

LIETUVOS KŪNO KULTŪROS AKADEMIJA

Sporto biomedicinos fakultetas
Taikomosios fiziologijos ir sveikatos ugdymo katedra

MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

**Blauzdos tiesėjų ir lenkėjų raumenų funkcijos dinamika izokinetinio
krūvio metu.**

Darbo vadovas:

Prof. habil.dr. A.Skurvydas

Darbą atliko:

II kurso magistrantas,

Regimantas Kičas

KAUNAS 2005

TURINYS

ĮVADAS

TYRIMO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

1. LITERATŪROS APŽVALGA	5
1.1. RAUMENS FUNKCINĖ STRUKTŪRA	5
1.1.1. <i>Raumuo ir raumeninė skaidula</i>	5
1.1.2. <i>Miofibrilės ir sarkomerai</i>	6
1.1.3. <i>Miofilamentai</i>	7
1.1.4. <i>Raumeninės skaidulos citoskiletas.....</i>	7
1.2. RAUMENS SUSITRAUKIMO IR ATSIPAL AidAVIMO MECHANIZMAI.	8
1.2.1. <i>Cikliškas miozino ir skersinių tiltelių darbas.....</i>	8
1.2.2. <i>Raumens susitraukimo ir atsipalaidavimo etapai.</i>	9
1.3. RAUMENS MECHANIKA.	11
1.3.1. <i>Raumens susitraukimo tipai</i>	11
1.3.2. <i>Priklausomybė: raumens jėga – ilgis.....</i>	11
1.3.3. <i>Priklausomybė: raumens jėga – greitis</i>	12
1.3.4. <i>Priklausomybė: raumens jėga – laikas.....</i>	12
1.4. RAUMENŲ ADAPTACIJOS MECHANIZMAS.....	13
1.4.1. <i>Raumenų įsidirbimas.</i>	13
1.4.2. <i>Raumenų potenciacija.....</i>	13
1.4.3. <i>Raumenų nuovargis.</i>	15
1.4.4. <i>Raumenų susitraukimo jėga reguliuojantis mechanizmas.</i>	17
1.5. BLAUZDĄ TIESIANČIŲ RAUMENŲ FUNKCINĖ ANATOMIJA.	18
1.6. FUNKCINĖ BLAUZDĄ LENKIANČIŲ RAUMENŲ ANATOMIJA.....	20
1.7. IZOKINETINIS RAUMENŲ SUSITRAUKIMO REŽIMAS.	23
1.7.1. <i>Izokinetinis dinamometras.....</i>	23
1.7.2. <i>Izokinetinis testavimas.</i>	23
1.7.3. <i>Koncentrinio ir ekscentrinio darbo skirtumai.....</i>	24
2. TYRIMŲ ORGANIZAVIMAS.....	26
2.1. TIRIAMIEJI.....	26
2.2. TESTAVIMO PROTOKOLAS.....	26
2.3. TYRIMO METODIKA.	27
2.4. TYRIMŲ EIGA.	28
2.5. MATEMATINĖ STATISTIKA.....	29
3. TYRIMO REZULTATAI	30
4. REZULTATŲ APTARIMAS.....	42
IŠVADOS.....	45
5. LITERATŪRA.....	46

Įvadas.

Sudėtingo žmogaus organizmo pagrindinė ir “varomoji jėga” yra funkcinis pajėgumas, kuris nuolat domino mokslininkus ir tyrėjus. Be abejonės suprantame, kad fiziniam pajėgumui didžiausią reikšmę turi raumenų savybės. Raumenų sugebėjimas išvystyti jėgą priklauso nuo daugelio faktorių, tokių kaip raumenų masė, raumenų audinio tipas ir raumenų aktyvavimo savybės.

Šlaunies raumenys yra didžiausi ir stipriausi, tai labiausiai žmogaus judėjime dalyvaujantys raumenys. Šlaunies raumenų (lenkėjų ir tiesėjų) santykis naudojamas dvigalvio ir keturgalvio raumenų momentinio greičio ir kelio funkcinėms galimybės nustatyti (Aagaard, P. et al., 1995). Šlaunies raumenų jėgos rodikliai: maksimali jėga, galingumas, greitis, ištvėmė tiksliausiai parodo, jų savybes ir galimybes.

Yra metodai, kurie leidžia nustatyti aukščiau išvardintus parametrus. Vieni yra patikimesni ir efektyvesni nei kiti. Vienas jų yra izokinetinė dinamometrija, plačiai taikoma raumenų funkcijai tirti, nes ji palengvina rezultatų atkūrimą dirbant dinaminiu režimu. Toks tyrimas leidžia charakterizuoti raumenų pakitimus, priklausančius nuo sportinės veiklos, sąlygojančios rezultatų gerėjimą ir traumų išvengimą.

Šių dienų kariuomenėje vienas iš svarbių kariuomenės vado uždavinių yra pažinti ir ugdyti karių fizinę ir dvasinę būseną. Kariams rengti naudojamos priemonės turi laiduoti karių pasitenkinimą tarnyba, tikslų ginkluotųjų pajėgų suvokimą, karinės tarnybos taisyklių laikymąsi bei įsakymų vykdymą. Karių rengimo sąlygos (pratybos) turėtų būti artimos karo sąlygoms.

Sėkmingas užduoties ir tikslų įgyvendinimas didele dalimi priklauso nuo sugebėjimo sekti ir vertinti karių organizmo fizinių ir psichinių galių kaitą. Kitaip tariant, labai svarbu žinoti, kaip vyksta organizme adaptacijos procesai taikant fizinius krūvius, ar atliekant sudėtingas užduotis sudėtingomis sąlygomis (Fitts et al. 1991; Skurvydas 1991).

Savo tyrimu siekėme nustatyti, kaip kinta blauzdos tiesėjų ir lenkėjų raumenų nuovargio ir atsigavimo dinamika, atliekant 100 judesių lenkimo – tiesimo krūvį, esant fiksuotam 180°/s kampiniam greičiui. Norėdami palyginti ir išaiškinti dviejų grupių blauzdos tiesėjų ir lenkėjų raumenų savybes, mes pasirinkome maksimalios jėgos ir jėgos prie maksimalaus greičio rodiklius.

TYRIMO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

Hipotezė:

Manome, kad Didžiojo Lietuvos Etmono Jonušo Radvilos mokomojo pulko karių jėgos rodikliai yra didesni nei Lietuvos Karo Akademijos pirmo kurso studentų.

Tyrimo tikslas:

Nustatyti LKA studentų ir kareivių, blauzdos tiesėjų ir lenkėjų raumenų funkcijos, nuovargio ir atsigavimo rodiklius, izokinetinio krūvio metu.

Uždaviniai:

1. Išanalizuoti blauzdos tiesėjų ir lenkėjų raumenų maksimalios jėgos kitimo dinamiką.
2. Nustatyti, blauzdos tiesėjų ir lenkėjų raumenų jėgos prie maksimalaus greičio kitimo dinamiką.
3. Palyginti raumens nuovargio ir atsigavimo skirtumą, tarp LKA studentų ir kareivių, esant dinaminiam raumens susitraukimui.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Raumens funkcinė struktūra

1.1.1. Raumuo ir raumeninė skaidula

Griaučių raumenis, kurių masė sudaro apie 40-50 % suaugusio žmogaus kūno masės, galima vadinti mechanizmais, kurie susitraukia, cheminę energiją paversdami mechanine. Šie mechanizmai yra žmogaus judėjimo aparato aktyvioji dalis ir pasižymi sugebėjimu prisitaikyti (adaptuotis) prie įvairių veiklos sąlygų (Costill et al., 1979).

Pagrindinis struktūrinis raumens vienetas yra raumeninė skaidula, kurioje yra daug branduolių, jos storis siekia 10-100 μm , o ilgis - 1-40 cm. Raumenines skaidulas jungia trijų sluoksnių jungiamojo audinio plėvelės:

- 1) jungiamojo audinio tarp sluoksnių (lot. endomysium) supa kiekvieną raumeninę skaidulą;
- 2) raumeninių skaidulų pluoštus jungia raumens dangalas (lot. perimysium);
- 3) visą raumenį gaubia išorinis raumens dangalas (lot. epimysium). (Fitts, 1994; Fitts et al. 1991).

Raumeninės skaidulos sukelia jėgą, kurią per šias jungiamojo audinio plėveles perduoda sausgyslėms ir kaulams (su sausgyslėmis jungiasi tik perimysium ir epimysium kolageninės skaidulos). Raumenines skaidulas susijungia su sausgysle tam tikru kampu ir nuosekliai išsidėsto raumenyje. Vienos raumeninės skaidulos ilgis visada yra mažesnis už raumens ilgį. Raumens funkcinį-struktūrinį vieneta sudaro raumeninės skaidulos, jungiamojo audinio trijų lygių plėvės ir sausgyslės.

Kiekvieną raumeninę skaidulą iš išorės dengia membrana (sarkolema). Apie 50-70% membranos tūrio sudaro baltymai – jonų kanalai, fermentai, struktūriniai baltymai ir kt. Raumeninės skaidulos citoplazma vadinama sarkoplazma. Joje driekiasi išilginių vamzdelių sistema, vadinama sarkoplazminiu tinklu, kuris sudaro apie 5% viso raumeninės skaidulos tūrio. Sarkolemos gilūs įlinkimai raumeninėje skaiduloje vadinami skersinių vamzdelių sistema - T sistema. Abipus T sistemos yra sarkoplazminio tinklo sustorėjimai, kurie vadinami galinėmis cisternomis (terminalinėmis). Šios trys struktūros (T vamzdelis ir jam iš abiejų pusių esančios sarkoplazminio tinklo galinės cisternos) vadinamos triada. (Fitts, 1994; Fitts et al., 1991) Specialios baltyminės struktūros, panašios į pėdą, jungia T vamzdelius ir sarkoplazminio tinklo galines cisternas. Pėdos struktūros dalyje, pasiekiančioje T vamzdelį, yra membraninio potencialo valdomas Ca^{2+} kanalas. Šį kanalą blokuoja farmakologinė medžiaga dihidropiridinas (DHP), todėl jis dar

vadinamas DHP prijungiamuoju baltymu. Sarkoplazminio tinklo galinės cisternos membranoje yra Ca^{2+} kanalai, pro kuriuos iš sarkoplazminio tinklo pagal koncentracijos gradientą išsiskiria Ca^{2+} jonai. Šie kanalai dar vadinami ryanodino prijungiamaisiais baltymais (Ratkevičius et al, 1995).

Kiekviena raumeninė skaidula pasižymi šiomis fiziologinėmis savybėmis:

- 1) jaudinimu, t.y. sugebėjimu į dirgiklį atsakyti veikimo potencialo generavimu;
- 2) sugebėjimu jaudinimo bangą paskleisti išilgai visos raumeninės skaidulos į abi puses nuo dirginimo taško;
- 3) kontraktiškumu, t.y. gebėjimu susitraukti ar pakeisti įtempimą dirginimo metu. (Бабский ir kt., 1972)

1.1.2. Miofibrilės ir sarkomerai.

Kiekvienoje raumeninėje skaiduloje yra nuo kelių šimtų iki kelių tūkstančių miofibrilių, kurių kiekviena susideda iš 1500 aktino ir 3000 miozino siūlų (miofilamentų) (Fitts et al., 1991). Miofibrilės diametras - apie 1 μm . Miozino ir aktino siūlai iš dalies persidengia, todėl miofibrilės turi tamsias ir šviesias juostas (Deetjen, 1994; Pollack, 1990). Šviesias juostas sudaro tik aktino siūlai, kurie yra izotropiškai poliarizuotai šviesai, todėl šios juostos vadinamos I diskais. Tamsios juostos, kuriose yra miozino ir aktino filamentai, yra anizotropiškos poliarizuotai šviesai, todėl vadinamos A diskais. Aktino filamentai tvirtinasi prie abiejų Z linijos galų. Z linija tęsiasi per visas raumeninės skaidulos miofibriles ir jungia jas į vieną darinį. Todėl tiek miofibrilėse, tiek ir visame raumenyje aiškiai matomos šviesios ir tamsios juostos. Tai būdinga griaučių ir širdies raumenims, kurie vadinami skersaruožiais.

Miofibrilės dalis, esanti tarp dviejų Z linijų, vadinama sarkomeru, kurio ilgis ramybės metu siekia 2,5 μm . Sarkomas - tai mažiausias raumeninės skaidulos struktūrinis vienetas. Viduryje A disko yra šviesi juosta, vadinama H zona. Jos viduryje galima išskirti M liniją, kurioje miozino filamentai yra sujungti vienas su kitu. Normaliomis sąlygomis H sritis atsiranda retai, nes raumenims susitraukiant sarkomerų ilgis kinta tarp 2,5 ir 1,6 μm . Šiame sarkomero ilgio diapazone aktino siūlai ne tik dengia miozino siūlus, bet ir iš dalies persidengia su priešingo sarkomero galo aktino siūlais.

1.1.3. Miofilamentai.

Storieji filamentai, kurie sudaro apie 45% visų raumeninės skaidulos baltymų, susideda iš daugelio (200-400) miozino molekulių. Kiekviena miozino molekulė susideda iš 2 sunkiųjų grandžių - HMM (angl. heavy meromyosin) ir 4 lengvųjų grandžių - LMM (angl. light meromyosin). Abi miozino sunkiosios grandys yra susisukę panašiai kaip spirale, tačiau viename gale jos atsiskiria viena nuo kitos ir sudaro miozino galvutę, kurioje yra vietos, pasižyminčios ATF-aziniu aktyvumu bei sugebėjimu jungtis prie aktino (Brenner, 1988). Vienai miozino galvutei tenka po dvi skirtingas lengvasias grandis (šarmines ir reguliacines), kurios kontroliuoja miozino galvutės padėtį ir garantuoja geresnį jėgos signalo transformavimą. Kitas dviejų susisukusių miozino sunkiųjų grandžių galas vadinamas miozino uodega. Miozino molekulė turi dvi paslankias vietas: 1) tarp miozino galvutės ir uodegos, 2) miozino uodegoje.

Miozino molekulių uodegos, susipindamos kartu, sudaro miozino kūną. Miozino galvutė ir dalis uodegos suformuoja skersinius tiltelius, kurie gali jungtis prie aktino.

Aktino filamentai yra sudaryti iš: aktino, tropomiozino ir trijų troponino baltymų. Aktino šerdis sudaryta iš dviejų susisukusių F aktino grandinių, kurių kiekviena susideda iš apie 200 polimerizuotų G aktino molekulių. F aktino grandinė visiškai apsisuka apie savo išilginę ašį kas 70 nm, t.y. kas 13 G aktino molekulių. Prie F aktino siūlų paslankiomis jungtimis yra prisitvirtinusios dvi tropomiozino molekulių grandinės. Jos išsidėsto dviejų aktino grandinių suformuotame įdubime. Prie tropomiozino periodiškai jungiasi troponino baltymų kompleksas susidedantis iš troponino C (Ca jonų prijungiamasis), troponino I (slopinamasis) ir troponino T (tropomiozino prijungiamasis). Kiekvieną miozino filamentą supa 6 aktino filamentai. (Pollack G.H., 1990).

1.1.4. Raumeninės skaidulos citoskiletas.

Raumeninės skaidulos citoskeletą (karkasą) sudaro baltymai, kurie sudaro tinkamas mechanines sąlygas skaiduloms susitraukti. Sarkomero karkasą formuoja šie pagrindiniai baltymai: titinas, nebūtinasis, C baltymas, M baltymas, miomesinas, aktininas, spektrinas. Miofibrilių ir visos raumeninės skaidulos karkasą sudaro baltymai: integrinas, vimentinas, syneminas, vinkulinas. Dalis citoskeleto baltymų (integrinas, spektrinas, vinkulinas) padeda perduoti informaciją sarkolemoms ir sarkomerams, pvz., padeda reguliuoti Ca jonų išsiskyrimą iš sarkoplazminio tinklo. Raumeninės skaidulos citoskiletas formuoja raumens karkasą, kuris lemia ne tik mechanines raumens savybes (tamprumą, klampumą), bet ir padeda reguliuoti jo adaptacinius procesus (Wang et al., 1979).

1.2. Raumens susitraukimo ir atsipalaidavimo mechanizmai.

1.2.1. Cikliškas miozino ir skersinių tiltelių darbas.

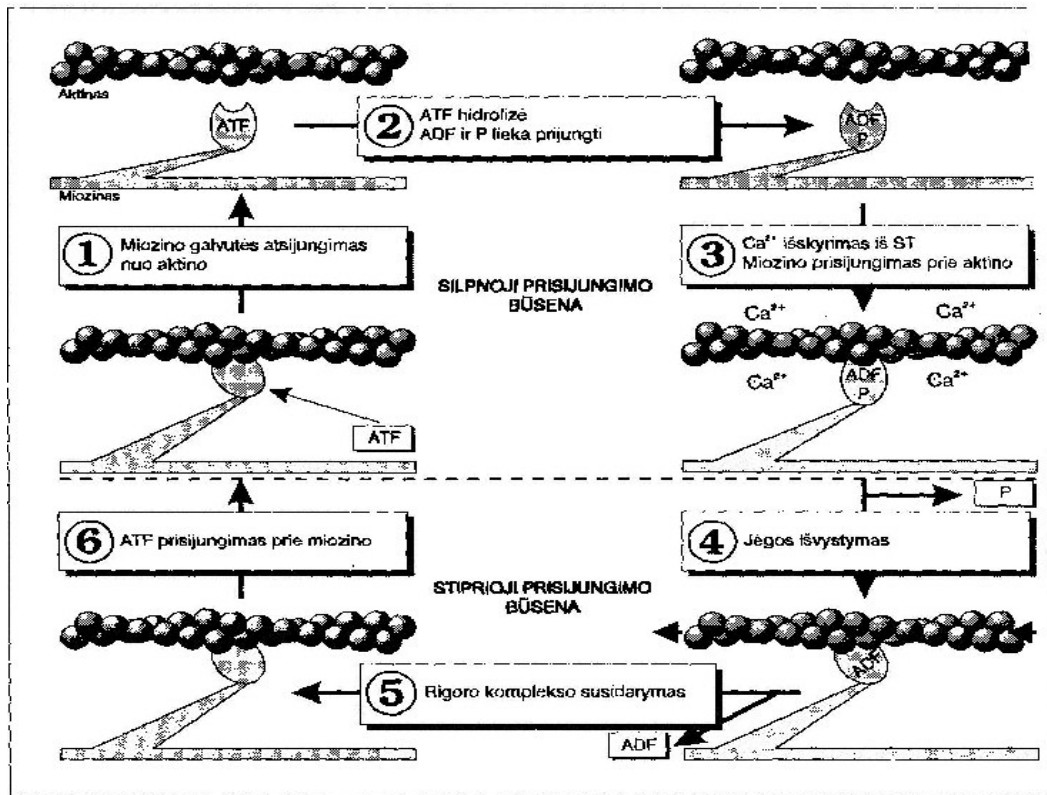
Raumens susitraukimą lemia slenkamųjų siūlų (filamentų) mechanizmas, t.y. miozino skersiniai tilteliai sukimba su aklino siūlais ir įtraukia juos į sarkomerų vidų. (Cecchi et al., 1984; Pollack, 1990). Šią raumens susitraukimo slenkamųjų filamentų teoriją pasiūlė anglų mokslininkai H. Huxley ir A. Huxley. Pagrindiniai šiuolaikinės slenkamųjų filamentų teorijos teiginiai:

- 1) susitraukiant raumeniui, sarkomerų ilgis trumpėja, bet miofilamentų ilgis nepakinta;
- 2) miozino tilteliai cikliškai įtraukia aktino filamentus tarp miozino filamentų;
- 3) miozino tiltelių cikliškas darbas nepriklauso vienas nuo kito;
- 4) miozino tiltelių ciklas prasideda sukibus su aktinu, o baigiasi atsipalaidavus;
- 5) vienam miozino tiltelių darbo ciklui reikia vienos ATF molekulės;
- 6) miozino tilteliai gali būti silpnos arba stiprios jungties būsenoje su aktinu;
- 7) miozino tiltelių ciklo trukmė priklauso nuo tiltelių sukibimo su aktinu, jų silpnos būsenos transformavimo į stiprią, ir tiltelių atsikabinimo nuo aktino greičio, o tilteliams atsipalaiduoti reikalinga ATF;
- 8) sukibusių su akliniu miozino tiltelių silpnos būsenos transformavimo į stiprią greitį priklauso nuo Ca^{2+} jonų koncentracijos, miozino lengvųjų grandžių fosforilinimo bei sarkomerų ilgio pokyčio ir susitraukimo greičio;
- 9) miozino tiltelių sukibimo su aktinu jėga priklauso nuo ADF, neorganinio fosfato ir H^+ jonų koncentracijos;
- 10) raumens susitraukimo jėga priklauso nuo kiekvieno miozino tiltelio sukibimo su aktinu jėgos, trukmės bei jų skaičiaus. (Kėvelaitis ir kt., 1999; Skurvydas A., 1998)

Skiriami šie miozino skersinių tiltelių darbo ciklo etapai (žr. 1 pav.):

- 1) miozino galvutės atsiskyrimas nuo aktino;
- 2) ATF hidrolizė, kurios metu ant miozino susidaro ADF ir neorganinis fosfatas;
- 3) miozino tiltelių silpnos sukibimo su aktinu būsenos susidarymas, jei yra pakankamas kiekis Ca^{2+} jonų, kurie sukelia aktino filamentų konformacinius pakitimus;
- 4) miozino tiltelių sukamasis (rotacinis) judesys ir stiprios jungties būsenos susidarymas su aktinu, kai atsiskiria neorganinis fosfatas;
- 5) ADF molekulės atsiskyrimas, miozino galvutės sukibimo su aktinu stiprios būsenos palaikymas, rigoro komplekso (patvarus junginys tarp aktino ir miozino) susidarymas;

6) ATF molekulės prisijungimas prie miozino galvutės, ir miozino skersinių tiltelių silpnos sukibimo su aktinu būsenos sudarymas, rigoro komplekso suardymas.



