

LIETUVOS KŪNO KULTŪROS AKADEMIJA

SPORTO BIOMEDICINOS FAKULTETAS

Kineziterapijos ir sporto medicinos katedra

MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

**FIZIOTERAPINIŲ PRIEMONIŲ POVEIKIS RAUMENS
FUNKCIJAI**

Vadovas

Prof. habil.dr. A.Skurvydas

Atliko

I. Domarkaitė

KAUNAS 2005

TURINYS

SANTRUMPOS	3
IVADAS	4
1. LITERATŪROS APŽVALGA	6
1.1. RAUMENS SUSITRAUKIMO IR ATSIPALAIIDAVIMO MECHANIZMAI	6
1.2. RAUMENS AKTYVIOSIOS MECHANINĖS SAVYBĖS	8
1.2.1. Priklausomybė „ <i>raumens susitraukimo greitis – jėga</i> “	8
1.2.2. Priklausomybė „ <i>raumens susitraukimo jėga – laikas</i> “	8
1.3. RAUMENS PASYVIOSIOS MECHANINĖS SAVYBĖS	9
1.3.1. Priklausomybė „ <i>raumens jėga – ilgis</i> “	9
1.4. BIOMECHANINIAI IR FIZIOLOGINIAI VEIKSNIAI, LEMIANTYS ŠOKLUMĄ	10
1.4.1. Šoklumą lemiantys faktoriai	10
1.4.2. Šoklumo fiziologiniai pagrindai	12
1.5. TEMPERATŪROS POVEIKIS RAUMENS FUNKCIJAI	14
1.6. TEMPERATŪROS FIZIOTERAPINIS POVEIKIS	18
1.6.1. Krioterapija	18
1.6.2. Šilumos terapija	20
2. TYRIMO TIKSLAS, UŽDAVINIAI, METODAI IR ORGANIZAVIMAS	23
2.1. TYRIMO HIPOTEZĖ, TIKSLAS IR UŽDAVINIAI	23
2.2. TYRIMO METODO ORGANIZAVIMAS, TIRIAMŲJŲ KONTINGENTO APRAŠYMAS	23
3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ	26
3.1. TYRIMO TAIKANT PASYVŲ ŠILDYMĄ REZULTATAI	26
3.1.1. Šuolio atsispyrimo jėga	26
3.1.2. Šuolio atsispyrimo greitis	27
3.1.3. Šuolio atsispyrimo galimumas	28
3.1.4. Šuolio aukštis	29
3.1.5. Lėtosios ir greitosios raumeninės skaidulos	30
3.1.6. Šuolio elastingė energija	31
3.2. TYRIMO TAIKANT PASYVŲ ŠALDYMĄ REZULTATAI	32
3.2.1. Šuolio atsispyrimo jėga	32
3.2.2. Šuolio atsispyrimo greitis	33
3.2.3. Šuolio atsispyrimo galimumas	34
3.2.4. Šuolio aukštis	35
3.2.5. Lėtosios ir greitosios raumeninės skaidulos	35
3.2.6. Šuolio elastingė energija	36
4. TYRIMO REZULTATŲ APTARIMAS	37
5. APIBENDRINIMAS	41
IŠVADOS	43
LITERATŪRA	44

SANTRUMPOS

ADP	adenozindifosfatas
ATP	adenozintrifosfatas
Ca	kalcis
CICR	kalcio jonų išmetimas ir grįžimas į sarkoplazminį tinklą
CNS	centrinė nervų sistema
GGV	greitosios raumeninės skaidulos
hp	šuoliukas su amortizuojančiu pritūpimu
hp135	šuoliukas su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 135 ⁰ kampo
hp90	šuoliukas su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 90 ⁰ kampo
hst	šuoliukas be amortizuojančio pritūpimo
hst135	šuoliukas be amortizuojančio pritūpimo, pritūpiant iki 135 ⁰ kampo
hst90	šuoliukas be amortizuojančio pritūpimo, pritūpiant iki 90 ⁰ kampo
LLV	lėtosios raumeninės skaidulos
M1	šolio pritūpiant iki 135 ⁰ kampo raumeninių skaidulų absoliutus elastingumas
M2	šolio pritūpiant iki 90 ⁰ kampo raumeninių skaidulų absoliutus elastingumas
M3	šolio pritūpiant iki 90 ⁰ kampo raumeninių skaidulų santykinis elastingumas
M4	šolio pritūpiant iki 135 ⁰ kampo raumeninių skaidulų santykinis elastingumas
RS	raumeninės skaidulos
TnC	troponinas C
V _{maks.}	maksimalus greitis

IVADAS

Šiluma ir šaltis – fizioterapijos veiksniai. Tiek šaltis, tiek šiluma yra paprastos, mobilios ir nebrangios skausmą ir raumenų spazmą, atsiradusius po traumos, ar chronišką skausmą mažinančios priemonės, kurias paprasta naudoti ir namų sąlygomis. Nors tai bene patys paprasčiausi ir labiausiai paplitę metodai, tačiau jų fiziologiniai poveikio mechanizmai nėra pilnai išaiškinti (Craig, 2000). Dažnai šiluma ir šaltis būna taikomi kartu su gydomaisiais ar tempimo pratimais, tačiau šalčio poveikis aktyviems pratimams prieštaringas, kai kurie mokslininkai teigia, kad jis neturi didelio poveikio pažeistų raumenų funkcinėms savybėms (Paddon-Jones, Quigley, 1997; Taylor, Waring, Brashear, 1995).

Dėl sunkaus fizinio darbo metu atsirandančio metabolinio ir mechaninio poveikio atsiranda įvairių funkcinų ir struktūrinių raumens sutrikimų: suyra miofibrilės, raumeninės skaidulos sarkolema, sarkoplazminis tinklas, sumažėja raumens susitraukimo galingumas, atsiranda raumens skausmas. Šalčio terapija dažnai taikoma sportinėms traumoms, minkštųjų audinių pažeidimams gydyti, nors jos įtaka raumens darbui nėra aiški (Eston, Peters, 1999).

Fizioterapijos tikslas yra šalinant skeleto ir raumenų sistemos sutrikimus numalšinti skausmą ir atpalaiduoti raumenų spazmus, padidinti sąnarių paslankumą ir raumenų jėgą, pagerinti paciento funkcinį pajėgumą. Vandens šiluma leidžia pacientui atsipalaiduoti, sumažina skausmą. Tada pacientas gali judėti su didesniu komfortu, didėja pratimų amplitudė. Kai šiluma pasiekia raumenis ir jų temperatūra pakyla, jie susitraukia kur kas lengviau ir stipriau (Duffield, 1976).

Tiriant terapinio šildymo įtaką kelio sausgyslių lankstumui, nustatyta, kad šis padidėjo. Šie atradimai gali turėti naudos fizioterapiniam gydymui, taip pat traumų profilaktikai atletams su neadekvačiu lankstumu ar praeityje turėjusių traumą. (Funk, Swank, Adams, Treolo, 2001).

Pramankšta turi pastebimą efektą temperatūros padidėjimui, o kartu ir fiziologiniams procesams raumenyje. Fiziologiškai pramankšta yra naudinga raumenų žalos profilaktikoje, didinant raumens-sausgyslės elastingumą bei ilgį. Pakilusi kūno vidaus temperatūra greitina deguonies atsiskyrimą nuo hemoglobino ir mioglobino, metaboline reakcijas, kraujo tekėjimo srovę raumenyse, mažina raumenų klampą, didina veikimo potencialo sklaidimo greitį, deguonies suvartojimą (Blomstrand et al., 1984; Shellock, Pretince, 1985; Febbraio et al., 1994 a; Koga et al., 1997; Booth et al., 2001).

Skurvydas, Kandratavičius ir Bružas (1999) teigia, kad norint efektyviau atlikti judesius ir apsaugoti motorinę sistemą nuo traumų, būtina padidinti raumens temperatūrą. Tačiau norint padidinti raumens temperatūrą 2,7° C atliekant fizinius pratimus, sukeliamas raumens nuovargis, todėl būtina ieškoti profilaktinių raumens šildymo būdų.

Norint išgauti temperatūros padidėjimo naudą, reikia pakelti raumens temperatūrą 3 – 4° C (Sargeant, 1987). Klasikiniu apšilimu tam reiktų bėgti 30 – 40 minučių maksimaliu intensyvumu, o tam reikia išleisti nemažai energijos. Pasyvaus apšilimo pliusas tas, kad šildant raumenį vandens vonioje ar kitu būdu, padidinti raumens temperatūrą yra nesunku, o taip pat sutaupoma energija (Sargeant, 1987; Davies, Young, 1983).

