamieji atliko labai sunkų fizinį krūvį, kurio metu raumenų nuovargis visiškai užblokavo raumens potenciacijos reiškimąsi.

Aktyvus poilsis (aerobinis darbas) po eksperimentinės grupės tiriamųjų maksimalaus intensyvumo veloergometrino krūvio padidino mažų stimuliavimo dažnių sukeltą jėgą, o didelių stimuliavimo dažnių jėga nepriklausė nuo raumens ištempimo ilgio. Poilsis po veloergometrino krūvio nesumažino raumens skausmo, nes kreatinkinazės aktyvumas serume didėjo ir neapsaugojo raumens nuo pažeidos. Manome, kad nuovargio reiškiniai vėlesnėmis atsigavimo fazėmis galėjo būti susiję ne su metaboliniu veiksmu, o su struktūrine raumens pažeida. Dirbant tokiu intensyvumu, sarkomerų galai išsitempia, ir pertempimas mechaniškai pažeidžia raumenų skaidulas (Cannel, Allen, 1984). Tokia raumenų pažeida išlieka gana ilgai — net 24—48 valandas po darbo (Newham et al., 1987; Jones et al., 1989).

IŠVADOS

1. Po trijų serijų maksimalaus veloergometrino krūvio raumenyse atsirado mažų dažnių nuovargis, kuris gana ryškus, kai raumuo buvo mažo ilgio. Atsigavimo metu nuo 5 iki 60 minutės pastebimas mažų ir didelių stimuliavimo dažnių jėgos sumažėjimas, kuris ypač didelis stimuliuojant raumenis mažais dažniais.

2. Aktyvus poilsis (aerobinis darbas) padidino mažų stimuliavimo dažnių jėgą (sumažino MDN), o didelių stimuliavimo dažnių jėga nepriklausė nuo raumens ištempimo ilgio. Aktyvus poilsis po veloergometrinio krūvio nesumažino nei raumenų skausmo, nei kreatinkina-

zės aktyvumo serume, ir tai rodo, kad aktyvus poilsis neapsaugojo raumenų nuo pažeidos. Po trijų serijų maksimalaus veloergometrinio fizinio krūvio raumenyse atsirado mažų dažnių nuovargis (MDN), kuris ypač pasireiškė raumeniui esant mažo ilgio.

LITERATŪRA

- Allen, D. G. (2001). Eccentric muscle damage: Mechanisms of early reduction of force. *Acta Physiologica Scandinavica*, 171 (3), 311—319.
- Balnave, C. D., Allen, D. G. (1995). Intracellular calcium and force in single mouse fibres following repeated contractions with stretch. *Journal of Physiology*, 488, 25—36.
- Cannel, M. B., Allen, D. G. (1984). Model of calcium movements during activation in the sarcomere of frog skeletal muscle. *Biophysical Journal*, 45, 913—925.
- Chin, E. R., Allen, D. G. (1996). The role of elevation in intracellular Ca^{2+} in the development of low frequency fatigue in mouse single muscle fibres. *European Journal of Applied Physiology*, 491, 813—824.
- Chin, E. R., Balnave, C. D., Allen, D. G. (1997). Role of intracellular calcium and metabolites in low-frequency fatigue of mouse skeletal muscle. *American Journal of Physiology*, Vol. 272, 550—559.
- Clarkson, P. M., Sayers, S. P. (1999). Etiology of exercise-induced muscle damage. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 24 (3), 234—248.
- Faulkner, J. A., Brooks, S. V., Opitck, J. A. (1993). Injury to skeletal muscle fibers during contractions: Conditions of occurrence and prevention. *Physical Therapy*, 73, 911—921.
- Fitts, R. H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Review*, 7, 1, 49—95.
- Friden, J., Lieber, R. L. (2001). Serum creatine kinase level is a poor predictor of muscle function after injury. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 11 (2), 126—127.
- Friden, J., Lieber, R. L. (1992). Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 521—530.
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiology Review*, 81 (4), 1725—1789.
- Green, H. J. (1997). Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *Journal of Sports Science*, 15 (3), 247—256.
- Inbar, O., Bar-Or, O., Skinner, J. S. (1996). *The Wingate Anaerobic Test*. Human Kinetics.
- Jones, L. A., Rutheford, O. M., Parker, D. F. (1989). Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training quarterly. *Journal of Experimental Physiology*, Vol. 74, 233—256.
- Kulis, Y. U., Laurinavichyus, A., Firantas, S. G., Kurtinaitiene, B. S. (1988). Determination of lactic acid in blood with an exan-G analyzer. *Journal of Analytical Chemistry*, 43 (7), 1521—1523.
- Lannergren, J., Westerblad, H., Bruton, J. D. (1996). Slow recovery of force in single skeletal muscle fibres. *Acta Physiologica Scandinavica*, 156 (3), 193—202.
- Miles, M. P., Clarkson, P. M. (1994). Exercise-induced muscle pain, soreness, and cramps. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 34, 203—216.
- Newham, D. J., Jones, D. A., Clarkson, P. M. (1987). Repeated high-force eccentric exercise; effects on muscle pain and damage. *Journal of Applied Physiology*, 63 (4), 1381—1386.
- Newham, D. J., Mills, K. R., Quigley, B. M. & Edwards, R. H. T. (1983). Pain and fatigue after concentric and eccentric muscle contractions. *Clinical Science*, 64 (1), 55—62.
- Ratkevičius, A., Skurvydas, A., Pavilionis, E., Quistorf, B., Lexell, J. (1998). Effects of contraction duration on low-frequency fatigue in voluntary and electrically induced exercise of quadriceps muscle in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 77, 462—468.
- Sahlin, K., Tonkonogi, M., Soderlund, K. (1998). Energy supply and muscle fatigue in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, Vol. 162, 261—266.
- Saugen, E., Vollestad, N. K., Gibson, H., Martin, P. A., Edwards, R. H. (1997). Dissociation between metabolites and contractile responses during intermittent isometric exercise. *Experimental Physiology*, 82, 213—226.
- Saxton, J. M., Donnelly, A. E. (1996). Length-specific impairment of skeletal muscle contractility function after eccentric muscle actions in man. *Clinical Science (Colch)*, 90 (2), 119—125.
- Sayers, S. P., Clarkson, P. M. (2001). Force recovery after eccentric exercise in males and females. *European Journal of Applied Physiology*, 84, 122—126.
- Skurvydas, A., Buitkus, J., Vasiliauskas, K., Stanislovaitis, A., Gedvilas, V. (2000). Raumens atsivavimo dinamika po maksimalaus intensyvumo fizinio krūvio. *Sporto mokslas*, 1, 32—33.
- Skurvydas, A. & Zahovajevas, P. (1998). Is post-tetanic potentiation, low frequency fatigue (LFF) and post-contraction depression (PCD) coexistent in intermittent isometric exercises of maximal intensity? *Acta Physiologica Scandinavica*, 164, 127—133.
- Smith, I. C. H., Marshall, S. R., Lucas, A., Newham, D. J. (1999). Effects of concentric and eccentric exercise on twitch responses of intact human muscle. *Journal of Physiology*, Vol. 515, 111.
- Stephensson, D. G., Wendt, I. R. J. (1984). Length dependence in sarcoplasmic calcium concentration and myofibrillar calcium sensitivity in striated muscle fibres. *Muscle Research Cell Motility*, 5, 243—272.