1 pav. Miozino skersinių tiltelių ciklas.

Viduląstelinė Ca^{2+} jonų koncentracija, reguliuodama aktino filamentų pakitimus lemia neorganinio fosfato atsiskyrimo nuo miozino galvutės ir miozino sukibime aktinu silpnosios būsenos perėjimo į stipriąją greitį. Nustatyta, kad miozino tiltelis, traukdamas aktino filamentus vieno ciklo metu, atlieka apie $50 \cdot 10^{20}$ J darbą. (Brenner B., 1988).

1.2.2. Raumens susitraukimo ir atsipalaidavimo etapai.

Raumens susitraukimas. Jo etapai:

- 1) motoneuronų sujaudinimas ir veikimo potencialo generavimas juose;
- 2) veikimo potencialo plitimas motoneurono aksonu į raumenines skaidulas;
- 3) nervo-raumens sinapsėje veikimo potencialas sukelia acetilcholino išsiskyrimą, kuris lemia galinės plokštelės potencialo susidarymą postsinapsinėje membranoje
- 4) galinės plokštelės potencialas sukelia raumens sarkolemos veikimo potencialą, kuris plinta raumenines skaidulos membranos paviršiumi apie 6 m/s greičiu ir patenka į T sistemą;

5) veikimo potencialas per T sistemą pasiekia elektrinius Ca^{2+} kanalus (DHP prijungiamuosius baltymus), kurie mechaniniu būdu per pėdos struktūrą atidaro sarkoplazminio tinklo Ca^{2+} kanalus (ryanodino prijungiamuosius baltymus);

6) atsidarius Ca^{2+} jonų kanalams, Ca^{2+} jonai pagal koncentracijos gradientą difunduoja iš sarkoplazminio tinklo į sarkoplazmą, todėl daug kartų didėja laisvųjų Ca^{2+} jonų koncentracija sarkoplazmoje: nuo 10^{-7} mol/l iki 10^{-5} mol/l;

7) dauguma Ca^{2+} jonų labai greitai jungiasi su troponinu C, kurio viena molekulė gali prijungti iki 4 Ca^{2+} jonų, pakinta viso troponinio komplekso erdvinė struktūra, pašalinamas slopinamasis troponino I poveikis, tuo pat metu per troponiną T perduodamas signalas tropomiozinui, ir visas troponino-tropomiozino kompleksas pasislenka į įdubimą tarp dviejų aktino grandžių ir užleidžia vietą miozino galvutei;

8) susidaro skersiniai tilteliai tarp aktino ir miozino, kurių sukamieji (rotaciniai) judesiai sukelia sarkomerų ir visos raumenines skaidulos susitraukimą ir jėgos didėjimą, padedant raumenines skaidulas citoskeletui. Raumens susitraukimo procesai, vykstantys nuo veikimo potencialo susidarymo sarkolemoje iki raumens jėgos didėjimo, vadinami elektromechaniniu ryšiu (angl. excitation-contraction coupling). (Kėvelaitis et al., 1999; Rios et al., 1994.)

Raumens atsipalaidavimas. Veikiant Ca^{2+} siurbliams (Ca^{2+} -ATFazei), Ca^{2+} jonai aktyviai sugražinami į sarkoplazminį tinklą, kur jie jungiasi su baltymu kalcekestrinu. Manoma, kad Ca^{2+} siurblys atplėšia Ca^{2+} jonus nuo baltymo parvalbumino, kuris labai greitai sujungia sarkoplazmoje tam tikrą dalį laisvųjų Ca^{2+} jonų, išsiskyrusių iš sarkoplazminio tinklo. Kai sarkoplazmoje sumažėja laisvųjų Ca^{2+} jonų koncentracija iki 10^{-7} mol/l, tropomiozinas užblokuoja aktyviasias aktino vietas, ir vyksta raumens atsipalaidavimas, jei tarp miofibrilių yra pakankamas ATF kiekis (Rali, 1982; Westerblad et al., 1991). Stingant ATF, miozino skersiniai tilteliai išlieka prisijungę prie aktino stipriosios jungties būsenoje. Dėl šios priežasties griaučių raumenims būdingas pomirtinis sustingimas. (Kėvelaitis ir kt., 1999).

Raumeniui susitraukiant ir atsipalaiduojant reikalinga ATF energija šiems procesams:

- 1) Na^+ - K^+ siurbliui (apie 10%);
- 2) miozino skersiniams tilteliams sukibti su aktinu ir atsipalaiduoti nuo jo (apie 60%);
- 3) Ca^{2+} siurbliui (apie 25%);
- 4) miozino lengvosioms grandims fosforilinti (apie 5%). ATF atsargų ląstelėje pakanka tik keliems raumens susitraukimams, toliau ATF verčiama iš kreatinfosfato.

1.3. Raumens mechanika.

1.3.1. Raumens susitraukimo tipai.

Yra šie pagrindiniai raumenų susitraukimo tipai: izometrinis (raumuo įgyja jėgą, tačiau jo ilgis nekinta) ir dinaminis (raumuo įgyja jėgą kintant raumens ilgiui). Dinaminis susitraukimas skirstomas į:

1) koncentrinį (raumens ilgis mažėja). Koncentrinis susitraukimas skirstomas: izokinetinį (nekintamas sąnario sukamojo judesio greitis), izotoninį (tai tik laboratorinėmis sąlygomis nustatytas susitraukimas, kai raumuo trumpėja, o jo jėga nekinta).

2) ekscentrinį (ilgis didėja).

Remiantis tuo, kaip kinta susitraukimo metu raumens ilgis ir jėga, net vieno judesio metu raumens susitraukimo tipai gali būti skirtingi, pvz., šuolio metu būna ekscentrinis, izometrinis ir koncentrinis susitraukimai (Komi, 1992).

1.3.2. Priklausomybė: raumens jėga – ilgis

Raumuo panašiai kaip spyruoklė ir amortizatorius pasižymi tamprumu ir klampumu. Tai priklauso nuo raumens nuosekliųjų ir lygiagrečiųjų tamprumo komponentų, kuriuos formuoja raumeninės skaidulos sarkolema, citoskeletas, sarkoplazminio tinklo vamzdeliai, miozino ir aktino filamentai, raumens jungiamojo audinio trijų sluoksnių plėvelės ir sausgyslė. Miozino ir aktino filamentai formuoja aktyvųjį raumens jėgos didinimo komponentą, o visi kiti - pasyvųjį raumens pasipriešinimo jo ilgio kitimui komponentą.

Sukamojo judesio jėgos momentas, kurį sudaro raumens jėgos ir jėgos peties sandauga, kinta, keičiant raumens ilgį arba sąnario kampą. Tai priklauso nuo šių veiksnių:

1) Sarkomero miozino ir aktino filamentų tarpusavio persidengimo. Sarkomerai išvysto didžiausią jėgą, kai jų ilgis siekia apie $2,2-2,3\mu\text{m}$, nes tada susidaro daugiausia miozino skersinių tiltelių su aktinu. Labai išsitempus ($> 3,6\mu\text{m}$) ar sumažėjus ilgiui ($< 1,65\mu\text{m}$), sarkomerų jėga mažėja.

2) Raumens pasyviojo pasipriešinimo. Ištempiant raumenį iki didesnio nei ramybės ilgio, atsiranda raumens pasyvusis pasipriešinimas.

3) Raumens jėgos peties, t.y. trumpiausio atstumo nuo atramos taško iki jėgos veikimo linijos. Jis kinta, keičiant sąnarių kampą. Sąnario kampas, prie kurio pasiekiamas didžiausias jėgos

momentas, ne visada sutampa su raumens rėmybės ilgiu, t.y. kintant raumens ilgiui, nevienareikšmiai kinta jėgos momentas.

4) Raumens susitraukimo tipo. Raumens susitraukimo jėga priklauso ne tik nuo raumens ilgio, bet ir nuo jo susitraukimo tipo (ilgėjimo ar trumpėjimo) bei kitimo greičio. Didžiausią jėgą raumuo pasiekia ekscentrinio susitraukimo metu, t.y. net apie du kartus didesnę negu izometrinio susitraukimo (Fitts R.H. et al.,1991).

1.3.3. Priklausomybė: raumens jėga – greitis

Priklausomybė tarp raumens susitraukimo maksimalaus greičio ir susitraukimo jėgos yra hiperbolės formos. Didelį svorį raumuo gali pakelti tik susitraukdamas nedideliu greičiu, o maksimalus susitraukimo greitis nustatomas, kai raumuo susitraukia be jokio papildomo svorio. Atliekant judesį labai dideliu greičiu, nespėja sukibti daug miozino skersinių tiltelių su aktinu, todėl ir jėga yra maža.

Raumens susitraukimo galingumas yra lygus susitraukimo jėgos ir greičio sandaugai arba atliktam darbui per laiko vienetą. Kai raumuo susitraukia izometrinėmis sąlygomis, susitraukimo greitis lygus nuliui, todėl ir raumens darbas neatliekamas. Raumuo būna galingiausias, kai išorinis pasipriešinimas yra apie trečdalį maksimalios izometrinės jėgos (Fitts R.H. et al.,1991)..

1.3.4. Priklausomybė: raumens jėga – laikas

Raumens susitraukimo jėgos dydis priklauso ne tik nuo keliamo svorio ar raumens ilgio, bet ir nuo jo aktyvinimo trukmės, kuri reikalinga Ca^{2+} jonų koncentracijai didinti ir raumens pasyviajai jėgai įveikti. Veikimo potencialas, prasidedantis raumeninės skaidulos sarkolemoje, užtrunka apie 5-7 ms, Ca^{2+} jonų išsiskyrimo iš sarkoplazminio tinklo maksimumas pasiekiamas per 10-20 ms, o raumens jėga pradeda didėti tik po 20-30 ms nuo veikimo potencialo pradžios. Taigi stebimas latentinis laikotarpis, kuris trunka nuo sarkolemos depoliarizavimo iki raumens jėgos didinimo pradžios.

Dirginant raumenį nedideliu dažniu, po kiekvieno raumens susitraukimo būna visiškas atsipalaidavimas, toks susitraukimas vadinamas atskiruoju susitraukimu Dirginant raumenį didėjančiu dažniu, raumuo nespėja atsipalaiduoti, todėl raumens vienkartiniai susitraukimai sumuojasi, ir raumens susitraukimas įgauna dantytą tetanusą, o vėliau ir lygiojo tetanusą formas Žmogui atliekant judesį, jo raumeninės skaidulos beveik visada susitraukia dantytuoju tetanusu, tačiau dėl raumeninių skaidulų asinchroniško sujaudinimo viso raumens susitraukimas turi lygiojo

tetanuso pobūdį. Kai aktyvinimo pradžioje motoneuronas siunčia porinius impulsus, tarp kurių intervalas apie 10 ms, ypač didėja raumens susitraukimo greitis ir jėga, nes tai greitina raumens tampriųjų komponentų ištempimą ir Ca^{2+} jonų koncentracijos didėjimą sarkoplazmoje. Šis procesas vadinamas „užgriebimo“ fenomenu (angl. catch). Jei raumuo pasiekia nekintamą jėgą, ir tada aktyvinamas poriniu impulsu, ne tik didėja raumens susitraukimo greitis bei jėga, bet ir raumens jėga laikosi („užgriebiama“) tam tikrą laiką (Fitts R.H.,1994).

1.4. Raumenų adaptacijos mechanizmas.

1.4.1. Raumenų įsidirbimas.

Raumens įsidirbimui būdingi du pagrindiniai mechanizmai: 1) raumens metabolizmo suaktyvėjimas ir temperatūros didėjimas; 2) raumens mechaninių savybių gerėjimas. (Fitts R.H., 1994).

Dėl šitų mechanizmų didėja veikimo potencialo plitimo sarkolema greitis, suaktyvėja ATF hidrolizė, sumažėja raumens klampumas, padidėja elastingumas ir paslankumas, greitėja raumens susitraukimas ir atsipalaidavimas, mažėja raumens nuovargis. Pvz., kai raumens temperatūra padidėja apie 3°C, jo atsipalaidavimo greitis didėja apie 22%, tačiau maksimali jėga nepakinta, o kai kojų raumenų temperatūra padidėja nuo 30,4°C iki 38,5°C, žmogaus vertikalaus šuolio aukštis didėja apie 17 cm.

Įsidirbimo metu dažnai taikomi raumens tempimo pratimai, kurie gerina aktino ir miozino filamentų, citoskeleto ir jungiamojo audinio plėvelių elastingumą. Po sunkaus fizinio darbo dažnai patariama atlikti tempimo pratimus, nes tai mažina raumens tonusą, atpalaiduoja rigoro komplekso miozino skersinius tiltelius. Daug kartų atliekant tempimo pratimus, pailgėja raumens jungiamasis audinys, saugyslė, citoskeleto baltymai ir sarkomero ilgis ramybės būsenoje, pvz., po 10 metų raumens ištempimų raumens-saugyslės ilgis didėja apie 4%.

1.4.2. Raumenų potencialiacija.

Nuo pat pirmosios darbo sekundės randasi raumenų potencialiacija (aktyvacija), kuri skiriasi nuo raumens įsidirbimo mechanizmų (Grange R. et al., 1991). Nustatyta, kad raumenų potencialiosios metu pagerėja nervo raumens sinapsės pralaidumas, padidėja Na, K jonų siurblio aktyvumas, tai sukelia veikimo potencialo (VP) intensyvumą, suaktyvėja miozino skersinių tiltelių sukibimo su aktinu silpnos būsenos transformavimo į stiprią, greitis (tai labiau priklauso nuo

regulatorinių miozino lengvųjų grandžių fosforinimo laipsnio) (Grange R. et al., 1991). Tais atvejais, kai raumuo tetaniškai susitraukia, tai nuo pat jo aktyvumo pradžios jis yra potencijuojamas (aktyvuojamas), t.y. padidėja atskiro susitraukimo jėgos dydis bei greitis, kai raumuo yra sujaudinamas vienu elektros impulsu (Grange, R. et al., 1991). Raumenų potenciacija gali būti vertinama, kaip raumens suaktyvėjimo optimizacija, t.y. raumens susitraukimo ir atsipalaidavimo pagerėjimas, kuris gali pasireikšti ne tik dėl tetaninės aktyvacijos, būtent tada, kai pasireiškia posttetaninės potenciacijos fenomenas, bet ir dėl raumeninio audinio temperatūros padidėjimo ar įsidirbimo. Kai raumuo aktyvuojamas nedideliu dažniu elektrostimuliaciniais signalais, tai per 10-60 s stebimas laipsniškas jėgos padidėjimas. Šis fenomenas fiziologijoje žinomas kaip "laiptų" fenomenas. Nors šie raumenų autoaktyvacijos (autoreguliacijos) fenomenai jau nustatyti gana seniai, tačiau kol kas dar diskutuojama dėl jų mechanizmų (Binder-MacLeod S.A. et al., 1991; Metzger, J.M. et al., 1989). Vienas iš potenciacijos mechanizmų - tai raumenų miozino filamentų lengvųjų grandžių fosforioimas, kuris padidina skersinių miozino tiltelių sukibimo su aktinu greitį, nes "silpna" tiltelių būseną greičiau transformuojama į "stiprią" (Metzger, J.M. et al., 1989). Pastebėta, kad skirtingos raumens susitraukimo ir atsipalaidavimo charakteristikos yra nevienodai jautrios posttetaninei potenciacijai. Kuo mažesnė raumens susitraukimo jėga, tuo jautresnė raumens susitraukimo potenciacija (Metzger, J.M. et al.). Tačiau dėl potenciacijos gali pagerėti raumenų susitraukimo jėgos stiprėjimo maksimalus greitis nepriklausomai nuo raumens susitraukimo jėgos.

Raumenų susitraukimo autoaktyvacijos mechanizmų yra žymiai daugiau, nei lengvųjų miozino grandžių fosforilimo (Burke, R.E. et al., 1973; Skurvydas A. ir kt., 1995). Manoma, kad šie mechanizmai gali būti lokalizuoti įvairiose raumeninės skaidulos vietose (Burke, R.E. et al., 1973; Grange,,: nervo raumens sinapsėje; raumeninės skaidulos membranoje; T-sistemoje; sarkoplazminio retikulumo terminalinėse cisternose; sarkomeruose bei miozino sukibimo su aktinu tilteliuose; Ca^{2+} jonų susiurbimo į sarkoplazminį retikulumą mechanizme; ATF hidrolizės bei resintezės mechanizme; raumeninės skaidulos citoskelete.

Manoma, kad vieni iš reikšmingiausių raumenų veiklą aktyvuojančių mechanizmų veikimo potencialo sarkolemoje ir T-sistemoje įvardijami autoaktyvacija (Fitts R.H., 1994); kalcio jonų koncentracijos reguliavimas mioplazmoje (kalcio išmetimas iš SR, jo neutralizavimas mioplazmoje bei jo sugražinimo (sekvestracijos) į SR mechanizmai) (Haiech I. et al., 1979;); sarkomerų bei miozino tiltelių sukibimo su aktinu biomechanika (Enoka R., 1994). Visi šie mechanizmai priklauso nuo bioenergetikos efektyvumo (bioenergetikos efektyvumą suprantama kaip ATF hidrolizės greitis), todėl ir nevienareikšmiškai gali funkcionuoti skirtingose raumens būsenose. Raumuo gali būti aktyvuojamas dėl MV aktyvinimo procesų (MV impulsavimo dažnio, jų rekrutavimo kiekio ir sinchroniškos impulsacijos); aktyvavimo trukmės (kol pasireiškia nuovargis, raumeninė skaidula

gali būti labiau aktyvuojama); pertraukų tarp atskirų aktyvavimų trukmės ir dažnio (Binder-MacLeod S.A. et al., 1991). Be to, raumens autoaktyvacijos mechanizmai gali taip pat priklausyti ir nuo raumenų susitraukimo darbo tipo (dinaminis, izometrinis, koncentrinis ar ekscentrinis), ir raumens ilgio bei pasipriešinimo dydžio.