Žinoma, kad temperatūrai sumažėjus 10⁰ C biologinių procesų apykaita gali sumažėti nuo ½ iki 2/3 karto (Benett A, 1984). Atšalus raumeniui nuo 35 iki 25⁰C, raumeninių skaidulų maksimalusis susitraukimo ir atsipalaidavimo greitis pablogėja. Tyrimai su gyvūnais rodo, kad jėgos išsivystymo ir atsipalaidavimo greitis esant žemai temperatūrai sumažėja (Ranatunga, 1982; Bennett, 1984; Ranatunga, 1984; Kossler, Kuchler, 1987; Rall, Woledge, 1990). Tačiau duomenis, gautus ištyrus izoliuotus gyvūnų raumenų preparatus, yra sunku pritaikyti tyrinėjant žmogaus raumenis, nes izoliuoti raumenys dažnai yra tiriami esant žemai temperatūrai (10 – 36⁰C), be to temperatūros poveikis skirtingoms raumeninėms skaiduloms yra nevienodas (Ranatunga, 1984; Bottinelli et al., 1996).

Šio darbo tikslas – išsiaiškinti šilumos bei šalčio poveikį raumens kontraktilinėms savybėms.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Raumens susitraukimo ir atsipalaidavimo mechanizmai

Raumens susitraukimas vyksta pagal slenkančių siūlų (filamentų) mechanizmą, t.y. miozino skersiniai tilteliai, sukimba su aktino siūlais ir įtraukia juos į sarkomerų vidų. Ši raumens susitraukimo slenkančių filamentų teorija buvo pasiūlyta 1954 m. dviejų mokslininkų Hugh Huxley ir Andrew Huxley. Ji dabartiniu metu yra papildyta ir plačiai aprobuota (Brenner, 1988; Cecchi, Lombardi, Menchette, 1984; Pollack, 1990).

Skiriami šie miozino tiltelių darbo ciklo etapai:

1. miozino galvutės atsijungimas nuo aktino;
2. adenzintrifosfato (ATP) hidrolizė, kurios metu ant miozino susidaro adenzindifosfatas (ADP) ir neorganinis fosfatas;
3. silpnos miozino tiltelių sukibimo su aktinu būsenos susidarymas, jei yra pakankamas kiekis kalcio (Ca) jonų kad sukeltų konformacinius pakitimus aktino filamentuose;
4. miozino tiltelių sukamasis judesys ir stiprios jungties būsenos susidarymas su aktinu, kai atsijungia neorganinis fosfatas;
5. ADP molekulės numetimas, stiprios miozino galvutės sukibimo su aktinu būsenos susidarymas su aktinu, kai atsijungia neorganinis fosfatas;
6. ATP molekulės prisijungimas prie miozino galvutės ir skersinių miozino tiltelių silpnos sukibimo su aktinu būsenos sudarymas, rigoro komplekso sudarymas;

Vidulastelinė Ca jonų koncentracija, reguliuodama aktino filamentų pakitimus nulemia neorganinio fosfato atsijungimo nuo miozino galvutės ir miozino sukibimo su aktinu silpnos būsenos perėjimo į stiprią greitį. Nustatyta, kad miozino tiltelis, traukdamas vieno ciklo metu aktino filamentus, atlieka apie 50×10^{-20} J darbą (Brenner, 1988).

Raumens susitraukimo ir atsipalaidavimo etapai:

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

5. veikimo potencialas T-sistema patenka iki šių potencialų valdomų Ca jonų kanalų (dihidropiridino receptorių), kurie mechaniniu būdu per "pėdos" struktūrą dėl konformacinių pakitimų atidaro sarkoplazminio tinklo Ca jonų kanalus (rianodinių receptorių) (Rios, Pizzaro, 1991);
6. atsidarius Ca jonų kanalams, Ca jonai pagal koncentracijos gradientą difunduoja iš sarkoplazminio tinklo į sarkoplazmą, supančią miofibriles, ir daug kartų padidina viduląstelinę Ca jonų koncentraciją: nuo 10^{-7} mol/l iki 10^{-5} mol/l, ypač padidėja Ca jonų koncentracija aktino ir miozino filamentų srityje (Robertson, Johnson, Potter, 1981);
7. dauguma Ca jonų labai greitai sukimba su troponinu-C (TnC) (viena TnC molekulė gali prisijungti iki 4 Ca 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, užleisdamas vietą miozino galvutei (dalis Ca jonų sukimba su parvalbuminu) (Brenner, 1988; Haiech, Derancourt, Pechere et al., 1979; Pollack, 1990);
8. susidaro miozino ir aktino skersiniai tilteliai, kurių sukamieji (rotaciniai) judesiai sukelia sarkomerų ir kartu visos raumeninės skaidulos (RS) susitraukimą bei jėgą, įvyksta raumeninės skaidulos citoskeleto deformacijos procesai (Brenner, 1988).

Raumens susitraukimo procesai, vykstantys nuo veikimo potencialo susidarymo sarkolemoje iki raumens jėgos sustiprėjimo, vadinami elektromechaniniu ryšiu (Rios et al., 1991).

Vykstant raumens atsipalaidavimui Ca jonai sukimba su parvalbuminu ir dėl Ca siurblio grąžinami į sarkoplazminį tinklą, ląstelėje sumažėja laisvų Ca jonų koncentracija iki 10^{-7} , tada tropomiozinas užblokuoja aktyviasias aktino vietas ir, jei tarp miofibrilių yra pakankamas ATP kiekis, įvyksta raumens atsipalaidavimas (Rall, 1990; Westerblad, Lee, Lannergren, Allen, 1991). Dėl ilgiau trunkančio raumeninės ląstelės darbo (krūvio), priklausomai nuo jo intensyvumo, gali sumažėti ATP kiekis, dėl ko Ca jonų koncentracijos mažėjimo tempai sulėtėja, kas neišvengiamai sukelia kontraktilinių elementų atpalaidavimo pailgėjimą. Tai akivaizdžiai pastebima raumenų nuovargio fone.

Taigi raumens susitraukimas ir atsipalaidavimas yra skirtingi procesai.

1.2. Raumens aktyviosios mechaninės savybės

1.2.1. Priklausomybė „raumens susitraukimo greitis – jėga“

Priklausomybė tarp raumens susitraukimo maksimalaus greičio ir susitraukimo jėgos yra hiperbolės formos (Fitts, McDonald, Schuler, 1991; Winters, Woo, 1990; Westerblad et al., 1991). Didelį svorį raumuo gali pakelti tik susitraukdamas nedideliu greičiu, o maksimalus susitraukimo greitis užfiksuojamas, kai raumuo susitraukia be jokio papildomo svorio. Atliekant judesį labai dideliu greičiu, nespėja sukibti daug miozino skersinių tiltelių su aktinu, todėl ir pasiektoji jėga yra labai 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 pasiekia didžiausią galingumą, kai išorinis pasipriešinimas yra apie trečdalį maksimalios izometrinės jėgos (raumenų, kuriuose vyrauja greitojo susitraukimo raumeninės skaidulos, galingumo kreivė pasislenka į dešinę).

1.2.2. Priklausomybė „raumens susitraukimo jėga – laikas“

Raumens susitraukimo jėgos dydis priklauso ne tik nuo keliamo svorio ar raumens ilgio, bet ir nuo aktyvavimo trukmės, kuri reikalinga Ca jonų koncentracijai padidinti ir raumens pasyviajai jėgai įveikti (Winters et al., 1990). Veikimo potencialas, kylantis raumeninės skaidulos sarkolemoje, užtrunka apie 5-7 ms, Ca jonų išmetimo maksimalus intensyvumas pasiekimas per 10-20 ms, o raumens jėga pasireiškia tik po 20-30 ms nuo veikimo potencialo aktyvinimo pradžios. Taigi stebimas latentinis periodas, kurio trukmė apima tarpsnį nuo sarkolemos depoliarizavimo iki raumens jėgos atsiradimo pradžios.

Dirginant raumenį nedideliu dažniu, po kiekvieno raumens susitraukimo būna visiškas atsipalaidavimas, todėl raumuo įgyja atskiro susitraukimo formą. Dirginant raumenį didesniu dažniu, raumuo nespėja atsipalaiduoti, todėl raumens vienkartiniai susitraukimai sumuojasi ir raumens darbas įgauna dantytojo ir lygiojo tetanuso formas. Vis dėlto, atliekant judesį RS beveik visada susitraukia dantytuoju tetanusu, tačiau dėl raumeninių skaidulų asinchroniško darbo visas raumuo susitraukia tolygiai (Fitts, 1994).

1.3. Raumens pasyvosios mechaninės savybės

1.3.1. Priklausomybė „raumens jėga – ilgis“

Raumuo, panašiai kaip spyruoklė ar amortizatorius, pasižymi elastingumu ir klampumu (Fitts et al, 1991; Wang, Mclure, Tu, 1979). Tai priklauso nuo nuosekliųjų ir lygiagrečiųjų raumens elastinių komponentų, kuriuos formuoja raumeninės skaidulos sarkolema, citoskeletas, sarkoplazminio tinklo vamzdeliai, miozino ir aktino filamentai, jungiamojo raumens audinio trijų sluoksnių plėvelės ir sausgyslė. Miozino ir aktino filamentai formuoja aktyvųjį raumens jėgos stiprumo, o visi kiti pasyvųjį raumens pasipriešinimo jo ilgio kitimui komponentus.