- Tiidus, P. M. J. (1997). Manual massage and recovery of muscle function following exercise: A literature review. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 25 (2), 107—120.
- Viitasalo, J. T., Niemela, K., Kaappola, R. et al. (1995). Warm underwater water-jet massage improves recovery from intense physical exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 71 (5), 431—438.
- Žmogaus fiziologija. (2003). Sud. E. Kėvelaitis, M. Illert, H. Hultborn. Kaunas: KMU. P. 443—444.
- Weicker, H. (1995). Einfluss metabolischer Faktoren auf statische und dynamische Kraft sowie periphere Ermüdung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 3, 151—168.
- Westerblad, H., Allen, D. G., Bruton, J. D. et al. (1998). Mechanisms underlying the reduction of isometric force in skeletal muscle fatigue. *Acta Physiologica Scandinavica*, 62 (3), 253—261.
- Westerblad, H., Allen, D. G. (2002). Recent advances in the understanding of skeletal muscle fatigue. *Current Opinion in Rheumatology*, 14 (6), 648—652.
- Westerblad, H., Duty, S., Allen, D. G. (1993). Intracellular calcium concentration during low-frequency fatigue in isolated single fibres of mouse skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, Vol. 75, 382—388.

THE ANALYSIS OF MUSCLE FATIGUE AFTER PHYSICAL VELOERGOMETRIC LOAD OF MAXIMAL INTENSITY EMPLOYING ACTIVE REST

Daiva Bulotienė¹, Albertas Skurvydas¹, Dalia Mickevičienė¹, Marius Brazaitis¹, Juozas Buitkus²
*Lithuanian Academy of Physical Education¹, Lithuanian University of Agriculture²,
Kaunas, Lithuania*

ABSTRACT

The aim of the research was to identify the leg muscle fatigue and its disappearance process after the execution of physical veloergometric load of maximal intensity employing active rest. Healthy, inactively engaged in sport, men in the control group (age — 20—21 years; n = 18) performed under the physical veloergometric load of maximal intensity (3 × 30 s; rest interval between the series — 4 min). After 4 months the same testees (experimental group) took part in the analogous experiment. During the 12-minute period after the load the participants pedalled on a veloergometer for 20 minutes with the resistance of 1 kg at the frequency of 60—70 t / min. These indices were registered during the load and recovery time: average pedalling capacity, the electrostimulated force at different muscle length, maximal voluntary force (MVF), low-frequency fatigue (LFF), lactate concentration in the blood (La), the activity of creatin kinase (CA) in the serum, muscle pain.

The results of the research demonstrate that the all-frequency induced force decreased after the performance of physical veloergometric load of maximal intensity, MVF did not reach its initial level during both tests, low-frequency fatigue resulted with the longer muscle, active rest neither lessened muscle pain nor prevented muscle injury, but hastened LFF disappearance.

Keywords: skeletal muscles, the length of a muscle, low-frequency fatigue, recovery, physical veloergometric load, active rest.

Gauta 2005 m. rugsėjo 12 d.
Received on September 12, 2005

Priimta 2005 m. lapkričio 16 d.
Accepted on November 16, 2005

Daiva Bulotienė
Lietuvos kūno kultūros akademija
(Lithuanian Academy of Physical Education)
Sporto g. 6, Kaunas LT-44221
Lietuva (Lithuania)
Tel +370 37 302655
E-mail d.bulotiene@lkka.lt