Šia prasme gali iškilti kai kurie klausimai, būtent, ar raumuo gali būti skirtingose aktyvuotose būsenose ar tai tik tos pačios kokybės, bet skirtingos kiekybės būsenos? Kokie pagrindiniai tų būsenų klasifikavimo kriterijai? Manoma, kad raumens autoaktyvacijos būseną gali būti skirtinga. Pvz., kai raumens būseną viena, raumuo yra "pasirengęs" (galima sakyti, kad raumuo yra pasirengęs, nors nervų sistema aktyvuoja, parengia raumenį, tačiau pats raumuo pasižymi autoaktyvuojamaisiais mechanizmais) greitai susitraukti. Kai esti kita greitojo atsipalaidavimo būseną - greitai atsipalaiduoti, o dar kita - greitai susitraukti ir greitai atsipalaiduoti. Be to, raumuo gali būti pasirengęs eksponuoti dideles pastangas arba būti aktyvinamas pakankamai ekonomiškai. Įvardytos raumens funkcinės būsenos leidžia daryti prielaidą, kad aktyvinimo metu jų aktyvinimo rodikliai gali kiek skirtis.

Visa tai leidžia daryti prielaidą, kad autoaktyvuojamųjų mechanizmų funkcinė paskirtis - efektyvinti, ekonomizuoti raumenų veiklą ir ją "apsaugoti" ar atitolinti nuo nuovargio pasireiškimu. Galima manyti, kad raumens darbas pirmiausia efektyvinamas, kiek vėliau ekonomizuojamas (t.y. atliekamas tas pats darbas tik sunaudojant mažiau energijos) raumens veikla. Manome, kad nebūtinai turi sutapti efektyvinimo ir ekonomizavimo mechanizmai. Pvz., raumuo ekonomiškiau gali dirbti nors ir kiek sutrikus jo atsipalaidavimo procesams, o efektyviau kai šie procesai pagerėja.

1.4.3. Raumenų nuovargis.

Raumenų savybės yra susijusios tiek tarpusavyje, tiek su fizinio krūvio parametrais. Atliekamų tyrimų rezultatai rodo esant jų svarbų vaidmenį nuovargio rutuliojimuisi. Tai raumenų posttetaninė potenciacija (PTP), susitraukimo ir atsipalaidavimo savybės, priklausančios nuo raumenų morfologinių ypatumų, raumenų išmonės fenomenas ir jų temperatūra.

Mokslininkų tirta raumenų kompozicijos įtaka nuovargiui. Buvo teigiama, kad raumenys, kuriuose vyrauja 1 tipo raumeninės skaidulos, yra daugiau atsparūs nuovargiui, palyginus su raumenimis, kuriuose vyrauja 2 tipo (greitos) raumeninės skaidulos. Tokie dėsniniai atrasti gyvūnų raumenyse.

Pagal Henemann'ą, raumeninės skaidulos rekrutuojamos priklausomai nuo darbo intensyvumo. Atliekant mažo intensyvumo krūvius, daugiausia dirba lėto tipo skaidulos ir kuo jis intensyvesnis tuo daugiau įsitraukia greito tipo motorinių vienetų (Stasiulis A., 1996). Tačiau galima

ir atvirkštinė rekrutavimo sistema. Tai galima sukelti, pavyzdžiui, dirginant elektra per blauzdos nervą. Aksonai, inervuojantys greitąsias skaidulas yra storesni ir pasižymi didesniu jaudrumu, todėl lėtosios tik vėliau rekrutuojamos

Raumenų nuovargis - tai raumenų susitraukimo jėgos ir galingumo mažėjimas. Jo priežastys:

- 1) ATF hidrolizės ir resintezės greičio mažėjimas;
- 2) metabolitų susikaupimas (ADF, neorganinis fosfatas, AMF);
- 3) acidozė - H^+ kaupimasis raumeninėje skaiduloje;
- 4) elektrinio signalo perdavimo sutrikimas;
- 5) raumenų mechanikos sutrikimas (sarkomerų, citoskeleto irimas).

Šie mechanizmai gali būti tarpusavyje susiję, pavyzdžiui, dėl acidozės mažėja ATF hidrolizės ir resintezės greitis. Atsižvelgiant į atliekamo darbo specifiką (darbo intensyvumą, trukmę, darbo ir poilsio santykį, raumens susitraukimo tipą), nuovargio mechanizmai gali pasireikšti tam tikrose raumeninės skaidulos vietose:

- 1) nervo-raumens sinapsėje;
- 2) sarkolemoje;
- 3) T sistemoje;
- 4) jungtyje tarp T sistemos ir sarkoplazminio tinklo;
- 5) sarkoplazminio tinklo Ca^{2+} kanaluose;
- 6) Ca^{2+} siurblyje;
- 7) troponino - tropomiozino komplekse;
- 8) miozino jungimosi su aktinu jungtyje;
- 9) sarkomerų ar citoskeleto mechanikoje.

Manoma, kad nuovargio mechanizmų pagrindinė paskirtis - saugoti nuo sutrikimų, atsirandančių dėl sunkaus fizinio darbo, raumens struktūras ir jo energetiką. Yra tokie raumenų nuovargio tipai:

1) Didelių dažnių nuovargis, atsirandantis maksimalaus intensyvumo, bet ne ilgai trunkančio darbo metu (ypač, jei darbas atliekamas be poilsio pertraukėlių). Tada blogėja nervo-raumens sinapsės veikla, veikimo potencialo sklidimas T sistema ir miozino skersinių tiltelių jungimasis su aktinu, todėl mažėja raumens susitraukimo jėga, galingumas bei atsipalaidavimo greitis. Raumuo greitai atsigauna po tokio darbo.

2) Metabolinis nuovargis, kurio metu labiausiai mažėja ATF hidrolizės bei resintezės greitis, energetinių medžiagų raumenyse kiekis, ypač kreatinfosfato ir glikogeno, mažėja miofibrilių jautrumas Ca^{2+} jonams. Susikaupę metabolitai blokuoja miozino skersinių tiltelių ciklišką darbą,

todėl mažėja raumens susitraukimo jėga, galingumas ir jo atsipalaidavimo greitis. Raumuo lėtai atsigauna iš šios būsenos. Raumens atsipalaidavimo greitis nuovargio metu lėtėja, ir todėl gerėja raumens sumavimasis į lygiojo tetanuso formą. Ši raumens būsenos informacija aferentinėmis skaidulomis perduodama motoneuronams, kurie mažina impulsavimo dažnį. Tai laiduoja efektyvesnį bei ekonomiškesnį raumens susitraukimą nuovargio metu. Motoneuronų impulsavimo dažnio prisitaikymas (mažėjimas) prie raumens nuovargio vadinamas raumens "išmintimi".

3) Mažųjų dažnių nuovargis, kurio metu raumenyse blogėja impulso perdavimas nuo T sistemos iki sarkoplazminio tinklo, sumažėja Ca^{2+} jonų išskyrimo iš sarkoplazminio tinklo greitis bei kiekis, nors maksimali tos būsenos raumens susitraukimo jėga ar greitis gali būti mažiau pakitę. Šios nuovargio būsenos energetiniai substratai nemažėja ir nesikaupia metabolitai. Raumens atsigavimas iš tos būsenos gali užtrukti net iki kelių dienų.

4) Struktūrinis nuovargis atsiranda intensyvaus ekscentrinio darbo metu. Tada gali iš dalies suirti sarkomerai, tam tikros miofibrilės ar kiti citoskeleto baltymai, tai mažina raumens susitraukimo jėgą ir greitį. Ši būseną gali atsirasti ir intensyvaus darbo pradžioje, ir raumenų atsigavimo po intensyvaus darbo metu.

1.4.4. Raumenų susitraukimo jėga reguliuojantis mechanizmas.

Raumenų susitraukimo jėga, greitis ir galingumas priklauso nuo to, kaip greitai sukibs aktino ir miozino tilteliai ir kiek jų sukibs. Kuo didesnis miofibrilių skaičius, tuo daugiau gali sukibti aktino ir miozino tiltelių, vadinasi tuo ilgesnis bus sarkomeras. Nuo sarkomero ilgio priklauso RS susitraukimo jėga. Kuo daugiau sarkomerų yra skaiduloje ir kuo jie trumpesni, tuo greičiau jie gali susitraukti. To paties žmogaus skirtingų raumenų sarkomerai gali būti nevienodo ilgio (McDonald et al., 1997). Kai raumuo atpalaiduotas, aktyviųjų aktino siūlų centrus blokuoja troponinas. Kad sukibtų kuo daugiau aktino ir miozino tiltelių, būtina, jog iš sarkoplazminio retikulumo išeitų kuo daugiau Ca^{2+} jonų. Susijungę su troponinu, šie jonai atpalaiduoja aktyvų aktino centrą. O kad kuo daugiau Ca^{2+} jonų išeitų iš sarkoplazminio retikulumo, reikia, kad kuo daugiau jų ten būtų ir kad kuo ilgiau būtų žadinama sarkolema. Tai priklauso nuo fermento Na-ATF-azės, K-ATF-azės kiekio ir aktyvumo. Yra žinoma, kad T-sistemoje šis fermentas ne toks aktyvus kaip RS membranoje. Kuo didesniu dažnumu į raumeninę ląstelę patenka nervinis impulsas, tuo daugiau sinapsėse išsiskiria acetilcholino, kuris padidina membranos pralaidumą Na^+ jonams, ir todėl greitai sužadina elektrinis impulsas RS. Dėl tokio pat dažnumo impulso stipriau susitrauks tas MV, kuriame yra daugiau RS. Tai yra viena iš priežasčių, galinčių paaiškinti, kodėl greitųjų MV susitraukimo jėga yra didesnė negu lėtųjų (Morgan, 1990).

Raumenų susitraukimo greitis bei jėga gali skirtis apie dešimt kartų priklausomai nuo ilgio, RS tvirtinimosi prie sausgyslių kampo ir sausgyslių tvirtinimosi prie kaulo jėgos svorto peties ilgio (Morgan, 1990). Jeigu RS tvirtinasi prie sausgyslių išilgai kaulo, tai raumuo geba padidinti greitį, o jeigu RS tvirtinasi tam tikru kampu (verpstės principu), raumuo išvystys didesnę jėgą. Kad įvairūs judesiai būtų efektyvesni, ilgalaikėje evoliucijoje specializavosi ne tik RS, bet ir skirtingos raumenų grupės.

Ilgėjant raumeniui iki optimalaus dydžio, didėja jo raumens jėga (McDonald et al., 1997). Ištempiant RS iš pradžių labai padidėja aktino ir miozino tiltelių kontaktų zona, nes sumažėja jų storis bei atstumas tarp aktino ir miozino. Kai RS ištemptos per daug, aktino ir miozino tilteliai sutrūksta. Dar daugiau tempiant RS, jėga gali padidėti, nes pailgėja jų susitraukimo bei atsipalaidavimo trukmė. Lėtosios raumeninės skaidulos išvysto maksimaliąją jėgą, kai jų ilgis didesnis už greitųjų RS. Natūralių valingų judesių metu RS ir visas raumuo kaip tik ir dirba tais ilgio diapazonais, kuriems esant išvystoma didžiausia jėga. Taigi judesiai yra valdomi efektyviausiai, nes mažiausiai kintant raumens ilgiui, daugiausia kinta jo jėga. Raumens jėgos priklausomybė nuo jo ilgio ir greičio lemia raumens generavimo plastiškumą, efektyvumą bei ekonomiškumą.

1.5. Blauzdą tiesiančių raumenų funkcinė anatomija.

Šlaunies raumenys yra didžiausi ir galingiausi raumenys visame kūne. Šių raumenų išvystymas turi didžiulę reikšmę visose sporto šakose. Šlaunies raumenys skirstomi į dalis: priekinę, vidinę, užpakalinę.

Priekinė grupė: keturgalvis šlaunies raumuo, m. quadriceps femoris. Tai didžiausias ir stipriausias raumuo visame kūne. Visos keturios jo galvos šlaunies apačioje pereina į plačią sausgyslę. (žr. 2 pav.)

Tiesusis šlaunies raumuo (1), m. rectus femoris,

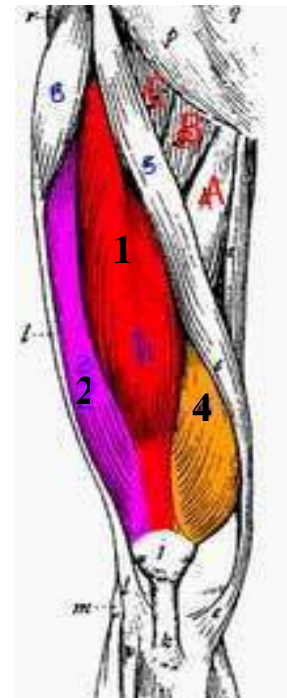
Šoninis platusis raumuo (2), m. vastus lateralis,

Vidinis platusis raumuo (4), m. vastus medialis,

arpinis platusis raumuo, m. vastus intermedius. Jį dengia tiesusis šlaunies raumuo. Funkcija: tiesia blauzdą, lenkia šlaunį.

Siuvėjo raumuo (5), m. sartorius. Funkcija: lenkia šlaunį ir blauzdą, sulenktą blauzdą suka į vidų.

Visos keturios keturgalvio šlaunies raumens galvos susijungusios



2 pav.

formuoja stiprią sausgyslę, kuri tvirtinasi prie girmelės viršutinio krašto. Toliau keturgalvio šlaunies raumens sausgyslė tęsiasi pereidama į girmelės raištį. Šoninis platusis ir vidinis platusis raumenys tvirtinasi prie kapsulės ir meniskų tinklinėmis skaidulomis. Tiesusis šlaunies raumuo tvirtinasi prie priekinio apatinio klubo dyglio ir baigiasi ties girmelės viršutiniu kraštu. Nors šoninis platusis raumuo yra didžiausias raumuo iš keturgalvio šlaunies raumenų, tačiau vidinis platusis raumuo įsitempia toliau kelio link. Vidinis platusis raumuo susideda iš skaidulų, kurios formuoja dvi skirtingas skaidulų kryptis. Toliau nutolusios įstrižosios skaidulos (vidinis platusis „įstrižinis“) priartėja prie girmelės 50°-55° kampe. Kitos – išilginės skaidulos (vidinis platusis „išilginis“) priartėja prie girmelės 15°-18° kampe. Šie skirtingi skaidulų komplektai veikia skirtingomis jėgomis, kurios nukreiptos į girnelę.

Giliausioji keturgalvio šlaunies raumens dalis yra tarpinis platusis raumuo, kuris glūdi po tiesiuoju šlaunies raumeniu. Šio raumens skaidulos sudarytos iš kelių slinkčių, kurios prisitvirtina priekinėje tolimojo šlaunikaulio galo pusėje. Šis raumuo traukia kapsulę ir sinovinę membraną artyn, atliekant aktyvų blauzdos tiesimą per kelio sąnarį.

Išorinių jėgų poreikis įveikti keturgalvį šlaunies raumenį: dviejų kelio sąnario tiesimo metodu sugretinimas: blauzdos – šlaunies su šlaunies- blauzdos.

Išorinės jėgos keičiasi priklausomai nuo to kaip vyksta tiesimas per kelio sąnarį. Blauzdos – šlaunies tiesimo metu, blauzdos išorinės jėgos petis padidėja sulenkus blauzdą per kelio sąnarį 90° - 0° Šlaunies-blauzdos tiesimo metu per kelio sąnarį, išorinės viršutinės kūno dalies jėgos petis sumažėja nuo 90° iki 0° blauzdos lenkimo.

Didžiausia kelio tiesimo jėga pasiekama tarp 45° ir 60° blauzdos lenkimo per kelio sąnarį. Maksimaliausia blauzdos tiesim jėga išlieka 90% ties 80° – 30° blauzdos lenkimo per kelio sąnarį. Šie 50° keturgalvio šlaunies raumens maksimalios jėgos potencialo naudojami atliekant įvairius judesius, kurie susiję su šlaunies- blauzdos kinematika, pvz.: lipant aukštais laiptais arba priimant tam tikrą pozą pritūpus, tam tikrose sporto šakose - krepšinyje, futbole. Pastebimas spartus vidinių jėgų smukimas, kai kelio sąnario kampas pasiekia visišką tiesimą. Išorinės jėgos, veikiančios kelio sąnarį šlaunies- blauzdos tiesime taip pat smunka toje pačioje judesių amplitudėje. Todėl yra biomechaninis atitikimas tarp keturgalvio šlaunies raumens vidinių jėgų potencialo ir išorinių jėgų potencialo, kurios veikia keturgalvį šlaunies raumenį 45° – 60° šlaunies-blauzdos tiesime.

Sverto peties ir raumens jėgos kintamumas labai įtakoja blauzdos tiesimo jėgos - kampo kreivę. Sverto petis veikia jėgą, o raumens ilgis įtakoja raumens jėgos potencialą.

Keturgalvio šlaunies raumens funkcija.

Izometriškai, ekscentriškai, koncentriškai susitraukiantis keturgalvis šlaunies raumuo sugeba atlikti įvairius judesius kelio sąnaryje. Izometriškai susitraukiantis keturgalvis šlaunies raumuo stabilizuoja ir padeda apsaugoti kelio sąnarį; ekscentriškai susitraukiantis keturgalvis šlaunies

raumuo kontroliuoja kūno masės centrą. Ekscentriškai susitraukdamas šis raumuo kontroliuoja blauzdos lenkimą. Pvz.: atliekant šuolį, raumuo padeda sumažinti krūvį, kuris tenka sąnariui. Koncentriškai susitraukdamas raumuo kontroliuoja blauzdos tiesimą per kelio sąnarį. Šis veiksmas ypač svarbus, kai reikia kontroliuoti savo kūno masės centrą – bėgant į kalną, šuoliuojant, atsistoti iš sėdimos padėties. (Enoka R., 1994).

1.6. Funkcinė blauzdą lenkiančių raumenų anatomija.

Vidinė grupė: grakštusis raumuo (A), m. gracilis, ilgas ir laibas, yra medialiniame šlaunies paviršiuje. Funkcija: pritraukia šlaunį, lenkia blauzdą ir suka ją į vidų.

Ilgasis pritraukiamasis raumuo (B), m. adductor longus, yra plokščias trikampis, tarp m. pectineus ir m. gracilis. .pav. Funkcija: pritraukia šlaunį.

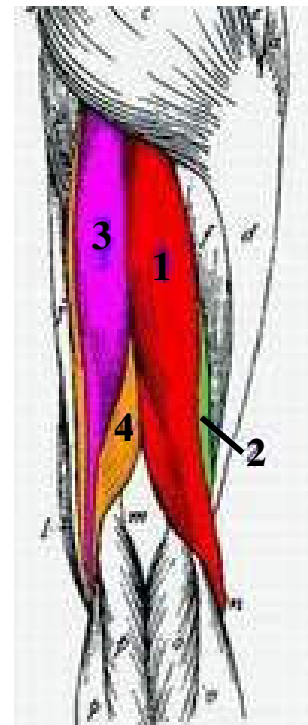
Skiauterinis raumuo (C), m. pectineus, yra pailgo trikampio formos, telpa tarp m. iliopsoas ir m. adductor longus. Funkcija: lenkia ir pritraukia šlaunį.