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

1. Miozino ir aktino filamentų (aktyviojo raumens sustiprėjimo komponento) persidengimo sarkomere. Sarkomerai pasiekia didžiausią jėgą, kai jų ilgis siekia apie 2,20-2,30 μm , nes tada susidaro daugiausia skersinių miozino tiltelių su aktinu. Labai didelio ištempimo (virš 3,6 μm) ar didelio ilgio sumažėjimo (trumpiau nei 1,65 μm) atvejais sarkomerų sukeliama jėga sumažėja. (Fitts et.al., 1991).
2. Pasyviojo raumens pasipriešinimo. Ištempiant raumenų iki didesnio nei ramybės ilgio, atsiranda pasyvusis raumens pasipriešinimas. Atliekant normalius įprastus judesius, raumens darbo ilgis kinta funkcinės ramybės ilgio ribose.
3. Raumens jėgos peties (Winters et al., 1990), 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 funkcinės būklės ilgiu, t.y. kintant raumens ilgiui nevienareikšmiškai kinta jėgos momentas.
4. Raumens susitraukimo tipo (Fitts et al., 1991). Raumens susitraukimo jėga priklauso ne tik nuo raumens ilgio, bet ir nuo jo kitimo tipo (ilgėjimo ar trumpėjimo) bei kitimo greičio. Didžiausią jėgą raumuo įgyja ekscentrinio susitraukimo metu, t.y. net apie du kartus didesnę nei izometrinio susitraukimo metu.

1.4. Biomechaniniai ir fiziologiniai veiksniai, lemiantys šoklumą

1.4.1. Šoklumą lemiantys faktoriai

Net pats paprasčiausias, nereikalaujantis didelių koordinacinių sugebėjimų bei įgūdžių, šuolis į aukštį iš vietos priklauso ne tik nuo asmens raumenų (periferinių veiksnių), bet ir nuo centrinės nervų sistemos (CNS) valdymo mechanizmų dirginimo (Верхошанский, 1977; Viitasalo, Bosco, 1982; Schmidt, 1988; Skurvydas, Mamkus, 1990). Be to, tų pačių, bet skirtingais būdais atliekamų šuolių didžiausias indėlis gali būti nevienareikšmis (Верхошанский, 1977; Bosco et al., 1983a, 1983b, 1984, 1986; Schmidtbleicher, Gollhofer, Frick, 1987; Skurvydas, Stasiulis, Vilčinskas, 1988; Komi, 1992; Hakkinen, 1994), nors manoma, kad net ir skirtingais būdais atliekamų šuolių motorinė programa (valdoma galvos smegenų motorinių darinių) yra, jei ne tokia pat, tai labai panaši (Гурфинкель, Левин, 1985; Schmidt, 1988). Šoklumas – tai daugialypė fizinė ypatybė, apibūdinama daugelio veiksnių, kuriuos būtų galima įvardinti kaip:

Periferinius raumenų veiksnius:

1. *Raumenų kompozicija.* Žmogaus skeleto raumenų skaidulos yra mišrios sudėties. Vienuose yra daugiau lėtai susitraukiančių (LLV), kituose – greitai susitraukiančių (GGV), o dar kituose – ir tokiu ir tokių po lygiai. Nevienodas greitųjų ir lėtųjų RS jautrumas hormonų poveikiui: gausėjant katecholaminų kiekiui, didėja greitųjų RS susitraukimo jėga, o lėtųjų ji gali net sumažėti (Вирь, КYPRE, 1983). Kuo daugiau raumenyse greitai susitraukiančių raumeninių skaidulų, tuo geresnis tiriamųjų šoklumas (Bosco et al., 1983a, 1983b; Яшцанинас, 1983; Саплинскас, 1985; Hakkinen 1994).

2. *Už raumenų susitraukimą atsakingų struktūrų kiekis.* Raumenų susitraukimo efektyvumą lemia šie struktūros elementai: 1) fermentų natrio, kalio-ATF-azės, Ca-ATF-azės, miozino ATF-azės, magnio-ATF-azės kiekis; 2) raumeninėje skaiduloje esančių sarkomerų skaičius ir ilgis, raumeninės skaidulos ilgis; 3) raumeninių skaidulų skaičius viename motoriniame vienetė; 4) miofibrilių storis ir kiekis - kuo daugiau greitosiose RS yra miofibrilių tuo didesnį galingumą įgyja raumuo (Яковлев, 1974; Гурфинкель, Левин, 1985; Astrand, Rodahl, 1986; Fitts et al., 1991; Goldspink, 1992; Enoka, 1994); 5) T-sistemos sarkoplazminio retikulumo kiekis; 6) raumens elastinio komponento kiekis.

3. *Fundamentalios RS susitraukimo charakteristikos.* Jėga – ilgis ir jėga – greitis. Raumens susitraukimo (sutrumpėjimo) ar ištempimo ilgis arba pritupimo gylis. Ilgėjant raumeniui iki optimalaus dydžio, didėja to raumens jėga. Raumens jėgos priklausomybė nuo jo ilgio ir greičio lemia raumens jėgos generavimo plastiškumą, efektyvumą bei ekonomiškumą.

4. *Raumenų ir sausgyslių elastingumas* (Bosco et al., 1982, 1983b, 1984). Raumuo, panašiai kaip spyruoklė ir amortizatorius, pasižymi elastingumu ir klampumu (Fitts et al., 1991; Wang et al., 1979). Raumens elastingumas priklauso nuo jo nuoseklių ir lygiagrečių elastinių komponentų, lygiagretus elastinis komponentas – nuo raumens skaidulų sarkolemų, fascijų ir jungiamųjų audinių mechaninių savybių, o nuoseklus elastinis komponentas – nuo sausgyslių ir aktino miozino tiltelių tamprumo (Skurvydas et al., 1995). Raumenų elastinėms savybėms nemažos įtakos turi aktino-miozino tiltelių susijungimo ir atsipalaidavimo laikas, kuris GGV RS yra apie 15 kartų trumpesnis negu LLV. Ištempiant raumeninę skaidulą, įsitempia aktino-miozino tilteliai ir taip sukaupiama elastinė potencinė energija. Atsipalaidavus (trūkus) aktino-miozino tilteliams dėl ilgo ar staigaus skaidulų ištempimo, sukaupta elastinė energija gali pereiti į šiluminę ir tuo pačiu gali sumažėti mechaninio darbo galingumas. Kuo greičiau pereinama nuo raumens ištempimo prie jo susitraukimo, tuo efektyviau panaudojama elastinė ir mioelektrinė energija. (Skurvydas et al., 1995). Miozino ir aktino filamentai formuoja aktyvųjį raumens jėgos stiprumą, o visi kiti pasyvųjį raumens pasipriešinimo jo ilgio kitimui komponentus. Pavyzdžiui, kuo elastingesnis raumuo, tuo daugiau elastinės energijos sukaupiama amortizuojamai pritūpiant, o tai lemia atliekamo šuolio dydį. Manoma, kad dėl raumenų ir sausgyslių elastingumo, šoklumo savybės gali pagerėti apie 15 – 40 % (Bosco, Rsko, 1983c).

5. *Biomechaniniai faktoriai*. Raumenų susitraukimo greitis bei jėga gali skirtis apie 10 kartų, priklausomai nuo ilgio, RS tvirtinimosi prie sausgyslių kampo ir sausgyslių tvirtinimosi prie kaulo jėgos svėrto peties ilgio. Jeigu RS tvirtinasi tam tikru kampu, raumuo išvysto didesnę jėgą (Enoka, 1994). Vaino pasiūlytame naujame biomechaniniame skeleto raumens modelyje, yra akcentuojama raumens perėjimo į sausgyslę struktūriniai ypatumai. Raumenys yra padengti jungiamuoju audiniu, kurį sudaro kolageninių ir elastinių skaidulų tinklas, kurios betarpiškai jungiasi su sausgysle. Miofibrilės tiesiogiai nedalyvauja perduodant mechaninę energiją iš raumens į sausgyslę. Susitraukiant arba išsitempiant raumeniui, išsilygina kolageninių skaidulų gofruotumas. Kuomet raumuo yra visiškai ištemptas, gofruotumas visiškai išnyksta, kolageninės skaidulos ištemptos, ir tolesnis įtampos augimas sukelia plastinę deformaciją. Iš viso to seka, kad paskutiniu atveju kolageninių skaidulų įtampa persiduoda sausgyslei 94 %. Raumens išvystoma jėga yra maksimali, o prieš tai raumenyje vyksta kolageninių skaidulų gofruotumo deformacijos akumuliacija, priklausomai nuo jų standumo. Akumuluojant tokio pobūdžio deformacijos energiją be abejonės dalyvauja miozino tilteliai ir tamprioji titino filamentų dalis. Atliekant pasyvų raumens ištempimą, miozino tiltelių įtaka yra minimali (Vain, 1985).

Paminėtini šie nerviniai veiksniai:

1. *Motorinės programos įgyvendinimo efektyvumas*. Jei sportininkas yra reikiamai susikaupęs ir turi motyvaciją, tai motoriniai centrai gali intensyviau siusti nervinius impulsus į alfa

motoneuronus (Schmidt, 1988). Dėl šios priežasties didėja motoneuronų impulsavimo dažnis, vyksta jų mobilizaciją skatinantys procesai, tap pat didėja motoneuronų aktyvumo sinchronizacija.