Užpakalinė grupė: pusgyslinis raumuo (3), m. semitendinosus. Sausgyslė sudaro daugiau negu trečdalį viso raumens ilgio. (žr 3 pav.). Funkcija: tiesia šlaunį ir lenkia blauzdą, sulenktą blauzdą suka į vidų.

Pusplėvinis raumuo (4), m. semimembranosus. Funkcija: tiesia šlaunį, lenkia ir suka į vidų blauzdą.

Dvigalvis šlaunies raumuo, m. biceps femoris:

- a) Ilgoji galva (1); Funkcija: tiesia šlaunį, lenkia ir suka į išorę blauzdą;
- b) Trumpoji galva (2). Funkcija: tiesia šlaunį, lenkia ir suka į išorę blauzdą.



3 pav.

Visi raumenys, kurie persikryžiuoja kelio sąnario užpakalinėje pusėje, išskyrus dvilypi raumenį, geba lenkti, sukuti kelio sąnarį į vidų bei į išorę.

Pusplėvinis raumuo prisitvirtina prie vidinio blauzdikaulio krumplio. Pusgyslinis prisitvirtina prie blauzdikaulio šiurkštumos. Abi dvigalvio šlaunies raumens galvos prisitvirtina prie šėivikaulio galvos.

Pusgyslinis ir pusplėvinis raumenys ne tik lenkia blauzdą, bet ir suka blauzdą į vidų. Dvigalvis šlaunies raumuo suka blauzdą į išorę. Horizontalus sukimas atsiranda, kai kelio sąnarys yra sulenktas. Šis lenkėjų horizontalios plokštumos veiksmas gali būti pajaučiamas palpuojant

dvigalvio šlaunies ir pusgyslinio raumens sausgysles užpakalinėje kelio sąnario pusėje, atliekant vidinį ir išorinį blauzdos sukimą. Tai atliekama sėdint, sulenkus blauzdą per kelio sąnarį 70° - 90° kampu. Visiškai ištiesus blauzdą per kelio sąnarį, blauzdos sukimas negalimas, nes kelio sąnarys mechaniškai užsirakina ir daugelis raiščių įsitempia. BLR vidinio ir išorinio sukimo jėgos petis žymiai sumažėja visiškai ištiesus blauzdą per kelio sąnarį.

Siuvėjo (m. sartorius) ir grakštusis (m. gracilis) raumenys tvirtinasi prie skirtingų dubens dalių. Abu šie raumenys lenkia šlaunį, bet jie atlieka skirtingus judesius skersinėje ir horizontalioje plokštumose. Šie raumenys prisitvirtina prie blauzdikaulio šiuurkštumos.

Pakinklio raumuo (m. popliteus) yra trikampis raumuo, kuris prisitvirtina prie šoninio šlaunikaulio krumplio, tarp ŠŠR ir šoninio menisko. Pakinklio raumuo yra vienintelis raumuo, kuris tvirtinasi kapsulės viduje. Praėjęs pro užpakalinę kapsulę, šis raumuo prisitvirtina prie blauzdikaulio užpakalinės pusės. Skaidulos nuo pakinklinio raumens prisitvirtina prie šoninio menisko ir susipina kartu su pakinklio raiščiu. BLR geriausiai įsijungia einant ar bėgant. Labai svarbus BLR veiksmas yra pakelti ir nuleisti blauzdą einant ar bėgant. Viena iš svarbiausių lenkėjų savybių yra nuleisti blauzdą vėliausioje ėjimo fazėje.

Šlaunies-blauzdos judesių kinematika. Tam, kad kontroliuoti šlaunies-blauzdos judesius, reikalingas daug didesnis raumenų poreikis, nei kontroliuoti blauzdos-šlaunies judesius. Kokie svarbūs šie raumenys, atspindi šiame pavyzdyje- bėgdamas žmogus stengiasi pagauti kamuolį. Kai dešinė pėda liečia žemę, dešinė šlaunis, dubuo, liemuo, kaklas, galva, akys sukasi į kairę pusę. Pastebimas įstrižinis raumenų susitraukimas tarp dešinio šėvikaulio ir kairės pusės kaklo. Tokiu atveju, dvigalvio šlaunies raumens trumpoji galva prisitvirtina įstriža kinetine grandine prie šėvikaulio. Šėvikaulis prisitvirtina prie blauzdikaulio per tarpkaulinę plėvę ir kitus raumenis.

Tam, kad kelio sąnarys būtų stabilus, reikalinga jėgų sąveika, kurias sukelia raiščiai ir raumenys. Tokia sąveika ypač reikalinga atliekant judesius horizontalioje ir skersinėje plokštumoje. Kai dešinė pėda atremta į paviršių, dvigalvio šlaunies raumens trumpoji galva suka šlaunį į vidų.

Blauzdą lenkiančių raumenų funkcija. Didžiausia BLR jėga pasiekama kai kelio sąnarys yra visiškame ištiesime. Nors BLR svorto petys yra didžiausias ties 45° lenkime per kelio sąnarį, raumenys gamina didžiausią jėgą kai jie pailgėja. Yra duomenų, kurie parodo kada gaunama didžiausia jėga, kai įsijungia vidiniai ir išoriniai blauzdos sukamieji raumenys. Kai šlaunis ir kelias sulenkti 90° kampu, vidiniai ir išoriniai sukamieji raumenys gamina jėgas, kurios lygios 30 Nm. Kai šlaunis ir kelias sulenkti 20° kampu, didžiausia vidinė sukimo jėga pralenkia išorinę sukimo jėgą 40%.

Raumenų jėgos charakteristika. Jėga yra žmogaus fizinė ypatybė, organizmo gebėjimas įveikti išorės pasipriešinimą arba priešintis jam vieno raumenų susitraukimo metu.

Raumenyse, sausgyslėse, raiščiuose ir sąnariuose yra proprioreceptoriai, iš kurių įcentriniais nervais į galvos smegenis eina impulsai, signalizuojantys apie atliekamą judesį, atskirų kūno dalių padėtį, raumenų įsitempimo laipsnį (Enoka, 1998). Tai leidžia koordinuoti judesius, įtraukiant į veiklą reikiamus motorinius vienetus, raumenis ir jų grupes, ugdyti jų įsitempimo jėgą, greitį.

Raumenų susitraukimo jėga ir greitis (vadinasi, jėgos greičio, greičio jėgos ir greičio ypatybių pasireiškimas) priklauso ir nuo raumenų darbo režimo. Raumenų darbo rūšys yra šios: **izometrinis** darbas (raumeninės skaidulos išvysto įtempimą, nekintant jų ilgiui), **koncentrinis** darbas (raumu susitraukia ir išvysto jėgą) ir **ekscentrinis** (raumeninės skaidulos ištempiamos ir išvysto jėgą). Raumenys išvysto pačią didžiausią jėgą ekscentrinio darbo metu. Pastaruoju metu atliekama vis daugiau tyrimų, nagrinėjančių mišrių raumenų darbo režimų (pvz., ekscentrinio-izometrinio-koncentrinio) ypatumus.

Raumenų išvystoma jėga priklauso nuo centrinių nervinių ir periferinių mechanizmų sąveikos. Kuo didesnė nervinė aktyvacija, tuo stipriau susitraukia raumeninės skaidulos, kartu labiau aktyvuojami Goldžio organai bei Renšou ląstelės. Pastarieji atgaliniu ryšiu slopina nervinę aktyvaciją. Jei būtų mažiau aktyvuojami Goldžio organai (mažesnis jų jautrumas), tai ta pati nervinė aktyvacija sužadintų raumenų jėgą.

Raumenų susitraukimo jėga bei greitis priklauso nuo daugelio specifinių mechanizmų. Netikslinga manyti, kad raumenų jėga priklauso vien nuo centrinės nervų aktyvacijos. Centrinė nervinė aktyvacija gali būti labai galinga, bet jeigu bus galingas ir atgalinis slopinimas – rezultatas bus menkas. Vien centriniuose nerviniuose jėgos bei greičio generavimo mechanizmuose slypi labai didelių rezervų. (Enoka R., 1994).

1.7. Izokinetinis raumenų susitraukimo režimas.

1.7.1. Izokinetinis dinamometras.

Dinaminiai izokinetiniai prietaisai pasirodė 7-ame dešimtmetyje, o 8-ame dešimtmetyje tapo vienu populiariausiu raumenų darbo įvertinimo metodu. Paskaičiuota, kad pradedant 1988 metais, kasmet buvo publikuojama 30-40 darbų, paremtų duomenimis, gautais elektromechaninių dinamometrų pagalba (Keating & Matyas, 1996). Rinkoje yra įvairių dinamometrų. Bet visi jie dažniausiai dviejų tipų – pasyvaus ir aktyvaus. Pasyvusis buvo pirmuoju dinamometru. Judesys buvo atliekamas tik koncentrinio susitraukimo režimu. Subjekto judesio greitį maksimalaus susitraukimo metu limitavo dinamometro ašis (pirmieji Cybex). Aktyvaus tipo dinamometruose stiprintuvu kontroliuojami lygiai užprogramuoti judesiui pastoviu pasirinktu greičiu. Cybex dominuoja izokinetinių dinamometrų rinkoje tarp Lido, Kin-Com ir Biodex. Buvo atlikti lyginamieji sistemų tyrimai ir nustatyta, kad testuojant skirtingais dinamometrais gaunami skirtingi statistiškai patikimi maksimalios jėgos rezultatai. (Wilke et al., 1987; Gross et al., 1991). Tai reiškia, kad informacija, gauta tiriant vienokiu izokinetiniu dinamometru negali būti perkelta kitam kaip absoliuti ir neginčijama norma. Dauguma izokinetinių tyrimų yra atliekama su Cybex dinamometru (Perrin et al., 1987; Sapega, 1990).

Visi izokinetiniai dinamometrai yra pagrįsti tuo, kad tiriamasis gali atlikti judesį maksimalia amplitude, kokia tik yra įmanoma konkrečiame raumenyje, esant nuolatiniam pasipriešinimui. Todėl raumens išsvystoma maksimali jėga turi reikšmę bet kuriame judesio taške, priešingai negu izotoninio susitraukimo metu.

1.7.2. Izokinetinis testavimas.

Izokinetiniai fiziniai pratimai- yra sudėtingesnė izotoninių pratimų modifikacija. Jų metu reikalingos valingos pastangos ne vien pakelti krūvį, bet ir pastangų gražinti jį į pradinę padėtį. Izokinetiniai fiziniai pratimai gali būti pavadinti prisitaikomuoju (accommodating) pratimų tipu. Teoriškai raumenys gali atlikti didesnę darbą esant tai pačiai judesio amplitudei negu izotoninių pratimų metu (Schmitz R.J et. al 2001).

Izokinetinis skirtingų raumenų grupių įvertinimas plačiai paplitęs tiek reabilitacijoje, tiek sporte. Per paskutinius trisdešimt metų padidėjo izokinetinių fizinių pratimų reikšmė sąnarių reabilitacijos srityje (Frisiello et. al 1994). Kadangi daugelis klinikų turi tinkamą įrangą, tai pirmenybė teikiama izokinetiniams fiziniams pratimams. Tyrėjas labai paprastai gali pasirinkti ir

reguluoti kampinį greitį, pasipriešinimą ir judesio amplitudę (Frisiello et. al 1994). Taip pat atlikta daug tyrimų izokinetinei sportininkų jėgai ir fizinio pasirengimo lygiui nustatyti (Burdet R. Et al., 1987, Mayer F Et al., 1994). Izokinetiniai dinamometrai yra naudojami įvertinant raumenų savybes po traumų ar kitokių poveikių, kontroliuojama ne tik raumenų simetrija, bet ir ryšys tarp izokinetinių parametrų ir sportinių rezultatų (Mont M. et al.1994).

Izokinetiniai dinamometrai leidžia išmatuoti raumens ar raumenų grupės susitraukimą esant pastoviam kontroliuojamam pasipriešinimui. Įmanoma nustatyti tokius raumens jėgos parametrus kaip specifinė ir maksimali jėga arba kitaip sukimosi momento pikas (peak torque), galingumas (power), atliktas darbas (total work). Tačiau raumenų darbo testavimo rezultatai pagrįstai svarūs tik tada, jei tiriamasis atlieka viską maksimaliomis valingomis pastangomis. Nes tik toks darbas atskleidžia tiksliausias duomenis (Sapega 1990)

Keating & Matyas (1996) apžvelgė daugiau nei 200 straipsnių, kad nustatytų įvairius faktorius, įtakojančius tiriamojo rezultatus izokinetinio testavimo metu. Tokiais su tiriamuoju susijusiais faktoriai gali būti amžius, lytis, svoris, fizinis pajėgumas, galūnės dominavimas. O su matavimais susijusiais faktoriais – judesio amplitudė, raumenų susitraukimo režimas (koncentrinis, ekscentrinis, izokinetinis, izotoninis, izometrinis), procedūros ir veiksmai atlikti prieš testavimą (pramankšta, sunkio jėgos korekcija, pradinės padėties, sverto ar peties ilgio nustatymas), testavimo sąlygos (greitis, poilsio intervalai, grįžtamasis ryšys) ir duomenų apdorojimo programa.

Pavyzdžiui Frontera ir kt.1991 nustatė, kad 45-78 metų tiriamieji išvysto didesnę maksimalią jėgą antros serijos metu negu pirmos. Nors šiame tyrime dalyvavo tik vyresnio amžiaus tiriamieji, galimas daiktas, kad praktika ir susipažinimas su visa procedūra gerina jų rezultatus. Manoma, kad po atitinkamų instrukcijų, tiriamojo supažindinimo su testavimo procedūra ir verbalinio skatinimo gaunami patikimesni rezultatai (Montgomery, et al. 1989; Keating, 1996).

Kai atliekamas raumenų darbas esant kokiai nors patologijai, literatūroje aprašomos papildomos testavimo aplinkybės. Pavyzdžiui, tiriamajam su kelio girnelės trauma patariama nedaryti jaučiant skausmą. Tas pats ir su tiriamaisiais, jaučiančiais skausmą raumenyse. Skausmas mažina raumenų funkciją, taigi labiau matuojamas skausmingumo laipsnis negu raumenų jėga.

1.7.3. Koncentrinio ir ekscentrinio darbo skirtumai.

1. Koncentrinio ir ekscentrinio raumenų darbo režimų metu aktyvinami skirtingo tipo motoriniai vienetai (Enoka, 1994).
2. Ekscentrinio darbo metu aktyvinami beveik visi sarkomerai (Enoka, 1994).
3. Ekscentrinio darbo metu CNS iš dalies aktyvina raumenį (Enoka, 1994).

4. Po ekscentrinio raumenų darbo labiau skauda raumenis (ypač praėjus 24-48vai. po treniruočių) (Enoka, et al 1994).
5. Ekscentrinio submaksimalaus intensyvumo darbo, trunkančio apie 20 min., metu labiau sumažėja H-refleksas, kas rodo motoneuronų aktyvinimo jautrumo pasilpimą (Enoka, 1994).
6. Ekscentrinio darbo metu raumuo labiau nuvargsta (Enoka, 1994).
7. Ekscentrinis raumens darbas sukelia didesnę mechaninį raumens sudirgimą (Komi, 1992).
8. Ekscentrinis raumens darbas (nepriklausomai nuo intensyvumo) stimuliuojalėtųjų raumeninių skaidulų baltymų sinteze.

Koncentrinių/ekscentrinių matavimų santykis priklauso nuo pasirinkto greičio. Koncentrinė jėga mažėja didėjant greičiui, kai tuo pat metu, ekscentrinė jėga turi tendenciją nesikeisti arba didėti didėjant greičiui. (Vyse & Kramer, 1990) pastebėjo, kad maksimali ekscentrinė jėga po koncentrinio testavimo yra mažesnė (maždaug 10%) negu ta pati jėga po ekscentrinio koncentrinio testavimo.

Ekscentrinis režimas labiau veikia sąnarį, kuris esant skausmingai būsenai gali sumažinti maksimalios jėgos rezultatus.

2. TYRIMŲ ORGANIZAVIMAS.

2.1. Tiriamieji.

Buvo tiriamos 2 grupės: sveiki Lietuvos Karo Akademijos pirmo kurso studentai, ir Didžiojo Lietuvos Etmono Jonušo Radvilos mokomojo pulko kariai.

1 lentelė. Tiriamųjų amžiaus, kūno masės, ūgio ir imtis rodikliai. ($S \pm X$)

Tiriamųjų grupės	Imtis (n)	Amžius (metai)	Ūgis (cm)	Kūno masė (kg)
1 grupė: Lietuvos Karo Akademijos pirmo kurso studentai	17	18,8±0,4	181,3±12,0	77,5±9,0
2 grupė: Didžiojo Lietuvos Etmono Jonušo Radvilos mokomojo pulko kariai	20	19,8±1,1	180,3±6,9	70,4±9,4

2.2. Testavimo protokolas.

Tyrimas buvo atliekamas "Žmogaus motorikos" laboratorijoje. Pagal izokinetinį bilateralinį koncentrinį kojos lenkimo/tiesimo per kelio sąnarį protokolą.

1. Tiriamieji po neintensyvios pramankštos (po neintensyvaus 10 min., bėgimo, ar veloergometro mynimo pulso dažnis pabaigoje siekė apie 110-120 k/min) buvo sodinami į "Biodex System" įrenginio kėdę. Ir tvirtinamas prie kėdės diržais.

2. Nustatoma pilna kelio sąnario amplitudė (ištiesus ir sulenkus koją).

3. Blauzdos sunkio jėgos matavimas (Nm).

4. Kontrolinis testavimas prieš krūvį:

1 serija 3 kartus 180 laipsnių per sekundę greičiu kelio sąnario tiesimas-lenkimas. Poilsis 60 sekundžių.

5. Nustatoma pilna kelio sąnario amplitudė.

6. Krūvis: 100 kartų kelio tiesimas-lenkimas 180 laipsnių per sekundę. Viskas išsaugoma kompiuterio atmintyje.

7. Nustatoma pilna kelio sąnario amplitudė.

8. Blauzdos sunkio jėgos matavimas (Nm).

9. Kontrolinis testavimas 5 min. po krūvio:

1 serija 3 kartus 180 laipsnių per sekundę greičiu kelio sąnario tiesimas-lenkimas. (5 pav.)