2. *Motorinės programos sudarymo tikslumas.* Nuo jos priklauso agonistų, sinergistų, antagonistų, rankų ir kojų raumenų koordinacija, kuri padeda geriau atlikti šuolį (Sale, 1988; Schmidt, 1988; Skurvydas et al., 1988, 1990).

Gali būti šie refleksiniai veiksniai:

1. *Sausgyslių ištempimas.* Sausgyslėse glūdi Goldžio receptoriai, kuriuos sužadinus prislopinamas motoneuronų aktyvumas (Гурфинкель, Левин, 1985; Schmidtbleicher et al., 1987; Skurvydas et al., 1990; Komi, 1992). Kai sausgyslėse sužadinama daugiau Goldžio receptorių, tai gali silpnėti šoklumo savybės.

2. *Raumeninių verpsčių ištempimo ilgis bei greitis.* Jas ištempiant, per aferentus yra žadinami motoneuronai, kurie didesniu dažniu aktyvuoja RS (Гурфинкель, Левин, 1985; Bosco, Tihanyi, Latteri, Fekete, Apor, Rusco, 1986; Skurvydas et al., 1988; Komi, 1992; Hakkinen, 1994). Be to, ištempiant raumenines verpstes rekrutuojama daugiau motorinių vienetų.

1.4.2. Šoklumo fiziologiniai pagrindai

Sutinkami šie pagrindiniai raumens susitraukimo tipai: izometrinis (raumuo įgyja jėgą, tačiau jo ilgis nekinta) ir dinaminis (raumuo įgyja jėgą, kintant raumens ilgiui). Dinaminis susitraukimo tipas skirstomas į: koncentrinį (raumuo trumpėja) ir ekscentrinį (raumuo ilgėja). Pagal tai, kaip kinta susitraukimo metu raumens ilgis ir jėga, koncentrinis susitraukimas skirstomas į: izokinetinį (sukamasis judesys sąnaryje atliekamas pastoviu greičiu), izotoninį (tai tik laboratorinėmis sąlygomis demonstruojamas susitraukimas, kai raumuo susitraukia ir jo jėga nekinta). Net vieno atliekamo judesio metu raumuo gali susitraukti skirtingais tipais, pvz., šuolio metu stebimas ekscentrinis, izometrinis ir koncentrinis susitraukimas (Komi, 1992).

Tipinis ekscentrinį-izometrinį-koncentrinį raumenų darbo pavyzdys yra šuolis į aukštį iš vietos su amortizuojančiu pritūpimu. Tokių pratimų yra nedaug.

Raumens sprogstamojo susitraukimo fiziologiniai mechanizmai izometrinio ir koncentrinio darbo metu skiriasi. Koncentrinio raumens susitraukimo metu didelę reikšmę turi skeleto raumenų elastinio komponento panaudojimas. Elastiniai komponentai turi didelę įtaką raumens susitraukimo greičiui. Šią funkciją reguliuoja raumeninės verpstės bei Goldžio aparatas. Vienos jų dalys labiau reaguoja į jėgos pokyčius, kitos į greičio ir pagreičio. Ekscentrinio raumens susitraukimo metu pastebimas mažesnis Goldžio organų ištempimas ir tuo pačiu mažesnis motorinių vienetų veiklos slopinimas, nei izometrinio darbo metu. Ekscentrinio susitraukimo metu ištempiamos raumeninės

verpstės, kurios suaktyvina papildomą motorinių vienetų kiekį. Todėl ekscentrinio darbo metu išvystoma didesnė maksimali jėga. Tai paaiškinama elastinių ir mioelektrinių faktorių įtaka tokio tipo raumens susitraukimui. Po raumens ištempimo padidėja atliekamo darbo galingumas. Tempimo reflekso dydis priklauso nuo raumeninių verpsčių ištempimo greičio, pagreičio jėgos: tempimo refleksas pasireiškia tuo labiau, kuo didesniu greičiu ištempiamos raumeninės skaidulos. Sugebėjimas panaudoti tempimo refleksą ir raumenų elastingumą ištempiant raumenines skaidulas priklauso nuo temperatūros. Pvz., padidinus raumenų temperatūrą 10°C , jų susitraukimo galingumas padidėja apie 4 kartus. Tempimo reflekso panaudojimo galimybės priklauso ir nuo raumeninių skaidulų ištempimo ilgio, elastinės energijos panaudojimo.

Kuo greičiau pereinama nuo raumens ištempimo prie jo susitraukimo, tuo efektyviau panaudojama sukaupta elastinė ir mioelektrinė energija.

Raumenų reaktyvumas: skiriasi nuo sprogstamosios jėgos. Kuo greičiau pereinama nuo ekscentrinių prie koncentrinų susitraukimų, tuo didesnis raumenų reaktyvumas. Čia svarbiausia atsispyrimo greitis. Vertikalaus šuolio atsispiriant abiem kojom iš vietos aukštis priklauso nuo vertikalaus atsispyrimo greičio. Maksimali atsispyrimo jėga, o tuo pačiu ir vidutinė jėga tuo didesnė, kuo iš mažesnio pritūpimo kampo atliekamas šuolis. Raumenų elastingumas ir sugebėjimas panaudoti mioelektrinę energiją ištempiant raumenines skaidulas labai padidina raumenų susitraukimo jėgą.

Atliekant šuolius iš žemo pritūpimo (koja sulinkus iki 90° kampo per kelio sąnarį), atsispyrimo laikas pailgėja daugiau negu sumažėja vidutinė atsispyrimo jėga. Dėl to tokio šuolio aukštis dažnai būna didesnis, negu šuolio atliekamo iš mažo pritūpimo kampo (135°) manoma, kad žemų pritūpimų metu labiau panaudojama lėto tipo raumeninių skaidulų sukaupta elastinė ir mioelektrinė energija, o trumpų ir staigių pritūpimų metu – greitų raumeninių skaidulų ir motorinių vienetų energija.

Greito tipo raumeninių skaidulų atlieka didžiausią darbą tokių šoklumo pratimų metu, kur reikalingas didelis raumens susitraukimo greitis. Atliekant dideliu greičiu šoklumo pratimus arba pratimus, reikalaujančius greito raumens ištempimo ir susitraukimo, lėtos raumeninės skaidulos gali net trukdyti greitoms raumeninėms skaiduloms realizuoti savo galimybes. Greito tipo raumeninių skaidulų staigus ištempimas gali turėti efektą raumens susitraukimo galingumui.

Pasirodo, kad naudojant raumenų elastinę ir mioelektrinę energiją, labiau padidėja šuolio atsispyrimo galingumas negu jėgos impulsas. Didžiausias raumenų reaktyvumas pastebimas atliekant šuolį į aukštį iš vietos nuo paaukštinimo ir amortizuojant iki 135° kampo per kelius. Pats mažiausias raumenų reaktyvumas pastebimas atliekant šuolius su įvairiais pasunkinimais, pritūpiant iki 90° per kelius. Reaktyvesnės yra greito tipo raumeninės skaidulos dėl didelio raumenų

susitraukimo ir ištempimo greičio, tačiau geriau panaudojamos lėto tipo raumeninių skaidulų elastingos savybės.

Kuo daugiau skeleto raumenyse vyrauja greito tipo raumeninės skaidulos, tuo didesnis šuolio aukštis, atsispyrimo jėga ir vidutinis galingumas vienam kūno kilogramui.

Šuolio sėkmė priklauso ir nuo elastingos ir mioelektrinės energijos panaudojimo. Sugebėjimas panaudoti šią energiją atliekant šuolį į aukštį iš vietos pritupiant iki 135° kampo per kelius gerai koreliuoja su Greito tipo raumeninių skaidulų procentiniu kiekiu. Tarp sugebėjimo panaudoti raumenų elastingą ir mioelektrinę energiją pritupiant iki 90° kampo per kelius ir Greito tipo raumeninių skaidulų procentinio kiekio yra neigiamas koreliacinis ryšys. Raumenų reaktyvumas ir tuo pačiu šuolių aukštis priklauso nuo pritūpimo laipsnio ir greičio, o tai savo ruožtu lemia raumenų kompoziciją, lėtų ir greitų raumeninių skaidulų reaktyvumas tarpusavy nesusiję.

Didžiausią prognozuojamąjį informatyvumą turi šuolis į aukštį iš vietos, pritupiant iki 135° kampo per kelius, raumens susitraukimo greičio indeksas, greitų ir lėtų raumeninių skaidulų reaktyvumas ir elastingumas (Skurvydas et al., 1995).

1.5. Temperatūros poveikis raumens funkcijai

Prieš pradedant fizinę veiklą reikia atlikti pramankštą, nes ji turi reikšmingą įtaką nuo temperatūros priklausantiems fiziologiniams procesams (Enoka, 1994). Optimaliausia šilto vandens temperatūra laikoma iki 45°C, o aukštesnė sukelia nemalonius karščio pojūčius ir netgi baltymų degradacijos procesus (Low, Reed, 2000). Panardinus 45 min. galūnes į 44-45°C vandens vonią, raumens temperatūra 3 cm gylyje pakyla 2.7°C, ir šis temperatūros pokytis laikomas fiziologine norma (Sargeant, 1987).

Kai oda gauna šilumos, kraujagyslės plečiasi ir periferinis aprūpinimas krauju auga. Kraujagyslėmis tekantis kraujas sušildomas, taip kad gilesnių struktūrų (tokių kaip raumenys) temperatūra taip pat kyla (Duffield, 1976).

Yra žinoma, kad aukštis, kurį asmuo gali pasiekti atlikdamas vertikalius šuolius, pagerėja po pramankštos (Enoka, 1994). Taip atsitinka dėl to, kad pramankšta padidina maksimaliąją jėgą, kurią raumuo gali išvystyti, ir todėl, kad šuolis priklauso nuo produkuojamos jėgos kiekio. Ši šuolio aukščio pagerėjimą po pramankštos sąlygoja raumenų susitraukimo greičio pagerėjimas dėl temperatūros pakilimo.

Pramankšta turi pastebimą efektą temperatūros padidėjimui, o kartu ir fiziologiniams procesams raumenyje. Fiziologiškai pramankšta yra naudinga raumenų žalos profilaktikoje, didinant raumens-sausgyslės elastingumą bei ilgį. Pakilusi kūno vidaus temperatūra greitina deguonies atsiskyrimą nuo hemoglobino ir mioglobino, metabolinės reakcijas, kraujo tekėjimo

srovę raumenyse, mažina raumenų klampą, didina veikimo potencialo sklidimo greitį, deguonies suvartojimą (Blomstrand et al., 1984; Shellock, Pretince, 1985; Febbraio et al., 1994 a; Koga et al., 1997; Booth et al., 2001).

Raumens šaldymas sumažina raumens susitraukimo jėgą, pailgina atsipalaidavimo trukmę, sumažina raumens susitraukimo galingumą, padidina raumens atsparumą nuovargiui (Oksa et al., 1996; Gossen et al., 2001; Nomura et al., 2002).

Raumens susitraukimo greičiui. Raumens vidaus temperatūros padidėjimas turi įtakos maksimaliam raumenų susitraukimo greičiui. Maksimali veikla rodo didelį jautrumą temperatūrai. Lokomocijos mechanizmai – sarkomero ilgio sutrumpėjimas ir grįžimas į pradinę padėtį labai priklauso nuo temperatūros (Ratkevičius et al., 1995). Padidinus raumens temperatūrą 3,1°C, sumažėja raumens susitraukimo laikas ir pusė atsipalaidavimo laiko atitinkamai 7% ir 22%, bet neturi įtakos tetaniniam susitraukimui. Ir priešingai, sumažinus raumens temperatūrą 8,4°C (pamerkiant koją į ledo vonią) raumens susitraukimo laikas padidėja 38%, o pusė atsipalaidavimo laiko 93% (Davies, Young, 1983). Bandymais nustatyta, kad atsipalaidavimo laikas labiau nei jėga priklauso nuo raumens temperatūros. Apibūdinant jėgos ir greičio tarpusavio ryšį matyti, kad temperatūros pakitimai veikia maksimalų susitraukimo greitį, bet ne maksimaliąją izometrinę jėgą (Binkhorst, Hoofd, Vissers, 1977). Raumenų grupėms, susijusiomis su jėgos ir greičio tarpusavio ryšiu, raumens temperatūros kitimo efektas yra ne pakeisti maksimaliąją jėgą, bet padidinti maksimalų susitraukimo greitį apie 12%, padidinus raumens temperatūrą vienu laipsniu. Todėl galima daryti išvadą, kad trumpalaikių pratimų, kur vyrauja greitumo savybės, pasirodymas pablogėja prie žemos raumens temperatūros ir pagerėja prie temperatūros viršijančios normalią (Berg, Ekblom, 1979; Ranatunga, 1984).

Raumens susitraukimo jėgai. Kai temperatūros pokytis yra reikšmingas, jis gali paveikti maksimaliąją izometrinę jėgą. Maksimalioji izometrinė rankos raumenų jėga liko palyginti pastovi, esant 25⁰ C šaldymo temperatūrai, bet sumažėjo apie 30%, kada šaldymo temperatūra svyravo nuo 15⁰ C iki 12⁰ C (Ranatunga, 1987). Panašius maksimaliosios izometrinės jėgos kitimus užregistravo Berg ir Ekblom (1979) tirdami kelio tiesiamuosius raumenis. Jie nustatė, kad kelio tiesiamųjų raumenų jėga esant 30,4⁰C buvo 262 N-m, esant temperatūrai 38,5⁰C - 312 N-m, matuojant temperatūrą šlaunies keturgalvio raumens šoninėje galvoje. Šie kitimai darė poveikį ir veiklai: Tiriamieji padidino vertikalios šuolio aukštį 44% (17 cm) ir maksimaliąją jėgą mindami veloergometrą 32% (316W), kai temperatūra padidėjo nuo 30,4⁰C iki 38,5⁰C. Galima daryti išvadą, kad raumens atšalimas veikia miofibrilės jautrumą Ca²⁺ jonams (Faulkner, Zerba, Brooks, 1990; Ranatunga, 1989; Jaworowski, Arner, 1998; Ichihara, 1998).

Padidėjus normaliai raumens temperatūrai, ji neturi tiesioginės įtakos raumens išvystomai jėgai, nes pagerėjus raumens susitraukimo – atsipalaidavimo mechanizmui, skersiniai miozino

tilteliai nespėja sudaryti stiprių jungčių, kad išvystyti didelę tetaninę jėgą. Atšalus raumeniui, pablogėjus ATP hidrolizei ir atsipalaidavimui, ne visi miozino skersiniai tilteliai atkimba nuo aktino filamentų, todėl gali būti išvystoma didesnė tetaninė jėga (Davies et al., 1983).

Raumens susitraukimo galingumui. Kalbant apie raumens susitraukimo galingumą nereikėtų pamiršti, kad jį apsprendžia per tam tikrą laiko tarpą išvystyta jėga.

Padidėjusios temperatūros įtaka raumenų galingumui yra teigiama. Nustatyta, kad panaudojant pasyvų raumens šildymą, raumuo 3 cm gylyje sušilo iki 39,3°C, o atšaldžius iki 18°C ir 12°C atitinkamai 31,9°C ir 29°C. Taigi po pašildymo raumens galingumas padidėjo 11% lyginant su matavimais normaliomis sąlygomis, tuo tarpu kai atšaldymas 18°C ir 12°C vandens vonioje, sumažino maksimalios jėgos piką ir galingumą atitinkamai 12% ir 24% (Ranatunga, 1998; Sargeant, 1987). Neabejojama, kad aukštis, kurį individas gali pasiekti vertikaliu šuoliu, padidėja po pramankštos, t.y. po temperatūros padidėjimo (Davies, Young, 1985). Temperatūros reikšmė raumenų galingumui (tiek metaboliniam, tiek mechaniniam) reikštų jos poveikį ATP hidrolizei ir resinzei. Teigtina, kad žema raumenų temperatūra sumažina raumenų galingumą (Ranatunga, 1998; Sargeant, 1987; Ferretti, 1992). Manoma, kad raumens susitraukimo izometrinės jėgos ir susitraukimo galingumo (vertikalaus šuolio) sumažėjimas po šaldymo atsiranda todėl, kad sulėtėja aktino- miozino tiltelių sukibimo skaičius ir miozino tiltelių sukibimo su aktinu jėga, dėl sulėtėjusios ATP hidrolizės (Savouvery et al., 1992) ir neorganinio fosfato sumažėjimo (Coupland et al., 2001). Kita priežastis, kodėl šaltas raumuo lėčiau atsipalaiduoja, tai padidėjusi viduląstelinė Ca^{2+} koncentracija ir sulėtėjęs Ca^{2+} jonų sugrįžimas į sarkoplazminį tinklą (Hollingworth et al., 1996; Tanaka, 1997; Johnson et al., 1997; van der Heijden et al., 2000).