2.3. Tyrimo metodika.

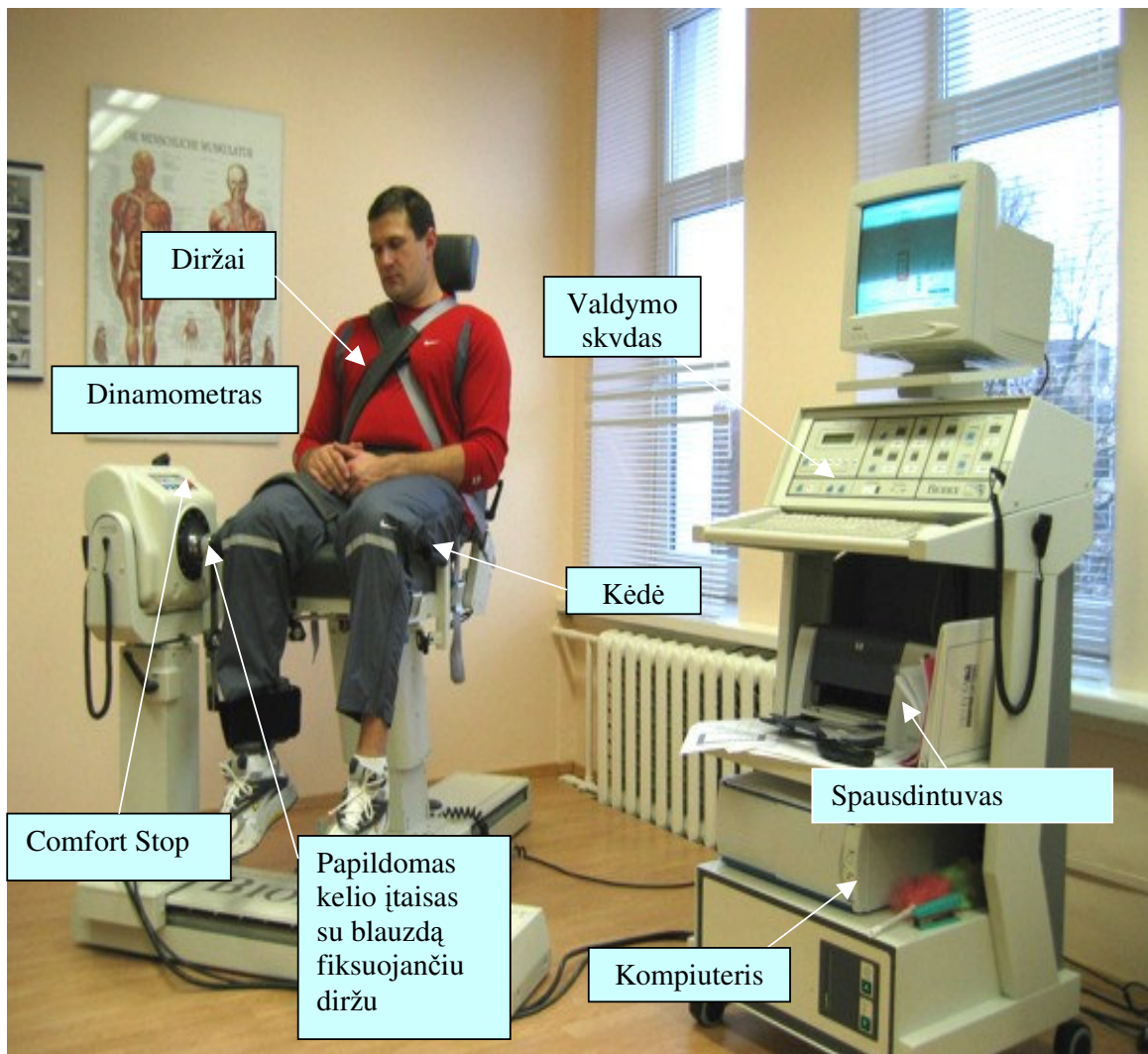
Tiriamieji buvo testuojami Biodex Medikai System - žmogaus kaulų -raumenų testavimui bei reabilitacijai skirta aparatūra (Biodex Medikai System 3 PRO Sertifikuota ISO 9001 EN 46001). Jos veikimo režimai yra: nustatymo, izokinetinis, pasyvusis, izometrinis, izotoninis, reakcinis ekscentrinis. Biodex Medikai System susideda iš kelių dalių:

Valdymo skydas. Kompiuteris gali būti valdomas automatiškai ir rankiniu (klaviatūra) režimu. Įvairių duomenų išvesčių dėka galima atspausdinti skaičiais pateiktą informaciją ir grafinę informaciją, keliais skirtingais formatais.

Kėdė gali sukurti horizontalia plokštuma 360 laipsnių kampu kas 15 laipsnių intervalu, kėdės atlošas gali būti atlenkiama atgal 85, 70, 55, 40 ir 25 laipsnių kampu, gali būti stumdama pirmyn - atgal pagal paciento ūgį ir šlaunies ilgį, ji gali būti automatiškai pakeliama 14 colių (1 colis 2,54 cm) aukšty. Ant sėdimos dalies dešinė koja fiksuojama specialiais šlaunies diržais su sagtimi antrame trečdalyje (kėdėje).

Dinamometras: Jis gali sukurti vertikaloje plokštumoje pakreipiant veleno ašį aukšty arba žemyn iš horizontalios padėties. Dinamometras kaip ir kėdė gali būti pakeliamas ar nuleidžiamas 14 colių diapazonu. Dinamometras gali judėti horizontalioje plokštumoje į kairę arba dešinę. Dinamometre yra įtaisytas mygtukas (Comfort Stop) jis suteikia žmogui galimybę akimirksniu nutraukti pratimą, bet kuriame pasirinktame testavimo ar reabilitacijos režime. Šio mygtuko principinis tikslas apsaugoti žmogų nuo kontraindikacijų ar diskomforto toje judėjimo amplitudės diapazono dalyje. Blauzda tvirtinama diržu su sagtimi apatiname trečdalyje 4 cm **virš kulnakaolio gumburo**. Prieš nustatant kelio sąnario judėjimo amplitudę ir užtvirtinant diržus reikia teisingai išlyginti anatominę kelio sąnario ašį su dinamometro ašimi. Dinamometro ašis kalibruojasi automatiškai kiekvieną kartą įjungus prietaisą. (4 pav.)

Testavimas buvo atliekamas **izokinetiniame** režime pagal specialiai sukurta protokolą (žr. protokolą). Šiame režime dinamometras kontroliuoja greitį, leidžiant žmogui pasiekti, bet neviršyti didžiausio kiekvienai krypti nurodyto ašies sukimosi greičio (suderinantis pasipriešinimas). Žmogus gali laisvai mažinti greitį ar pakeisti judėjimo kryptį bet kokiame judėjimo ribos esančiame taške. Kai žmogus pasiekia iš anksto nustatytus greičius, sutiktas pasipriešinimas bus lygus jo jėgos galiai. Jei žmogaus judesiai sustoja, pasipriešinimas sustoja. Žmogui panaudojant mažiau ar daugiau jėgos, jaučiamas atitinkamas pasipriešinimas.



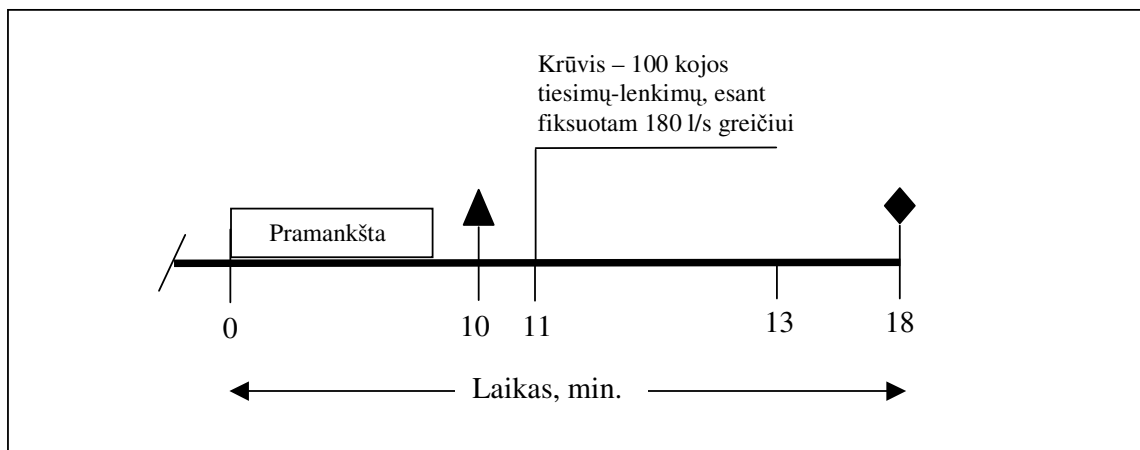
4 pav. Izokinetinis dinamometras.

2.4. Tyrimų eiga.

Dinamometro nustatymas ir padėties suregulavimas

1. Tiriamasis sodinamas ant kėdės.
2. Kėdė pasukama 90° kampu.
3. Dinamometras pasukamas 90° kampu. (dinamometras gali būti stumdomas, kad būtų įmanoma sureguliuoti testuojamos kojos padėtį).
4. Prie dinamometro pritvirtinamas papildomas kelio įtaisas. Reikia suliginti dinamometro ašies raudonąjį tašką su ant įtaiso esančiu raudonu tašku.
5. Nustatoma tiriamojo padėtis.
6. Sulyginama tiriamojo kelio sukimosi ašis su dinamometro ašimi. (Pakeliant/nuleidžiant kėdę arba pastumiant tiriamąjį pirmyn/atgal nuo dinamometro).

7. Blauzda tvirtinama diržu su sagtimi apatiniame trečdalyje 4 cm virš kulnakaulio gumburo. Taip sumažinamas priešakinio šėivikaulio slenkamasis judėjimas.
8. Tiriamasis stabilizuojamas pečių, liemens ir šlaunies diržais.
9. Nustatomi amplitudės (ROM) sustojimai.



5 pav. Tyrimo protokolai.

Pastaba: ▲ - kontrolinis testavimas (prieš krūvį), 3 kojos tiesimai-lenkimai esant fiksuotam 180 l/s; ◆ - testavimas po 5 min. atsigavimo, 3 kojos tiesimai-lenkimai esant fiksuotam 180 l/s.

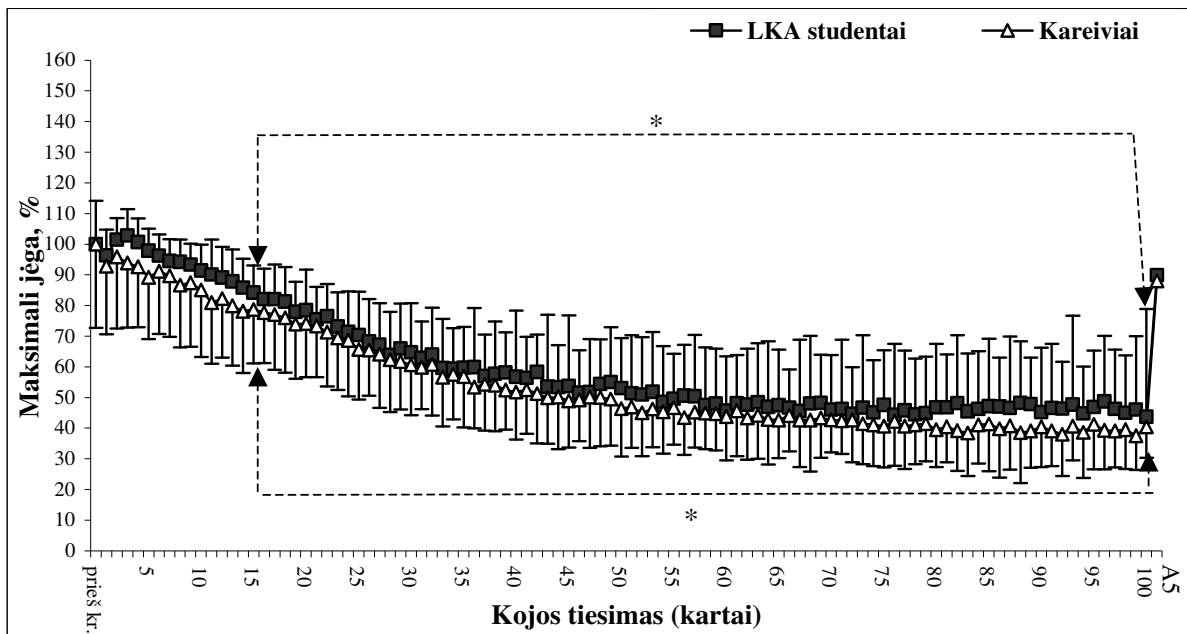
2.5. Matematinė statistika.

Apdorojant tyrimų duomenis, paskaičiavome aritmetinį vidurkį, standartinį kvadratinį nuokrypį, standartinio kvadratinio nuokrypio vidurkį, koreliacinę ryšį. Rezultatų patikimumas buvo skaičiuojamas pagal Student'o t-kriterijų, pasirenkant porinį būdą. Skaičiavimus atlikome naudodamiesi statistiniu "Microsoft® Excel 2000" paketu.

3. Tyrimo rezultatai.

Analizuodami pirmos grupės (LKA studentų) tyrimo duomenis, matome, kad blauzdą tiesiančių raumenų susitraukimo maksimali jėga ženkliai mažėja nuo pat pirmo judesio iki 58. Nuo 58 iki 100 judesio maksimali jėga sumažėjo ir kito nežymiai. ($p < 0.05$)

Antroje tiriamųjų (kareivių) grupėje maksimali jėga didėja nuo 1 judesio ir 3 judesio metu padidėja iki 102 % ($p > 0.05$). Iškart nuo 3 iki 61 judesio maksimali jėga ženkliai mažėjo. Nuo 61 iki 100 judesio kito nežymiai ir perėjo į mažiau kintamą būseną. ($p < 0.05$).



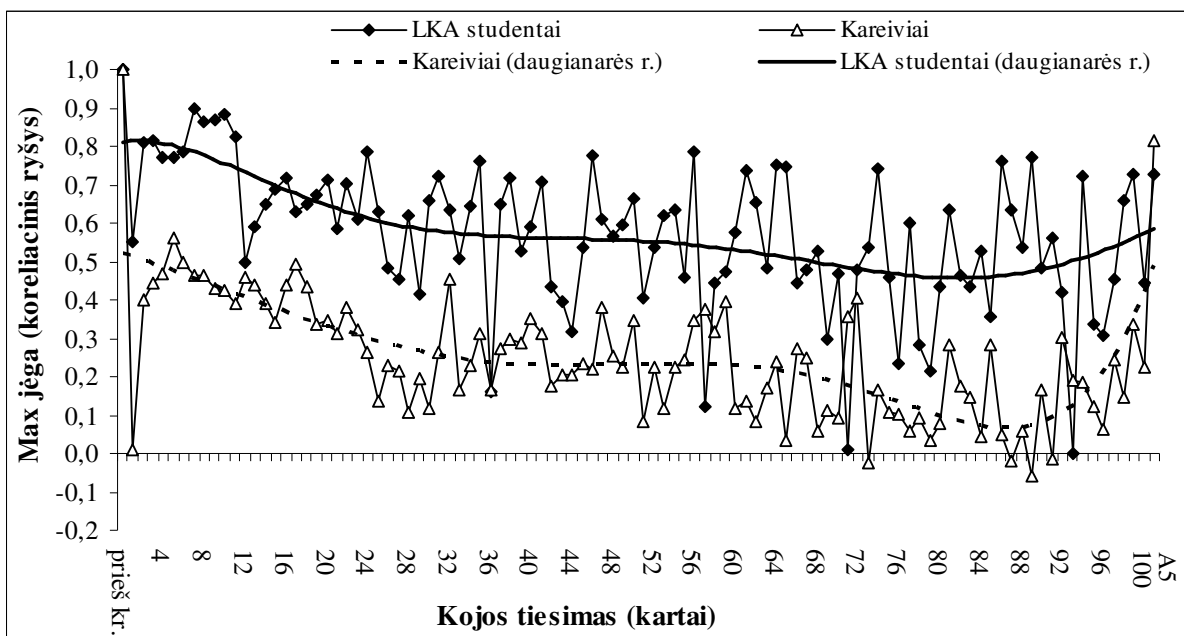
6 pav. Dviejų tiriamųjų grupių: 1) LKA studentų, 2) kareivių, keturgalvio šlaunies raumens maksimalios jėgos pakitimų dinamika, 100 kartų atliekant tiesimo ir lenkimo judesį krūvio metu. * - rodikliai nuo pirmo judesio skiriasi statistiškai patikimai; # - rodikliai tarp grupių skiriasi patikimai.

Lygindami pirmos (LKA studentų) grupės keturgalvio raumens maksimalios susitraukimo jėgos kitimo kreivę su antros grupės (kareivių) keturgalvio raumens maksimalios susitraukimo jėgos kitimo kreive, matome kad antros grupės keturgalvio šlaunies raumens maksimalios jėgos kitimo dinamika santykinai didesnė. Pirmosios grupės (LKA studentų) blauzdos tiesėjų raumenų maksimali susitraukimo jėga, praėjus 5 min. po krūvio (A5) pakito 88% nuo absoliučios reikšmės (A0), o antrosios (kareivių) grupės A5 metu nuo A0 reikšmės pakito 90%. ($p < 0.05$). (6 pav.)

Analizuodami pirmos (LKA studentų) grupės, blauzdos tiesėjų raumenų maksimalios susitraukimo jėgos, pradinės su slenkančiomis reikšmėmis, savitarpio ryšį, matome jog krūvio pradžioje ryšys stiprus, bet nuo 7 judesio mažėja. Darbo pabaigoje išlieka vidutinis koreliacinis ryšys, tarpais pastebimas koreliacinio ryšio nebuvimas. (7 pav.)

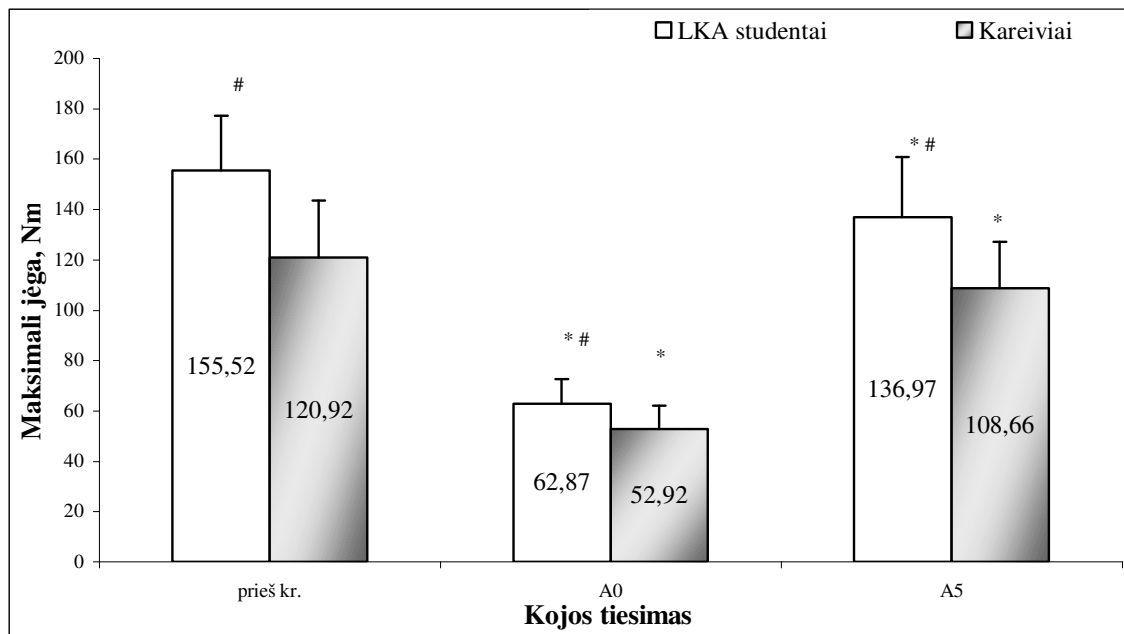
Antros (kareivių) grupės blauzdą tiesiančių raumenų susitraukimo maksimalios jėgos pradinės ir slenkančių reikšmių, koreliacinis ryšys krūvio pradžioje silpnėja ir krūvio pabaigoje koreliacinio ryšio nėra. (7 pav.)

Lyginant abiejų grupių keturgalvio raumens susitraukimo maksimalios jėgos koreliacines kreives, matomas didelis reikšmių kintamumas nuo kontrolinės reikšmės. Tarp grupių yra matoma, kad pirmosios (LKA studentų) grupės ryšys yra stipresnis. (7 pav.)



7 pav. Pirmos (LKA studentų) ir antros (kareivių) grupės blauzdos tiesėjų raumenų maksimalios susitraukimo jėgos nuovargio ir atsigavimo (A5), koreliacinis ryšys (nuo pradinės reikšmės (prieš krūvį)).

Iš tyrimo duomenų matome, kad pirmos grupės (LKA studentų) blauzdą tiesiančių raumenų susitraukimų maksimalios jėgos reikšmės po 5 min atsigavimo (A5) su pradinėmis (prieš krūvį) reikšmėmis matomas sumažėjimas. ($p < 0,05$). Po 5 minučių pasireiškia nuovargis. (8 pav.)