Raumens atsipalaidavimui. Raumens atsipalaidavimo mechanizme svarbu kaip greitai ir gerai Ca jonai sukimba su parvalbuminu, kaip efektyviai dirba Ca siurblys ir ar tarp miofibrilių yra pakankamas ATP kiekis (Desmedt, 1981; Pette, 1986). Išnagrinėjus keletą tyrimų, kurių metu buvo grynai stebimas raumenų temperatūros poveikis Ca jonų grįžimui į sarkoplazminį tinklą ir jų išmetimui į sarkoplazmą (CICR). Buvo padaryta aiški išvada, kad temperatūra turi įtakos CICR. Temperatūros padidėjimas (nuo 20°C iki 40°C) pagreitina CICR, t.y. Ca jonų iš ir į sarkoplazmą pagerėja, o tai leidžia efektyviai sumažinti laisvą Ca jonų koncentraciją ir tropomiozinui užblokuoti aktyvias aktino vietas (Ichihara, 1998). Parvalbuminas Ca jonus geriau izoluoja esant aukštesnei raumens temperatūrai (Hou, Johnson, Rall, 1992). Kadangi temperatūros padidėjimas raumenyse pagreitina ATP hidrolizę ir resinze, vadinasi Ca siurblys ir miofibrilės yra aprūpinamos pakankamu ATP kiekiu (Ferretti, 1992; Ferretti, Ishii, Moia, Cerretelli, 1992). Šaltas raumuo lėčiau atsipalaiduoja todėl, kad yra padidėjusi viduląstelinė Ca^{2+} jonų koncentracija (Hollingworth, Zhao, Bayl, 1996; Tanaka, 1997; Johnson, 1997; van der Heijden, 2000) ir sulėtėjęs Ca^{2+} jonų sugrįžimas

į sarkoplazminį tinklą. Todėl galima teigti, kad temperatūros įtaka raumens atsiplaidavimui yra didelė.

Raumens elastingumui. Pakilus raumens temperatūrai, sausgyslių, raiščių ir jungiamojo audinio galimybė labiau išsitempti padidėja, dėl to pagerėja sąnario judesių amplitudė (Wright, Johns, 1961; Strickler et al., 1990; Kirkendall, Garrett, 2002). Padidėjusi temperatūra gerina raumenų tąsumą, mažina klampumą ir didina galimybę jam būti mažiau įsitempusiam. Kolageninis audinys, kuris yra raumenų elastinių komponentų sudedamoji dalis, esant pakilusiai raumens temperatūrai, gali labiau išsitempti (Garrett, 1990). Raumenų standumas, kuris yra priešinga savybė raumenų deformacijai, yra didesnis tada, kai raumuo yra šaltas, t.y. raumens deformacija sumažėja tada, kai raumens temperatūra yra žema (Noonan et al., 1993; Bishop, 2003).

Elastinių komponentų esančių tarp miozino ir aktino siūlų skersinių tiltelių, indėlis sukaupiant elastinę energiją yra didesnis esant žemai raumens temperatūrai, nes tada sumažėja skersinių tiltelių atkibimo greitis (Asmussen et al., 1976). Tai rodo, kad esant žemai raumens temperatūrai ir dideliai raumens deformacijai raumuo geba efektyviau panaudoti elastinę energiją. Kai yra viršijamas audinio ištempimo kritinis lygis pasibaigus ištempimui, audinys negali grįžti į pradinį ilgį ir praranda dalį elastinės energijos. Vertikalaus šuolio aukštis labai sumažėja esant žemai raumens temperatūrai, tačiau ji teigiamai veikia tada, kai šuolis atliekamas nuo pakylės, kai reikalingas didesnis raumens standumas (Asmussen et al., 1976; Komi, Bosco, 1978; Bergh, Ekblom, 1979; Davies, Young, 1985).

Skirtingo tipo raumeninėms skaiduloms. Tiriant žinduolių (žiurkių) raumenų tiek vienkartinio, tiek tetaninio susitraukimo jėgą, maksimalų susitraukimo greitį mažinant raumens temperatūrą ($35 - 20^{\circ}\text{C}$) duomenų skirtumas tarp greitųjų ir lėtųjų raumeninių skaidulų nebuvo reikšmingas (Ranatunga, Wylie, 1983; Ranatunga, 1977, 1984).

G. Wang ir M. Kawai (2001), tirdami triušius pastebėjo, kad kai raumuo susitraukia lengvesnėmis sąlygomis, t.y. kai pasipriešinimas raumens viduje yra mažesnis, lėtosios raumeninės skaidulos dirba mažiau efektyviai nei greitosios. Vadinas, esant pakilusiai raumens temperatūrai ir sumažėjus raumens klampai, kartu sumažėjus ir vidinei trinčiai, greitosios raumeninės skaidulos gali susitraukinėti efektyviau. Lėtųjų raumeninių skaidulų izometrinis įtempimas padidėjo tada, kai raumens temperatūra pakilo nuo 5 iki 30°C ir pasiekė plato, kai temperatūra buvo 37°C . raumens temperatūrai esant aukštesnei nei 30°C , greitosios raumeninės skaidulos tampa mažiau stabilios, bet šio tipo raumeninių skaidulų skersinių tiltelių kinetinės savybės pagerėja. Skaidulų standumas dėl padidėjusios temperatūros kinta panašiai, bet mažesniais tempais. Triušio lėtosios raumeninės skaidulos turi pranašumą prieš greitasias, kadangi jos stabilesnės tada, kai temperatūra yra aukštesnė, ir dėl to, kad jos veikia elementariais ciklais, kurie yra $10 - 30$ kartų lėtesni nei greitųjų raumeninių skaidulų (Wang, Kawai, 1996, 1997).

1.6. Temperatūros fizioterapinis poveikis

1.6.1 Krioterapija

Šalčio taikymas terapiniais tikslais vadinamas krioterapija, o šalčio ir pratimų kombinacija vadinama kriokinetika. Krioterapija yra paprasta, mobili ir nebrangi skausmą ir raumenų spazmą, atsiradusius po traumos, mažinanti priemonė, tačiau jos fiziologiniai poveikio mechanizmai nėra pilnai išaiškinti (Craig, 2000).

Šaldymas mažina metabolinį aktyvumą, ląstelių deguonies poreiklavimą. Paviršiniuose ir giliuosiuose audiniuose susitraukia kraujagyslės ir sumažėja kraujo pratekėjimas.

Šalčio aplikacijos veikia ir nervų sistemą. Iš pradžių juntamas intensyvus šaltis. Jį seka geliantis šaltis, jaučiamas adatėlių badymas ir galiausiai nutirpimo jausmas. Po kelių šaldymo minučių sumažėja jautrumas, nes sumažėjus laidumui, impulsai neperduodami iš periferijos į jutiminę žievę. Atsiradęs nutirpimas atsirandantis yra vienas iš pirmųjų reabilitacijos tikslų – skausmo sumažėjimas.

Be to, kad mažintų skausmą ir pralaužtų skausmo – spazmo ciklą, šaltis mažina raumens spazmą tiesiogiai veikdamas raumenų verpstes. Raumens verptės reaguoja į raumens ištempimą. Verpstės įnervuojamos gama eferentinėmis skaidulomis, tai leidžia verpstei prisitaikyti prie raumens ilgio. Kai atsiranda trauma, kūno atsakas - refleksinis aplinkinių raumenų susitraukimas. Šie nevalingi susitraukimai arba spazmai tarsi įtveria traumotą plotą ir užkerta kelią tolesniam pažeidimui. Taigi, spazmas sustabdo kraujoplūdį ir apsunkina skausmo – spazmo ciklą. Šalčio aplikacijos sumažina spazmą tiesiogiai ir per refleksinius mechanizmus. Kai šaldoma, raumenų verpstės tampa mažiau jautrios; taip raumuo atsipalaiduoja ir spazmas išnyksta. Krioterapijos antispazminis poveikis yra svarbus veiksnys renkantis metodus skeleto raumenų traumoms gydyti.

Krioterapija gali būti naudojama mažinant skausmą ūmaus uždegimo metu, sumažinti skausmą prieš pratimus, padeda sumažinti chronišką skausmą, iš dalies miofascialinio skausmo sindromą (Craig, 2000).

Krioterapija ir ūmus uždegimas. Ūmaus potrauminio uždegimo metu šaltis sumažina skausmą ir sumažina antrinį audinių pažeidimą. Skausmo sumažėjimas atsiranda dėl sumažėjusio nervinio impulso perdavimo greičio. Klinikiniai stebėjimai ir tyrimai parodo, kad šaltis sumažina antrinį pažeidimą. Knight (1995) antriniam pažeidimui priskyrė ląstelių žuvimą dėl hipoksijos. Jis teigė, kad ūmaus uždegimo metu suyra kapiliarai, atsiranda edema, tai sumažina sveikų ląstelių oksidavimą ir atsiranda audinio pažeidimai. Audinių šaldymas mažina audinių metabolizmą ir taip sumažina deguonies trūkumą. Kai deguonies trūkumas sumažinamas, hipoksijos periodu išlieka

daugiau ląstelių. Jei išlieka daugiau ląstelių, vadinasi mažesnis bendras audinio pažeidimas, greičiau praeina ūmaus uždegimo simptomai ir požymiai, atsistatymas būna greitesnis.

Yra ir kita teorija, aiškinanti antrinę audinių pažeidimą laisvųjų radikalų veikimu, tačiau ji nepakankamai įtikinanti.

Krioterapija gydant chronišką skausmą. Krioterapija gali būti efektyvi gydant chronišką skausmą. Asmenims, kenčiantiems dėl miofascialinio skausmo sindromo, apibrėžto, kaip jautrūs triggeriniai taškai, krioterapija siūlo saugų, nebrangų gydymą namų sąlygomis. Trumpas intensyvus šaltis stimuliuodamas gali sumažinti skausmą. Ilgesinis ledo masažas sumažina nervų galų jautrumą ir sumažina aferentinių skaidulų laidumą. Aptirpimo efektas pralaužia lokalų skausmo – spazmo ciklą, ir palengvina miofascialinio skausmo simptomus.

Kriokinetika taip pat gali būti naudojama miofascialinio skausmo gydymui. Gydomieji pratimai, kad atstatyti judesį, pataisyti laikyseną ir atstatyti neskausmingus funkcinis judesių modelius, po krioterapijos būna gerai toleruojami.

Šaltis nėra visų nuolatinio skausmo atvejų gydymo priemonė. Nemažai skausmo sindromų gali pasunkėti po krioterapijos; intensyvus šalčio stimulus gali sukelti nepakeliamą skausmą ir pasunkinti problemą (Craig, 2000).

Kriokinetika. Knight (1995) aprašė šalčio aplikacijų taikymą prieš ir pratimų metu ir sukūrė kriokinetikos terminą. Šaltis prieštaraiškai veikia aktyvius pratimus. Knight apibendrino kelių tyrimų rezultatus ir padarė išvadą, kad maksimali izometrinė ir izotoninė jėgos, bei jų generavimo greitis sumažėdavo, kai raumuo būdavo šaldomas 15 – 18⁰ C. Šaldoma būdavo mažiausiai apie 20 min. Kai kurie tyrinėtojai (Cross, Wilson, Perrin, 1995; Greicar et al., 1996) sako, kad šaltis priešišškai veikia šoklumą ir judrumo veiklą, kai kiti (Evans et al., 1996; Shuler et al., 1996) nenustatė veiklos pokyčių po krioterapijos. Taikant krioterapiją, asmuo turėtų sušildyti raumenis ritmiškais pratimais prieš grįžtant prie aktyvaus, reikalaujančio maksimalių pastangų raumens darbo.

Aukščiau paminėti duomenys gali atrodyti trikdantys, ir iškyla klausimas kada taikyti šaltį susiduriant su aktyviais veiksmais. Asmenys, kuriems taikyta krioterapija greitai vėl gali grįžti prie maksimalių apkrovimų. Tiems, kurie jau galėtų atlikti tokius pratimus, bet turi toliau taikyti šaltį dėl skausmo, rekomenduojama perioduose tarp šaldymo procedūrų atlikti saugius ritmiškus pratimus (Craig, 2000).

Kriokinetika, gydomasis poveikis. Kriokinetika apima šalčio aplikacijas, panardinimą į šaltą vandenį, masažą ledu ir aktyvius pratimus. Šaltis taikomas kol atsiranda nuskausminantis poveikis (10 -15 min.). Kai šaldoma sritis aptirpsta, pradedami atsargūs pratimai.

Kriokinetika gali pagreitinti funkcinį atsistatymą. Galima pralaužti skausmo – spazmo ciklą prieš gydomuosius pratimus. Trauma padidina audinių jautrumą, dėl traumos normalus stresas, gali būti suprantamas kaip skausmingas. Jei rūpestingai kontroliuosime traumuotus asmenis, anksčiau

buvę skausmingi pratimai, taps nebeskausmingi, centrinis nukrypimas bus „perprogramuotas“, ir normalūs, funkciniai judesių modeliai bus atstatyti.

Jei pratimai krioterapijos metu skausmingi, juos reikia nutraukti. Jei pacientas šiuos gydymo būdus taikys pernelyg agresyviai, skausmas, spazmas ir patinimas padidės kitą dieną ir reabilitaciją teks sulėtinti 1 – 3 dienom, kol atsistatys iš naujo pažeisti audiniai. Reabilitacijos pratimų programoje reikėtų laikytis dviejų taisyklių 1) skausmas iškreipiantis normalius judėjimo modelius rodo, kad asmuo dar nėra pasiruošęs pratimams, ir 2) asmuo turi gebėti rytoj padaryti, tai ką jis padarė šiandien (Craig, 2000).

Šaldymo poveikis kolageniniams audiniams. Brodowicz, Welsh ir Wallis (1996) nustatė kad statinis pakinklio raumenų tempimas buvo padidėjo asmenims, kuriems tempimo metu buvo atliekamos ledo aplikacijos, palyginus kurie tempimo pratimus atlikinėjo su šiluminėmis aplikacijom, ar be jokių aplikacijų. Tyrėjai mano kad raumeninių verpsčių aktyvumo sumažėjimas dėl šalčio yra įtikinamas paaiškinimas dėl padidėjusio audinių tūsumo. Šalčio taikymas norint palengvinti audinių tempimą vadinamas kriostretčingu (Deltorage, 2002).

Nedaug kas tyrė šaldymo poveikį nuolatiniam audinių prailgėjimui per ar po tempimo. Kai kurie terapeutai pastebėjo, kad nuolatinė linijinė deformacija atsiradusi dėl tempimo gali padidėti jei tempimo jėgos palaikomos kol audiniai šaldomi (Deltorage, 2002). Šis poveikis priskiriamas kolageno mikrostruktūros persitvarkymui prie naujo ilgio. Tiriant peties lankstumą Lentell et al., (1992) nustatė, kad ledo aplikacijos taikomos tempimo metu pailgino plastinio pailgėjimo išlaikymą. Tačiau tai dar reikia įrodyti.

1.6.2. Šilumos terapija

Panašiai kaip ir šaltis, šildymo klinikinė nauda ta, kad sumažinamas skausmas ir raumenų spazmas. Tačiau ir čia, poveikio mechanizmai nėra pilnai išaiškinti.

Skausmo sumažėjimas pritaikius šildymo aplikacijas aiškinamas vartų kontrolės teorija. Vartų kontrolės teorija teigia, kad didelio diametro aferentinių skaidulų indėlis sukelia slopinimą, kai mažo diametro aferentinių skaidulų indėlis palengvina skausmo impulsų perdavimą. Šilumos pojūtis perduodamas mažo diametro skaidulomis (A-delta ir C skaidulos), o ne didelio diametro skaidulomis (A-alfa ir A-beta).

Žinome, kad mažo diametro aferentų indėlis stimuliuoja beta endorfino aktyvaciją. Todėl manoma, ilgesnė stimuliacija (20 - 40 min.) reikalinga sukelti beta-endorfino atsaką. Klinikiniai stebėjimai rodo, kad ši teorija gali būti vertinga. Praktikoje šildymas taikomas 20 -30 min. Klinikiniai stebėjimai rodo, kad trumpesni periodai neduoda norimo rezultato. Pastebėta, kad

šildymas sukelia raminantį poveikį. Tai patvirtina pastarąjį, šilumos nuskausminantį poveikį paaiškinantį mechanizmą.

Mechanizmai, paaiškinantys šilumos antispazminį poveikį, taip pat diskutuoti. Vienas paaiškinimas, kad šildymas pralaužia skausmo – spazmo ciklą, sumažindamas skausmą. Tačiau gali veikti ir kiti faktoriai. Kai taikoma šiluma, raumens verpsčių jautrumas sumažėja, net jei pačios verpstės temperatūra nepakito. Taigi, šildymas gali veikti raumens verpsčių aktyvumą per spinalinius refleksus. Nors ir diskutuotinas, tai kol kas geriausias su šildymu susijusių verpsčių jautrumo sumažėjimo ir spazmo išnykimo paaiškinimas.

Kiti fiziologiniai pokyčiai susiję su šildymu, kaip kad padidėjęs metabolinis aktyvumas, pagreitėjusi apykaita, padidėjęs uždegimas, padidėjęs audinių elastingumas ir sumažėjęs klampumas.

Šildymas dažniausiai naudojamas skausmui sumažinti prieš gydomuosius pratimus. Šildymas gali būti taikomas gydyti sąnario kapsulės laisvumo sumažėjimui (Craig, 2000).

Gydymasis poveikis. Paprastai šalčio aplikacijos taikomos gydant uždegimą tik pirmas tris, keturias dienas. Nors krioterapija kartais tęsiama antroje audinių pažeidimų gydymo stadijoje, norint kontroliuoti edemą, ar skausmo – spazmo – skausmo ciklą. Tačiau audinių temperatūros sumažėjimas, susijęs su šalčio aplikacijomis, negali pagreitinti ląstelių atsistatymo. Būtent - fibroplastų dauginimosi ir kolageno sintezės. Taigi, kai susidorojama su hemoragija ir edema uždegimo metu, toliau renkamas gydymas šiluma. Audinių atsistatymo greitis susijęs su kraujo kiekiu patenkančiu į pažeistus audinius. Pirmoji reakcija į temperatūrą yra padidėjęs kraujo pritekėjimas, įskaitant ir didesnę baltųjų kraujo ląstelių dauginimąsi, padidėjusį fagocitų, deguonies tiekimą ir ląstelių metabolizmą, ir padidėjusį maisto medžiagų tiekimą. Jei šiuos procesus pagreitina gydomasis šildymas, teoriškai jis palengvina audinių gijimo mechanizmą.