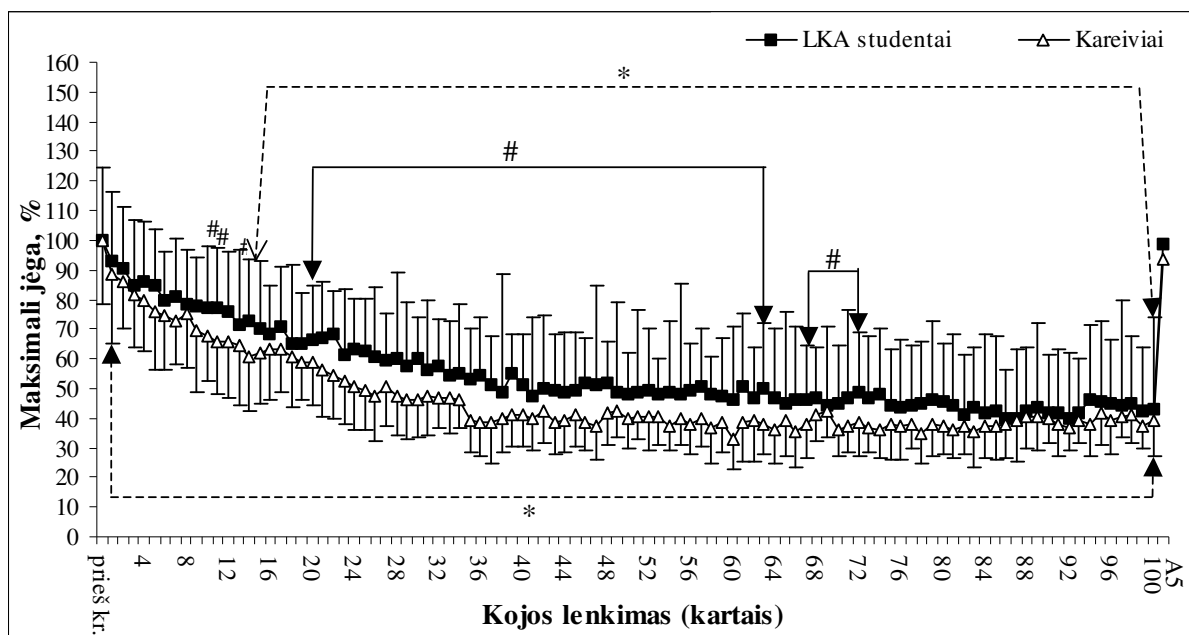


8 pav. Dviejų tiriamųjų grupių: 1) LKA studentų, 2) kareivių, blauzdą tiesiančių raumenų nuovargio (A0) ir atsigavimo (A5) nuo kontrolinės (prieš krūvį) reikšmės maksimalios jėgos rodikliai (Nm), # - rodikliai tarp grupių yra skiriasi patikimai; * - nuo kontrolinės (prieš krūvį) reikšmės, rodikliai skiriasi patikimai.

Analizuojant antros (kareivių) grupės blauzdos tiesiančių raumenų susitraukimo maksimali jėga prieš krūvį yra didesnė nei po 5 min atsigavimo (A5), ($p < 0,05$). (A5) metu pasireiškia nuovargis. (8 pav.)

Lyginami pirmos (LKA studentų) ir antros (kareivių) grupės keturgalvio raumens maksimalią jėgą pradines (prieš krūvį) reikšmes, matome kad pirmos grupės (LKA studentų), maksimali susitraukimo jėga (155,52 Nm) yra didesnė, už antros grupės (kareivių) (120,92 Nm), ($p < 0,05$). Absoliučios reikšmės (A0) skirtumas tarp pirmos ir antros grupės taip pat parodo, kad pirmos (LKA studentų) grupės maksimali jėga (62,87 Nm) yra didesnė už antrosios (kareivių) grupės (52,92 Nm). ($p < 0,05$). A5 metu maksimali jėga (136,97 Nm) didesnė pirmoje (LKA studentų) grupėje. Anroje grupėje po A5 metu maksimali jėga siekia 108,66 Nm. ($p < 0,05$). (8 pav.)

Nagrinėdami pirmos grupės (LKA studentų) tyrimo duomenis, matome kad blauzdos lenkėjų raumenų susitraukimo maksimali jėga nuo pat pirmo judesio ženkliai mažėja iki 38 judesio. Nuo 38 iki 100 judesio jėga kito nežymiai. ($p < 0.05$). (9 pav.)

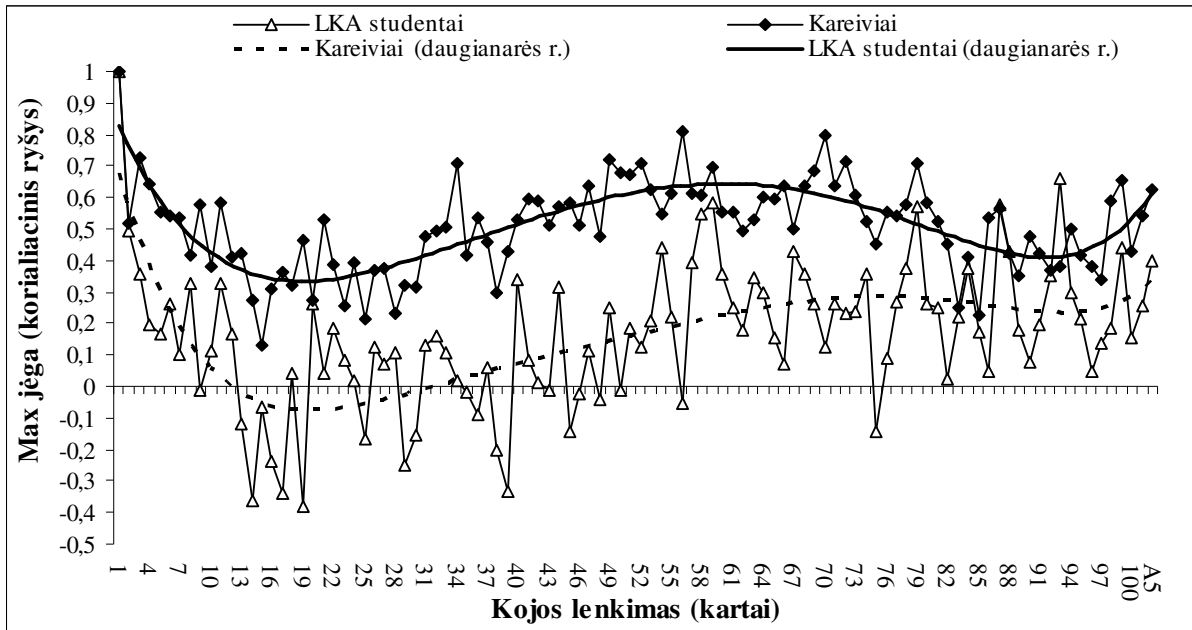


9 pav. Dviejų tiriamųjų grupių: 1) LKA studentų, 2) kareivių, blauzdą lenkiančių raumenų maksimalios jėgos dinamika, 100 kartų atliekant tiesimo ir lenkimo judesį krūvio metu. * - rodikliai nuo pirmo judesio skiriasi statistiškai patikimai; # - rodikliai tarp grupių skiriasi patikimai.

Antrosios tiriamųjų (kareivių) grupės blauzdą lenkiančių raumenų susitraukimo maksimali jėga jau nuo 1 iki 35 judesio ženkliai sumažėjo. Nuo 35 iki 100 judesio maksimali jėga kito nežymiai. ($p < 0.05$). (9 pav.)

Lyginami pirmos ir antros grupės blauzdą lenkiančių raumenų susitraukimo maksimalios jėgos kitimo kreives, matome jog pirmosios (LKA studentų) grupės maksimali jėga visuose reikšmėse yra didesnė. Pirmosios grupės blauzdą lenkiančių raumenų susitraukimo maksimali jėga praėjus 5 min. atsigavimo (A5) pakito 98 % nuo absoliučios reikšmės, o antros (kareivių) grupės A5 pakito 95% nuo A0 ($p < 0.05$). (9 pav.)

Analizuodami pirmos (LKA studentų), blauzdos lenkėjų raumenų maksimalios susitraukimo jėgos savitarpio ryšį, matome jog krūvio pradžioje ryšys stiprus, bet silpnėja su kiek vienu atliktu judesiu ir 20 judesį matomas tik silpnas koreliacinis ryšys. Po to ryšys stiprėja ir stebimas vidutinio stiprumo koreliacinis ryšys. Darbo pabaigoje koreliacija pradeda stiprėti. (10 pav.)



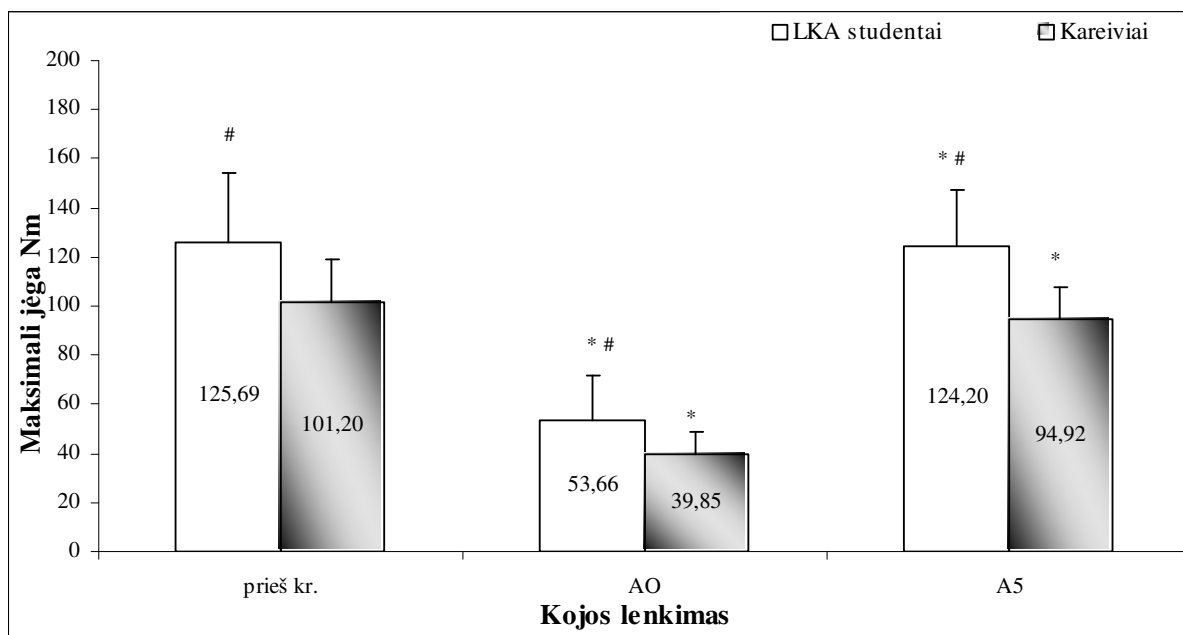
10 pav. Pirmos (LKA studentų) ir antros (kareivių) grupės blauzdos lenkėjų raumenų maksimalios susitraukimo jėgos nuovargio ir atsigavimo (A5), koreliacinis ryšys (nuo pradinės reikšmės (prieš krūvį).

Antros (kareivių) grupės blauzdą tiesiančių raumenų susitraukimo maksimalios jėgos pradinės ir slenkančių reikšmių, koreliacinis ryšys krūvio pradžioje silpnėja ir 10 judesyje jau nėra koreliacinio ryšio. Nuo 61 judesio matomas silpnas atvirkštinis koreliacinis ryšys. Toliau krūvio metu ryšys išnyksta ir į darbo pabaigą ryšys stiprėja, krūvis baigiamas jau prie silpno koreliacinio ryšio. (10 pav.)

Lyginant abiejų grupių koreliacija atliekant 100 tiesimo ir lenkimo krūvi nuo pradinės (prieš krūvį) reikšmės, matome kad reikšmių kintamumas yra didelis, bet pirmos (LKA studentų) grupės koreliacinis ryšys yra stipresnis. (10 pav.)

Analizuojant pirmos (LKA studentų) grupės tyrimo duomenis, matome jog blauzdą lenkiančių raumenų susitraukimo maksimalios jėgos pirminiai rodikliai (prieš krūvį) ir po 5 minučių atsigavimo (A5) yra lygūs. Maksimali jėga visiškai atsigavo. (11 pav.)

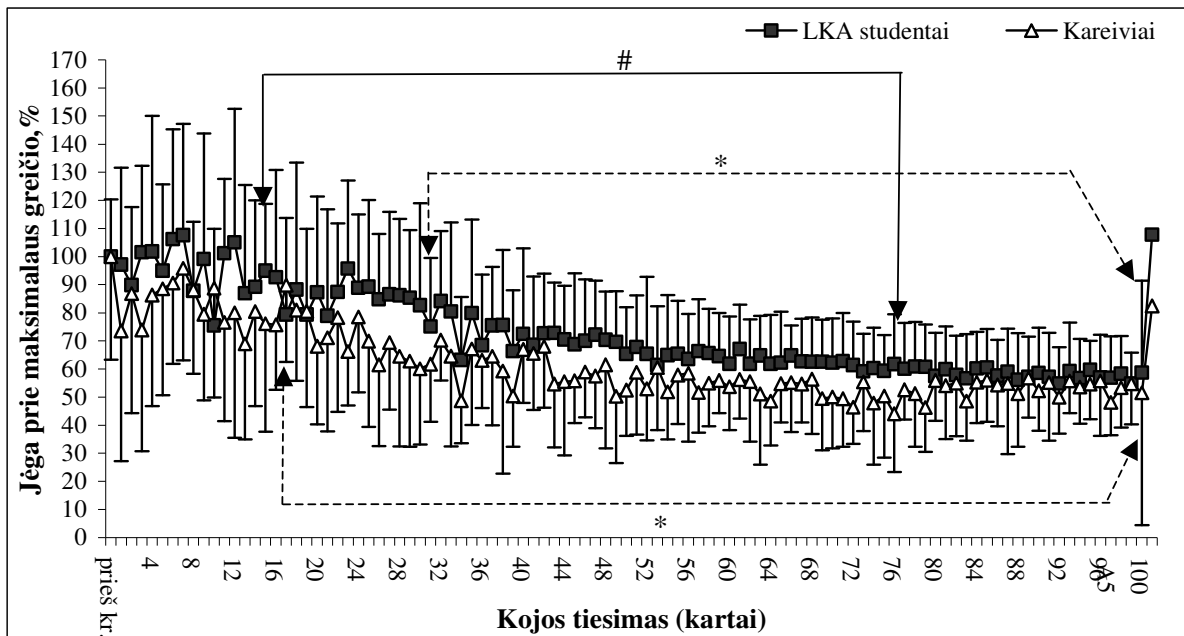
Antrosios (kareivių) grupės maksimalios jėgos rodikliai po 5 minučių atsigavimo (A5) yra mažesni nei kontroliniai duomenys (prieš krūvį). (11 pav.)



11 pav. Dviejų tiriamųjų grupių: 1) LKA studentų, 2) kareivių, blauzdą lenkiančių raumenų nuovargio (AO) ir atsigavimo (A5) nuo kontrolinės (prieš krūvį) reikšmės maksimalios jėgos rodikliai (Nm), # - rodikliai tarp grupių skiriasi patikimai; * - rodikliai, nuo kontrolinės (prieš krūvį) reikšmės, skiriasi patikimai.

Lygindami pirmos (LKA studentų) ir antros (kareivių) grupės blauzdą lenkiančių raumenų susitraukimo maksimalios jėgos kontrolinius rodiklius (prieš krūvį) nustatėme pirmosios grupės didesnę maksimalios jėgos rezultatą (125,69 Nm), antros grupės - (101,20 Nm). Absoliučios reikšmės (AO) rezultatų lyginimas tarp grupių parodė, kad didesnę maksimalią jėgą pasiekė pirmos (LKA studentų) grupės tiriamieji (53,66 Nm), antros (kareivių) grupės - (39,85 Nm). Po krūvio praėjus 5 minutėms atsigavimo pirmosios (LKA studentų) grupės jėga buvo vėl didesnė (124,20 Nm) už antros (kareivių) grupės - (94,92 Nm). (11 pav.)

Analizuodami pirmos grupės (LKA studentų) tyrimo duomenis, matome, kad blauzdą tiesiančių raumenų susitraukimo maksimali jėga didėja iki 8 judesio ir siekia 107% ($p>0.05$). Nuo 8 judesio jėga prie maksimalaus greičio mažėja iki 55 judesio. Nuo 55 iki 100 judesio jėga prie maksimalaus greičio mažai kito ir stabilizavosi ($p<0.05$). Antroje tiriamųjų (kareivių) grupėje blauzdos tiesėjų jėga prie maksimalaus greičio didėja iki 8 judesio ir siekia 95,7% ($p>0.05$). Nuo 8 iki 40 judesio jėga prie maksimalaus greičio mažėja. O nuo 40 iki 100 judesio mažai kito ir stabilizavosi ($p<0,05$). (12 pav.)



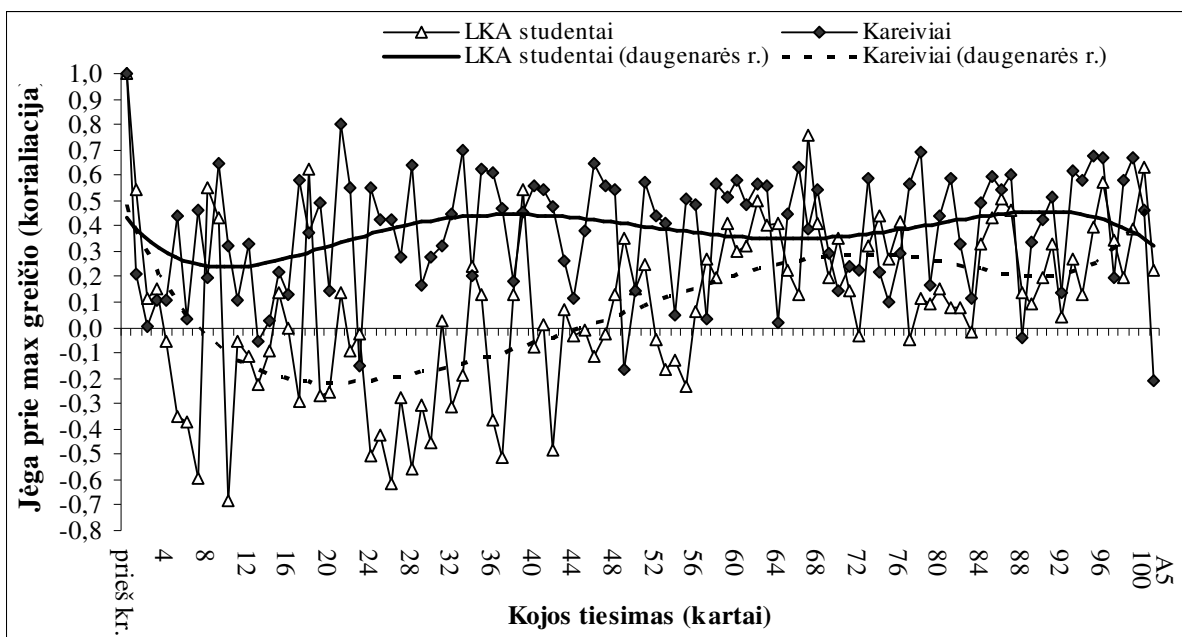
12 pav. Dviejų tiriamųjų grupių: 1) LKA studentų, 2) kareivių, keturgalvio šlaunies raumens jėgos prie maksimalaus greičio dinamika, 100 kartų atliekant tiesimo ir lenkimo judesį krūvio metu. * - rodikliai nuo pirmo judesio skiriasi statistiškai patikimai; # - rodikliai tarp grupių skiriasi patikimai.

Lygindami pirmos (LKA studentų) ir antros (kareivių) grupės keturgalvio raumens susitraukimo jėga prie maksimalaus greičio kreivių dinamiką, matome kad blauzdos tiesime pirmos (LKA studentų) grupės jėga prie maksimalaus greičio yra didesnė už antros (kareivių) grupės. Tik nuo 81 judesio kai jėga prie maksimalaus greičio stabilizavosi, abiejų grupių rodikliai susilygino. (12 pav.)

Pirmos (LKA studentų) grupės blauzdos tiesėjų raumenų susitraukimo jėga prie maksimalaus greičio, po 5 min. po krūvio (A5) pakinta 107% nuo absoliučios reikšmės po krūvio (A0). Antrosios (kareivių) grupės jėga prie maksimalaus greičio (A0) metu pakito 82% nuo A0 reikšmės. ($p<0,05$). (12 pav.)

Analizuodami pirmos (LKA studentų) grupės, blauzdos tiesėjų raumenų, pradinės ir slenkančiomis reikšmėmis, savitarpio ryšį, matome jog krūvio pradžioje ryšys greitai silpnėja ir išnyksta bei pereina I stiprų atvirkštinį koreliacinį ryšį, bet nuo 25 judesio judesys vėl pradeda nykti ir krūvio pabaigoje vėl atsiranda silpnas koreliacinis ryšys. (13 pav.)

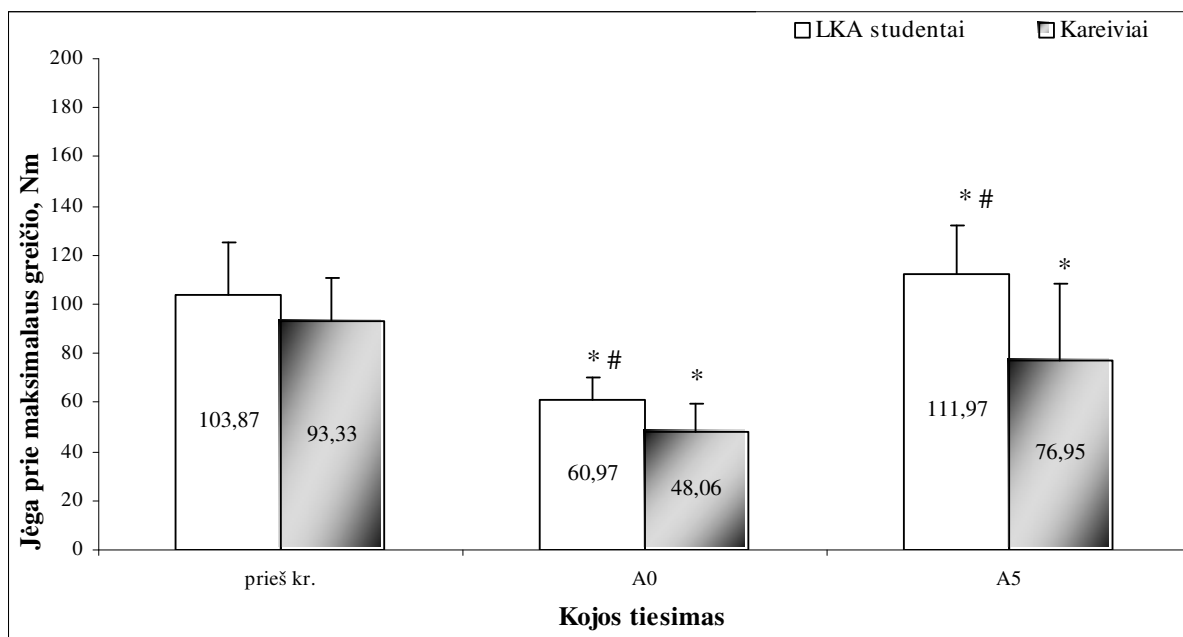
Antros (kareivių) grupės blauzdą tiesiančių raumenų susitraukimo maksimalios jėgos pradinės ir slenkančių reikšmių, koreliacinis ryšys krūvio pradžioje silpnėja, bet nuo 10 judesio stiprėja ir silpnas koreliacinis ryšys išlieka viso krūvio metu tik krūvio pabaigoje ryšys pradeda vėl nykti. (13 pav.)



13 pav. Pirmos (LKA studentų) ir antros (kareivių) grupės blauzdos tiesėjų raumenų maksimalios susitraukimo jėgos nuovargio ir atsigavimo (A5), koreliacinis ryšys (nuo pradinės reikšmės (prieš krūvį).

Lyginant pirmos (LKA studentų) ir antros (kareivių) grupės keturgalvio raumens susitraukimo jėgos prie maksimalau greičio, koreliacijos kreives, matome kad abiejose grupėse judesių rezultatai labai išsibarstę, tačiau didesnis ryšys, krūvio metu atliekant 100 tiesimų ir lenkimo, matomas pas antros (kareivių) grupės tiriamuosius. (13 pav.)

Analizuojant pirmos (LKA studentų) grupės tyrimo duomenis, matome jog blauzdą tiesiančių raumenų jėgos prie maksimalaus greičio po 5 minučių atsigavimo (A5) yra didesni už kontrolinę reikšmę (prieš krūvį) (14 pav.). Jėga prie maksimalaus greičio visiškai atsigavo ($p>0,05$).

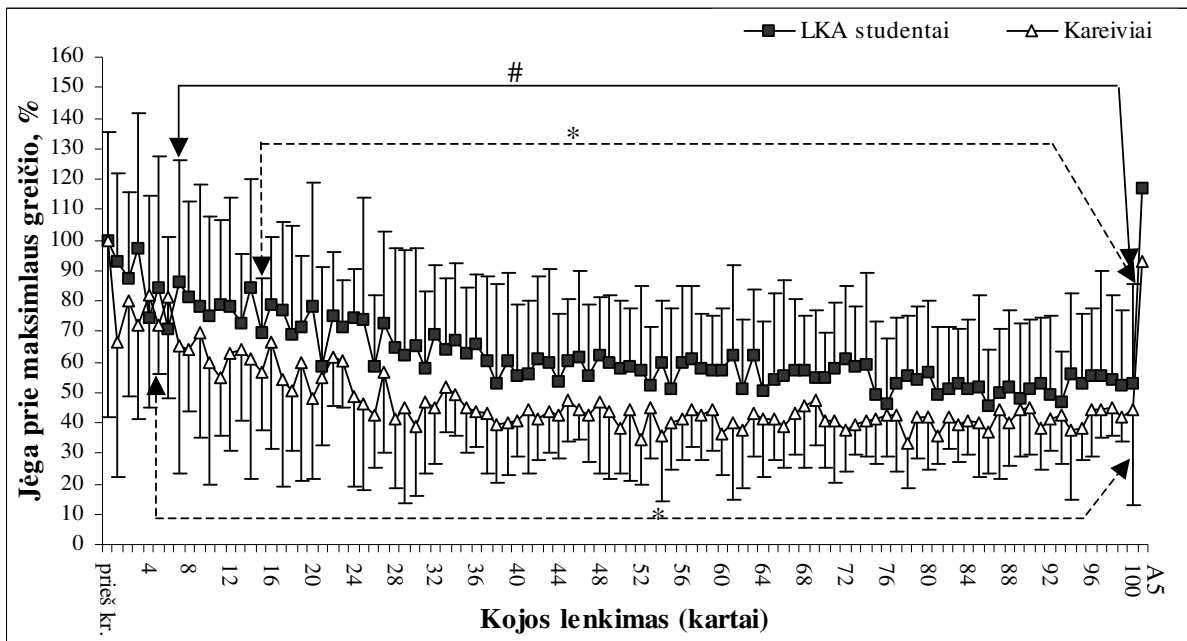


14 pav. Dviejų tiriamųjų grupių: 1) LKA studentų, 2) kareivių, blauzdą tiesiančių raumenų nuovargio (A0) ir atsigavimo (A5) nuo kontrolinės (prieš krūvį) reikšmės jėgos prie maksimalus greičio rodikliai (Nm). # - rodikliai tarp grupių yra skiriasi patikimai; * - nuo kontrolinės (prieš krūvį) reikšmės, rodikliai skiriasi patikimai.

Antrosios (kareivių) grupės – jėgos prie maksimalaus greičio rodikliai po 5 min. atsigavimo(A5) yra mažesni už pradinę reikšmę. Jėga prie maksimalaus greičio neatsistatė. ($p<0,05$). (14 pav.)

Lygindami pirmos (LKA studentų) ir antros (kareivių) grupės blauzdą tiesiančių raumenų jėgos prie maksimalaus greičio tarpusavio skirtumus, matome jog pradinė reikšmė (prieš krūvį) didesnė pas pirmos (LKA studentų) grupės tiriamuosius (103,87 Nm) už antrosios (kareivių) grupės rezultatą (93,33 Nm). ($p>0,05$). Absoliučios reikšmės (A0) skirtumas, kad ir čia pirmos (LKA studentų) grupės rodiklis (60,97 Nm) yra didesnis už antros (kareivių) grupės (A0) metu išvystyta jėga prie maksimalaus greičio (48,06 Nm), ($p<0,05$). Atsigavimo 5 minute (A5) matavimai parodė, kad ir po krūvio didesnis jėgos prie maksimalau greičio rezultatas (111,97 Nm) yra pirmoje (LKA studentų) grupėje. Antros (kareivių) grupės rezultatas (A5) metu (76,95 Nm), ($p<0,05$). (14 pav.)

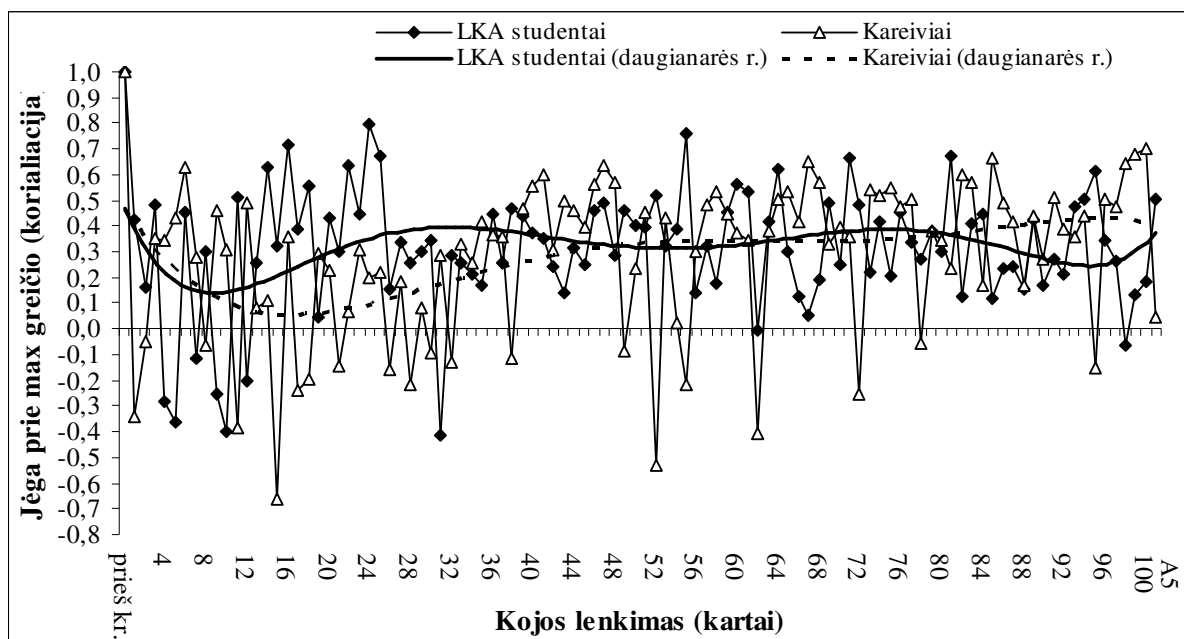
Analizuodami pirmos (LKA studentų) tyrimo duomenis, matome, kad blauzdos lenkėjų raumenų susitraukimo jėga prie maksimalaus greičio didėja nuo 2 iki 4 judesio ir 4 judesį siekia 97% ($p > 0,05$). Nuo 40 iki 100 jėga prie maksimalaus greičio stabilizavosi ir kito nežymiai ($p < 0,05$). Antros (kareivių) grupės blauzdos lenkėjų raumenų susitraukimo jėga prie maksimalaus greičio nuo pat pirmo judesio mažėja iki 39 judesio. Nuo 39 iki 100 judesio jėga prie maksimalaus greičio pakito nežymiai ir stabilizavosi. ($p < 0,05$). (15 pav.)



15 pav. Dviejų tiriamųjų grupių: 1) LKA studentų, 2) kareivių, blauzdos lenkėjų raumens jėgos prie maksimalaus greičio dinamika, 100 kartų atliekant tiesimo ir lenkimo judesį krūvio metu. * - rodikliai nuo pirmo judesio skiriasi statistiškai patikimai; # - rodikliai tarp grupių skiriasi patikimai.

Lyginant pirmos (LKA studentų) ir antros (kareivių) blauzdą lenkiančių raumenų susitraukimo jėgą prie maksimalaus greičio, matome kad šis rodiklis pas pirmos (LKA studentų) grupės tiriamuosius yra didesnis. Karininkų grupės blauzda lenkiančių raumenų jėga prie maksimalaus greičio po 5 minučių atsigavimo (A5) pakito 116% nuo absoliučios reikšmės, o kareivių grupės rezultatas A5 metu – pakito 92% nuo A0. ($p < 0,05$). (15 pav.)

Vertinant pirmos (LKA studentų) ir grupės, blauzdos lenkėjų raumenų jėgos prie maksimalaus greičio, pradinės (prieš krūvį) ir slenkančių reikšmių (100 lenkimo), savitarpio ryši, matome kad krūvio pradžioje ryšys silpsta ir išnyksta, bei pereina į silpną atvirkštinį koreliacinį ryšį. Darbo vidurį jis stiprėja ir atsiranda silpnas koreliacinis ryšys, kuris išlieka viso krūvio metu, bet tarpais ryšys dingsta. (16pav.)



16 pav. Pirmos (LKA studentų) ir antros (kareivių) grupės blauzdos lenkėjų raumenų maksimalios susitraukimo jėgos nuovargio ir atsigavimo (A5), koreliacinis ryšys (nuo pradinės reikšmės (prieš krūvį)).

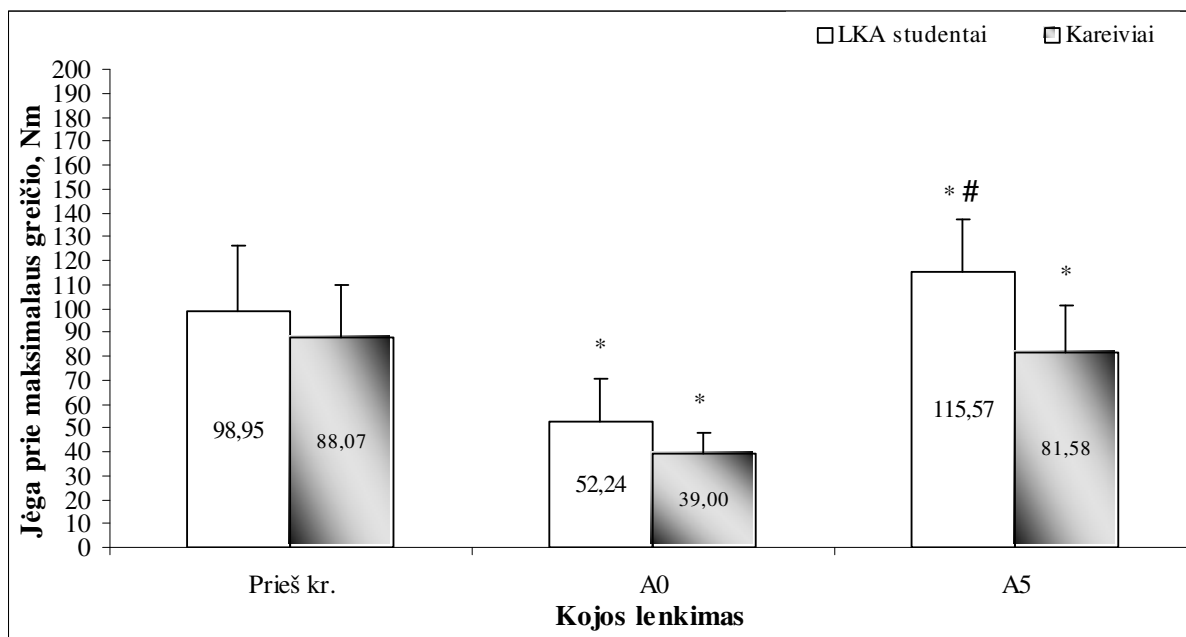
Antros (kareivių) grupės blauzdą lenkiančių raumenų susitraukimo maksimalios jėgos pradinės ir slenkančių reikšmių, koreliacinis ryšys dingsta jau krūvio pradžioje ir vėliau net stebimas silpnas atvirkštinis koreliacinis ryšys, o atlikus ketvirtadalį krūvio ryšys stiprėja ir stebimas silpnas koreliacinis ryšys viso tolesnio krūvio metu, tačiau tarpais ryšys dingsta ir net stebimas silpnas atvirkštinis koreliacinis ryšys. (16 pav.)

Lyginant pirmos (LKA studentų) ir antros (kareivių) grupės blauzdos lenkėjų raumenų jėgos prie maksimalaus greičio koreliacijos kreives, matomas platus judesių išsibarstymas lyginant su pirmu (prieš krūvį). Galima teikti kad šiuo atveju abiejų grupių koreliaciniai ryšiai yra vienodai silpni. (16 pav.)

Analizuojant pirmos (LKA studentų) grupės tyrimo duomenis, matome jog blauzdą lenkiančių raumenų jėgos prie maksimalaus greičio po 5 min. atsigavimo (A5) yra didesnė už kontrolinę reikšmę (prieš krūvį) (16 pav.). Jėga prie maksimalaus greičio atsistatė ($p > 0,05$).

Antrosios (kareivių) grupės – jėga prie maksimalaus greičio po 5 minučių atsigavimo (A5) yra mažesnė už kontrolinę reikšmę. Jėga prie maksimalaus greičio neatsigavo, vyrauja nuovargio mechanizmai. ($p < 0,05$). (17 pav.)

Lygindami pirmos (LKA studentų) ir antros (kareivių) grupės blauzdą lenkiančių raumenų jėgos prie maksimalaus greičio tarpusavio skirtumus, matome jog pradinė reikšmė (prieš krūvį) didesnė pas pirmos (LKA studentų) grupės tiriamuosius (98,95 Nm) už antrosios (kareivių) grupės rezultatą (88,07 Nm). ($p > 0,05$). Absoliučios reikšmės (A0) rodikliai rodo, kad pirmos (LKA studentų) grupės rodiklis (52,24 Nm) yra didesnis už antros (kareivių) grupės (A0) metu išvystytą jėgą prie maksimalaus greičio (39,00 Nm), ($p > 0,05$). Atsigavimo 5 minute (A5) matavimai parodė, kad po krūvio didesnis jėgos prie maksimalaus greičio rezultatas (115,57 Nm) yra pirmoje (LKA studentų) grupėje, o antros (kareivių) grupės rezultatas (A5) metu siekia tik (81,58 Nm), ($p < 0,05$). (17 pav.)



17 pav. Dviejų tiriamųjų grupių: 1) LKA studentų, 2) kareivių, blauzdą lenkiančių raumenų nuovargio (A0) ir atsigavimo (A5) nuo kontrolinės (prieš krūvį) reikšmės jėgos prie maksimalaus greičio rodikliai (Nm). # - rodikliai tarp grupių yra skiriasi patikimai; * - nuo kontrolinės (prieš krūvį) reikšmės, rodikliai skiriasi patikimai.

4. REZULTATŲ APITARIMAS.

Izokinetinė dinamometrija buvo naudojama įvertinti Lietuvos Karo Akademijos pirmo kurso studentų (LKA studentų), ir Didžiojo Lietuvos Etmono Jonušo Radvilos mokomojo pulko karių (kareivių) raumenų darbą, nuovargį ir atsigavimą. Kontroliniams (prieš krūvį) ir po 5 minučių atsigavimo (A5) rodikliams nustatyti buvo pasirinktas vienas fiksuotas kampinis greitis $180^\circ/s$. Krūvis – 100 tiesimų ir lenkimų buvo atliekamas taip pat prie $180^\circ/s$ fiksuoto kampinio greičio. Vienodas greitis buvo pasirinktas norint įvertinti raumenų adaptacinius mechanizmus prie vienodo raumenų susitraukimo greičio.

Nustačius blauzdos tiesėjų ir lenkėjų raumenų kitimo dinamiką, tyrimo rezultatai parodė, kad pirmos (LKA studentų) grupės maksimali jėga krūvio pradžioje atlikus kelis judesius, tiesime nuo 3, rodikliai mažėja. Nuo 58 judesio tiesime kito nežymiai ($p < 0,05$), o lenkime nuo pat 1 judesio (LKA studentų) maksimali jėga pradėjo stabilizuotis jau nuo 38 judesio ($p < 0,05$). Manome, kad raumenų nuovargis priklauso nuo autoaktyvuojamų mechanizmų funkcijos. Jų paskirtis efektyvinti, ekonomizuoti raumenų veiklą ir ją apsaugoti.

Iš tyrimo rezultatų matyti jog blauzdos lenkėjų raumenys, išvystė mažesnę jėgą, vargsta lėčiau nei blauzdos tiesėjų raumenys. Manoma kad raumenys, kuriuose vyrauja 1 tipo (lėtosios) skaidulos, yra labiau atsparios nuovargiui palyginus su raumenimis, kuriuose vyrauja 2 tipo (greitosios) raumeninės skaidulos (Fitts R.H., 1994).

Antros (kareivių) grupės maksimalios jėgos blauzdos tiesėjų ir lenkėjų raumenų rodikliai, 100 judesių krūvio metu parodė panašią nuovargio dinamiką, kaip ir pirmos (LKA studentų) grupės. Blauzdos tiesėjų raumenų maksimali jėga ženkliai sumažėjo nuo 3 iki 61 judesio, nuo 61 iki 100 maksimali jėga kito nežymiai. ($p < 0,05$). Blauzdos lenkėjų raumenų maksimali susitraukimo jėga mažėjo nuo pat pirmo judesio iki 38 judesio ženkliai mažėjo, o nuo 38 iki 100 kito nežymiai. ($p < 0,05$). Tokie rezultatai, leidžia mums spręsti, kad blauzdos lenkėjų raumenys vargsta mažiau negu blauzdos tiesėjų raumenys. Lyginant pirmos (LKA studentų) ir antros (kareivių) grupės maksimalios jėgos krūvio dinamiką, matome jog LKA studentų ir kareivių, blauzdos tiesėjų ir lenkėjų raumenys vargsta panašiomis kreivėmis tik iš absoliučių reikšmių matome, kad pirmos (LKA studentų) grupės blauzdos tiesėjai raumenys, išvystė didesnę jėgą, vargsta labiau už kareivių.

Koreliacinės kreivės parodė mums, kad pirmosios (LKA studentų) grupės slenkančios reikšmės su pradinė reikšme (prieš krūvį) ryšys yra stipresnis už antros (kareivių) tiriamųjų grupės koreliacinį ryšį. Tai parodo mažesnę pirmos grupės judesių kaitą nuo kontrolinės reikšmės.

Pirmos (LKA studentų) grupės maksimalios raumenų jėgos rodikliai, statistiškai patikimi ($p < 0,05$), po krūvio parėjus 5 minutėms atsigavimo (A5) nuo pradinių reikšmių (prieš krūvį),

blauzdos tiesėjų maksimali jėga sumažėjo nuo 155,52 Nm iki 136,97 Nm. Antros (kareivių) grupės blauzdos tiesėjų raumenų maksimali jėga, taip pat statistiškai patikimi ($p < 0,05$), sumažėjo: prieš krūvį – 120,92 Nm, o (A5) metu – 108,66 Nm. Blauzdos lenkėjų raumenų maksimalios jėgos, praėjus 5 min. (A5) atsigavimo nuo kontrolinių reikšmių (prieš krūvį), statistiškai patikimų ($p < 0,05$), analizė parodė, kad abiejų tiriamųjų grupių maksimali jėga (A5) metu buvo beveik tokia pati kaip ir prieš krūvį: pirmos (LKA studentų) grupės prieš krūvį – 125,09 Nm, o (A5) metu – 124,20 Nm. Antros (kareivių) grupės prieš krūvį – 101,20 Nm, (A5) metu – 94,92 Nm.

Iš šių tyrimo duomenų galime teigti, kad metabolinis nuovargis izokinetinio krūvio metu, abiejose grupėse pastebimas blauzdos tiesėjų raumenyse metabolinio nuovargio metu, labiausiai mažėja ATF hidrolizės bei resintezės greitis, energetinių medžiagų raumenyse kiekis, ypač kreatinfosfato ir glikogeno, mažėja miofibrilių jautrumas Ca^{2+} jonams. Susikaupę metabolitai blokuoja miozino skersinių tiltelių ciklišką darbą, todėl mažėja raumens susitraukimo jėga, galingumas ir jo atsipalaidavimo greitis, o lenkėjai yra labiau adaptuoti prie tokio tipo nuovargio. Žinant, kad abiejų tiriamųjų grupių blauzdos tiesėjai sugebėjo išvystyti didesnę raumenų susitraukimo maksimalią jėgą prieš krūvį, krūvio metu (A0) ir po 5 minučių atsigavimo (A5), didesnis ir didesnė maksimalia jėga pasižymintis raumuo, šiuo atveju keturgalvis vargsta greičiau ir nuovargio procesai išlieka ilgiau. Po maksimalaus intensyvumo krūvio raumenyse ženkliai padidėja vandenilių jonų koncentracija. Manoma, kad raumeninės skaidulos mitoplazmoje padaugėja Ca^{2+} , kurie vėliau veikia nuovargio atsiradimą (Westerblad H, 1998). Nustatyta, kad, praėjus 2-3 min. po tokio krūvio, KF koncentracija visiškai normalizuojasi, o vandenilio jonų koncentracija po 10-15 min. Raumens potenciacija po maksimalaus intensyvumo krūvio išlieka apie 5-10 min. (Skurvydas A, 1998).

Analizuodami jėgos prie maksimalaus greičio dinamiką atliekant 100 lenkimo ir tiesimo judesių, matome jog pirmos (LKA studentų) grupės blauzdos tiesėjų raumens jėga prie maksimalaus greičio didėja iki 8 judesio, o stabilizuojasi nuo 55 iki 100 judesio ($p < 0,05$). Blauzdos lenkėjų raumenų jėga prie maksimalaus greičio ženkliai mažėja nuo 4 iki 40 judesio po to stabilizuojasi iki krūvio pabaigos. Tai parodo, jog jėga prie maksimalaus greičio, tiesiant blauzdą, vargsta kartu su blauzda lenkiančiais raumenimis.

Antrosios (kareivių) grupės jėgos prie maksimalaus greičio dinamika rodo, kad raumenų adaptacija prie 100 lenkimo ir tiesimo judesių prasideda nuo 35 judesio tiesime, o lenkime nuo 40 judesio. Nuo 40 iki 100 judesio ($p < 0,05$) matoma šios jėgos rodiklio stabilizacija. Blauzdą lenkiančių raumenų jėgos prie maksimalaus greičio mažėja nuo pat pirmo judesio iki 39, o po to iki 100 judesio stabilizuojasi ($p < 0,05$). Iš rezultatų sprendžiame, kad jėgos prie maksimalaus greičio nuovargio procesai kinta vienodai ir blauzdos tiesime ir lenkime.

Koreliacines kreives tiesime ir lenkime matome didelį slenkančių reikšmių nuo kontrolinės reikšmės išsibarsimą, galima teigti, kad jėgos prie maksimalaus greičio koreliacinis ryšys abiejų grupių vienodai silpnas ir kartais ryšys nutrūksta. Tai parodo silpna reikšmių priklausomybę nuo kontrolinio rezultato.

Vertindami jėgos prie maksimalus greičio nuovargį ir atsigavimą, matome jog pirmos (karininkų) grupės blauzdos tiesėjų rodikliai, statistiškai patikimi ($p < 0,05$), po 5 min. atsigavimo buvo 111,97 Nm, o kontrolinė reikšmės siekė tik 103,87 Nm . Šitas padidėjimas yra iššauktas raumens darbo adaptacijos prie 180°/s kampinio greičio. Antros grupės blauzdos tiesėjų raumenų jėgos prie maksimalaus greičio rezultatai neparodė, tokios pat raumenų prisitaikymo prie vienodo kampinio greičio, savybės, nes rodikliai prieš krūvį - 93,33 Nm yra didesni nei po 5 min. atsigavimo po krūvio – 76,95 Nm. Jėgos prie maksimalaus greičio skirtumas stebimas ir blauzdos lenkimą atliekančių raumenų susitraukimo metu. Pirmos (LKA studentų) grupės prieš krūvį pasiektas jėgos prie maksimalaus greičio rodiklis – 98,95 Nm yra mažesnis po 5 min. atsigavimo – 115,57 Nm. ($p < 0,05$). Antros (kareivių) tiriamųjų grupės analogiškai kaip ir tiesime prieš krūvį – 88,07 Nm pasiektas rezultatas yra didesnis nei po 5 min. atsigavimo – 81,58 Nm ($p < 0,05$). Manome, kad pirmos grupės (LKA studentų) blauzdos tiesėjų raumenų galingumas yra didesnis nei antros (kareivių) grupės. Nes jų jėga prie maksimalaus raumens susitraukimo greičio yra didesnė. Geresnė pirmos (LKA studentų) grupės ir blauzdos lenkėjų ir tiesėjų adaptaciją prie pastovaus kampinio greičio, parodo mums, kad pirmos grupės atstovai tyrimo metu buvo labiau išvystę blauzdos tiesėjų raumenų jėgos ir greičio savybės.

Darbo pradžioje iškelta hipotezė nepasitvirtino, kad pašaukti į Didžiojo Lietuvos Etmono Jonušo Radvilos mokojo pulką karių jėgos rodikliai yra didesni už Lietuvos Karo Akademijos pirmo kurso studentų. Bet nereikėtų pamiršti, kad LKA pirmo kurso studentai stojant į Lietuvos Karo Akademiją, turėjo įvykdyti fizinio pasiruošimo testus. Norėdami gauti aukštus įvertinimus, jau dabartiniai LKA studentai privalėjo nemažai laiko skirti greičio ir jėgos savybėms ugdyti.

IŠVADOS.

1. Lietuvos Karo Akademijos pirmo kurso studentų blauzdos tiesėjų ir lenkėjų raumenys yra stipresni už Didžiojo Lietuvos Etmono Radvilos mokomojo pulko karių.
2. Pirmos (LKA studentų) ir antros (kareivių) grupės blauzdos lenkėjai izokinetinio krūvio metu vargsta mažiau už tiesėjus. Nuovargio dinamika abiejų grupių tiesime ir lenkime kinta taip pat. Pirmos ir antros grupės blauzdos tiesėjų raumenų maksimali jėga po 5 min. poilsio (A5) neatsigavo ($p < 0.05$) nuo pradinės (prieš krūvį) reikšmės, o blauzdos lenkėjų raumenų maksimali jėga atsigavo pilnai, lyginant su pradine reikšme.
3. Blauzdos tiesėjų raumenų jėgos prie maksimalaus greičio nuovargio dinamika pasižymi dideliu panašumu, kaip ir blauzdą lenkiančių raumenų. Pirmos grupės blauzdos tiesėjų ir lenkėjų raumenų jėga prie maksimalaus greičio, po 5 min. poilsio - atsistatė ($p < 0,05$). Antrosios grupės blauzdos tiesėjų ši jėga neatsigavo, o lenkime stebimas jėgos prie maksimalaus greičio atsistatymas.

5. LITERATŪRA.

1. Aagaard, P., Simonsen, E.B., Trolle, M., Bangsbo, J., & Klausen, K. (1995). Isokinetic hamstring/quadriceps strength ratio: influence from joint angular velocity, gravity correction and contraction mode *Acta Physiol Scand* 154, 421–427
2. Binder-MacLeod, S.A. (1991). Use of catchlike property of human skeletal muscle to reduce fatigue // *Muscle Nerve*.- Vol.14.P.850-857.
3. Brenner, B., (1988). Effect of Ca²⁺ on cross-bridge turnover kinetics in skinned single fibers: Implication of muscle contraction II *Proc. Nat. Acad USA*.— Vol.85.- P.3542-3546.
4. Burdett, R., Van Swearingen J. (1987). Reliability of isokinetic muscle endurance tests. *JOSPT*, 8 (10), 484-488.
5. Burke, R.E., Levine, D.N., Tsairis, P., Zajac, F.E. (1973). Physiological types and histochemical profiles in motor units of the cat gastrocnemius // *J.Physiology (London)*. – Vol.234.- P.723-748.
6. Cecchi, G., Lombardi, V., Menchette, G. (1984). Development of force-velocity relation and rise of isometric tetanic tension Measures the time course of different processes // *Pflugers-Arch*- Vol.401.-P.396-401.
7. Costill, D.L., Coyle, E.F., Fink, W.F. (1979). Adaptations in skeletal muscle following strength training// *J. Appl. Physiol*.- Vol.46.-P.96.
8. Deetjen, P., Speckmann, E.-J. (1994). (Hrsg.). *Physiologie: Urban und Schwarzenberg*.- München.
9. Enoka, R.M. (1994). *Neuromechanical basis of kinesiology*.- Champaign, IL: Human Kinetics.
10. Fitts, R.H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiol Rev*, 74 (J), 49-94.
11. Fitts, R.H., McDonald, K.S., & Schluter, J.M. (1991). The determinants of skeletal muscle force and power: their adaptability with changes in activity pattern. *J Biomechanics*, 24 (Suppl. 1), 111-122.
12. Frisiello, S., A. Gazaille, J. O'Halloran, M.L. Palmer and D. Waugh. (1994). Test - retest reliability of eccentric peak torque values for shoulder medial and lateral rotation using the Biodex isokinetic dynamometer.// *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 19(6):341-344.

13. Grange, R.W., Houston, M.E. (1991). Simultaneous potentiation and fatigue in quadriceps after 60-second maximal voluntary isometric contraction // *J. of April. Physiol.* Vol.70.- P.229-242.
14. Gross, M.T., J.K. Credle, L.A. Hopkins and R.M. Kollins. (1990). Validity of knee flexion and extension peak torque prediction models.// *Physical Therapy.* 70(1):3-10.
15. Gross, M.T., G.M. Huffman, C.N. Phillips and J.A. Wray. (1991). Intramachine and intermachine reliability of the Biodex and Cybex II for knee flexion and extension peak torque and angular work.// *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy.* 13(6):329-334.
16. Gross, M.T. and J.C. Brugnotti. (1992). Relationship between multiple predictor variables and normal Biodex eversion-inversion peak torque and angular work.// *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy.* 15(1):24-31.
17. Haiech, I., Derancourt, I., Pechre, I.F., Demaille, I.G. (1979). Magnesium and calcium binding to parvalbumins: evidence for differences between parvalbumins and an explanation of their relaxing function // *Biochemistry.* Vol.18-P.2752 –2758.
18. Keating, J., and Matyas, T., (1996): The Influence of Subject and Test Design on Dynamometric Measurements of Extremity Muscles. *Physical Therapy* 76 (8): 866-889
19. Kėvelaitis, E., Illert M. Hultborn H. (1999). *Žmogaus fiziologija.* KMU. Kaunas
20. Komi, P. V., *Strength and power in sport.* -Oxford, 1992.-P. 404.
21. Mayer, F., Horstmann, T., Kranenberg, U., Rucker K., Dickhuth H. (1994). Reproducibility of isokinetic peak torque angle at peak torque in the shoulder joint. *Int. J. Sports Med.* 15, S26-S31.
22. Mayer, F., Horstmann, T., Kranenberg, U., Rucker K., Dickhuth H. (1994). Reproducibility of isokinetic peak torque angle at peak torque in the shoulder joint. *Int. J. Sports Med.* 15, S26-S31.
23. Metzger, J.M., Moss, R.L. (1987). Greater hydrogen ion-induced depression of tension and velocity in skinned single fibers of rat fast than slow muscles // *J. Physiol. (London).*- Vol.393.-P.727-742.
24. Montgomery, L., Douglass, L., Deuster, P., (1989): Reliability of an Isokinetic Test of Muscle Strength and Endurance. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 10: 315-322
25. Mont, M., Cohen, D., Campbell, K. et al. (1994). Isokinetic concentric versus eccentric training of shoulder rotators with functional evaluation of performance enhancement in elite tennis players. *American Journal of Sports Medicine.* 22 (4), 513-517.

26. Morgan, D.L. (1990). New insights into behaviour of muscle during lengthening. *Biophys. J.*, 57: 209-221.
27. Perrin, D.H., R.J. Robertson and R.L. Ray. (1987). Bilateral isokinetic peak torque, torque acceleration energy, power, and work relationships in athletes and nonathletes. // *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 9(5):184-189.
28. Pollack, G.H. (1990). *Muscles and molecules: uncovering the principles of biological motion*. Seattle: Ebner and Sons.
29. Ratkevičius, A., Skurvydas, A., & Lexeu, J. (1995). Submaximal-exercise-induced impairment of human muscle to develop and maintain force at low frequencies of electrical stimulation. *Eur J Appl Physiol*, 70 (4), 294-300.
30. Sapięga, A., (1990): Muscle Performance in Orthopaedic Practice. *Journal of Bone and Joint Surgery* 72-A (10): 1562-1574
31. Schmitz, R.J., Westwood, K.C (2001). Knee extensor Electromyographic activity-to-work ratio is greater with isotonic than isokinetic contractions *J Athl Train*. 36 (4): 384-387
32. Skurvydas, A. (1998). *Judesių valdymo ir sporto fiziologijos konspektai*. LKKA. Kaunas.
33. Skurvydas, A. (1991). *Organizmo adaptacijos prie fizinių krūvių pagrindiniai dėsniniai*. II dalis.
34. Stasiulis, A. (1996). *Sporto fiziologijos laboratoriniai darbai*. Metodinė mokymo priemonė.
35. Wang, K., McClure, J., Tu A.: (1979). Titin: Major myofibrillar components of striated muscle // *Proc. Nat. Acad. of Sci. USA.*- Vol.76(8).- P.3698-3702.
36. Watennan-Storer, C.M. (1991). The cytoskeleton of skeletal muscle: is it affected by exercise? *Abstract review* // *J. Sci. Sp. Ex.*- Vol.23.- P1240-1249.
37. Westerblad, H., Duty, S., & Allen, D.G. (1993). Intracellular calcium concentration during low-frequency fatigue in isolated single fibers of mouse skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 75 (1), 382-388.
38. Wilke, K.E., R.D. Johnson, and Levine, B. (1987). A comparison of peak torque values of knee extension and flexor muscle groups using Biodex, Cybex and Kin-Com isokinetic dynamometers. // *Physical Therapy*. 67(6):789-790.
39. Бабский, Е.Б., Зубков А.А., Косицкий Г.И., Ходоров Б.И. (1972). *Физиология человека*. Москва.