Kadangi skirtingų šildymo būdų poveikis yra skirtingas, reikia parinkti būdą atitinkantį pažeidimo gylį. Kad sukelti fiziologinius pokyčius, audinių temperatūra būdavo pakeliamą iki 40 – 45⁰ C. Aukštesnė temperatūra gali pažeisti audinius (Craig, 2000).

Šilumos poveikis kolageniniams audiniams. Audinių temperatūra svarbi norint padidinti lankstumą ir sąnario judesio amplitudę. Nors mokslininkai praneša apie palankius rezultatus naudojant temperatūrą audinių tempimui, tačiau bendros išvados prieštaringos. Lentell et al (1992) teigia, kad sąnario peties padidėjęs mobilumas panaudojus šildymą ir tempimą galimas dėl raumeninių verpsčių slopinimo, sumažėjusio raumenų tonuso, sumažėjusio miofibrilių pasipriešinimo tempimui.

Šilumos ir šalčio poveikis giliesiems jungiamiesiems audiniams turi būti atsargiai interpretuojamas. Šie veiksniai padeda taikant nuolatinį tempimą, dėl savo gebėjimo sumažinti raumenų tonusą ir skausmą (Prentice, 1982). Taigi šildymas skatina raumens atsipalaidavimą, kuris

palengvina tamprumo jėgų koncentraciją sutrumpėjusiuose jungiamuosiuose audiniuose. Viskoelastinis sausgyslių elgesys, taikant tempimą, gali pakisti audinių temperatūrai esant 37 – 40⁰ C. Atsiranda stresinis atsipalaidavimas ir lėtas audinių prailgėjimas. Kai temperatūra pakyla iki 40⁰C audiniai tampa elastingesni, išvengiama pažeidimų, nes reikalinga mažesnė tempimo jėga. Tai rodo, kaip svarbu kontroliuoti ir audinių temperatūrą ir tempimo jėgą per terapinį tempimą. Jungiamųjų audinių nuolatinis prailgėjimas dėl padidėjusios temperatūros priskiriamas daliniam molekulių kryžminių ryšių kolageninėje skaiduloje irimui (Deltorage, 2002).

2. TYRIMO TIKSLAS, UŽDAVINIAI, METODAI IR ORGANIZAVIMAS

2.1. Tyrimo hipotezė, tikslas ir uždaviniai

Hipotezė:

Manytume, kad griaučių raumenų kontraktilinės savybės pakėlus raumens temperatūrą, pagerės, o jai sumažėjus – pablogės.

Tyrimo tikslas:

Ištirti šilumos ir šalčio poveikį griaučių raumenų kontraktilinėms savybėms.

Uždaviniai:

- 1) Ištirti griaučių raumenų kontraktilines savybes pakėlus raumens temperatūrą $2,7^{\circ}\text{C}$.
- 2) Ištirti griaučių raumenų kontraktilines savybes sumažinus raumens temperatūrą $7 - 10^{\circ}\text{C}$.
- 3) Išsiaiškinti skirtingos temperatūros įtaką skirtingų tipų raumeninėms skaiduloms.
- 4) Išsiaiškinti skirtingos temperatūros įtaką raumeninių skaidulų elastinės energijos panaudojimui.

2.2. Tyrimo metodo organizavimas, tiriamųjų kontingento aprašymas

Tyrimas buvo atliekamas “Žmogaus motorikos” laboratorijoje. Tiriamųjų kontingentą sudarė 24 sveiki žmonės, atrankos kriterijų nebuvo (buvo tiriami tiek sportuojantys, tiek nesportuojantys, tiek vyrai, tiek moterys). Tiriamųjų skaičius, amžius, ūgio ir kūno masės rodikliai pateikti 1 lentelėje. Tiriamieji buvo supažindinti su vykdomo tyrimo tikslais, taikomais metodais, tyrimo procedūra ir galimais nepatogumais. Atvykę į laboratoriją, prieš testavimą, tiriamieji 10 min sėdėjo ramybės būsenoje. Visi dalyvavo savo noru, bei tiksliai vykdė keliamus reikalavimus.

1 lentelė. Tiriamųjų skaičius, amžiaus, kūno masės ir ūgio rodikliai

Rodikliai	Tiriamųjų skaičius, n	Amžius, m	Kūno masė, kg	Ūgis, cm
Tyrimas, taikant pasyvų šildymą	12	$21,1 \pm 2,9$	$87,8 \pm 11,6$	$1,83 \pm 0,06$
Tyrimas, taikant pasyvų šaldymą	12	$21,9 \pm 1,98$	$80,3 \pm 13,73$	$1,83 \pm 0,07$

Pasyvaus raumenų šildymo metodika: procedūra atlikta pagal daugelio mokslininkų naudojamą metodiką (Sargeant, 1987): tiriamasis sodinamas 45 min. į $44 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ vandens vonią. Vandens temperatūra visą laiką kontroliuojama vandens termometru. Kojos visą sėdėjimo laiką buvo pilnai panardintos po vandeniu. Remdamiesi šios metodikos autorių duomenimis, žinome, kad šildant raumenį 45 min. 44°C vandenyje, raumens temperatūra 3 cm gylyje padidėja apie 3°C .

Pasyvaus raumenų šaldymo metodika: tiriamųjų kojos du kartus po 15 min., su 10 min., pertrauka buvo panardinamos į $15 \pm 1^{\circ}\text{C}$ temperatūros vandens vonią (Meeusen, Lievens, 1986; Ducharme, Van Helder, Radomski, 1991; Eston, Peters, 1999). Vandens temperatūra buvo kontroliuojama vandens termometru. Tokiu būdu šaldomų kojų šlaunies keturgalvio raumens vidinė temperatūra sumažėja 7 – 10°C (Meeusen, Lievens, 1986).

Šoklumo registravimas: tyrimui buvo naudojama speciali techninė įranga: daugiakomponentinė jėgos platforma “KISTLER“, tipas 9286A, matmenys 40x60, kuri leidžia užregistruoti dinامينius ir pusiau statinius matavimus veikiant bet kuri platformos tašką. Ši, pjezo daviklius turinti platforma, per stiprintuvą sujungta su kompiuteriu. Duomenys apdorojami BIOVARE programa. Užrašoma atramos reakcijos kreivė, ir naudojant programą apskaičiuojamas kūno masės centro greitis, pagreitis, poslinkis, atsispyrimo metu bei atsispyrimo jėga ir galingumas.

Šuolio aukštis buvo skaičiuojamas pagal formulę $h = v^2/2g$ (m) (Komi, Bosco, 1987).

Elastinės energijos kitimas buvo skaičiuojamas pagal šuolio su amortizuojamuoju pritūpimu (hp) ir šuolio be amortizuojamojo pritūpimo (hst), kai nenaudojama ištempimo metu sukaupta energija) aukščio rezultatų santykį (Komi, Bosco, 1978):

Šuolio pritūpiant iki 135° kampo raumeninių skaidulų absoliutus elastingumas:

$$M1 = hp135 - hst135;$$

Šuolio pritūpiant iki 90° kampo raumeninių skaidulų absoliutus elastingumas:

$$M2 = hp90 - hst90;$$

Šuolio pritūpiant iki 90° kampo raumeninių skaidulų santykinis elastingumas:

$$M3 = hp90 - hst90/hp90 * 100\% ;$$

Šuolio pritūpiant iki 135° kampo raumeninių skaidulų santykinis elastingumas:

$$M4 = hp135 - hst135/hp135 * 100\% .$$

Šuoliukų atlikimo metodika: Tyrimo procedūros metu tiriamieji atliko šuoliukus su amortizuojančiu pritūpimu (hp), pritūpiant iki 90° ir 135° kampo, ir be amortizuojančio pritūpimo (hst), iš statinės padėties pritūpus iki 90° ir 135° kampo. Kiekvieną šuoliuką kartojant du kartus (viso 8 šuoliukai). Visi šuoliukai atliekami rankas laikant ant liemens. Tarp kiekvieno šuoliuko daroma 30 s pauzė (Bosco, 1999). Kai šuolis atliekamas pritūpiant iki 90° kampo per kelius, daugiau panaudojamas lėto tipo raumeninių skaidulų elastingumas, pritūpiant iki 135° kampo per keliu panaudojamas greito tipo raumeninių skaidulų elastingumas (Skurvydas et al., 1988). Su

šuoliukų atlikimo technika tiriamieji supažindinami iš anksto. Šuoliukai atliekami prieš pasyvų raumenų šildymą ir šaldymą bei po jų. Po šildymo ir šaldymo šuoliai atliekami iš karto, pauzė nedaroma.

Tyrimo eiga:

1. Atliekami visų tipų šuoliukai ant tenzoplatfotmos (8 šuoliukai, 30 s pauzė tarp bandymų).
2. Atliekama pasyvaus raumenų šildymo procedūra (45 min.).
3. Pakartojami tie patys šuoliukai (8 šuoliukai, 30 s pauzė tarp bandymų).

Lygiai tokia pat eiga atliekamas tyrimas ir taikant pasyvų raumenų šaldymą (pasyvus raumenų šaldymas 2x15 min., su 10 min. pertrauka).

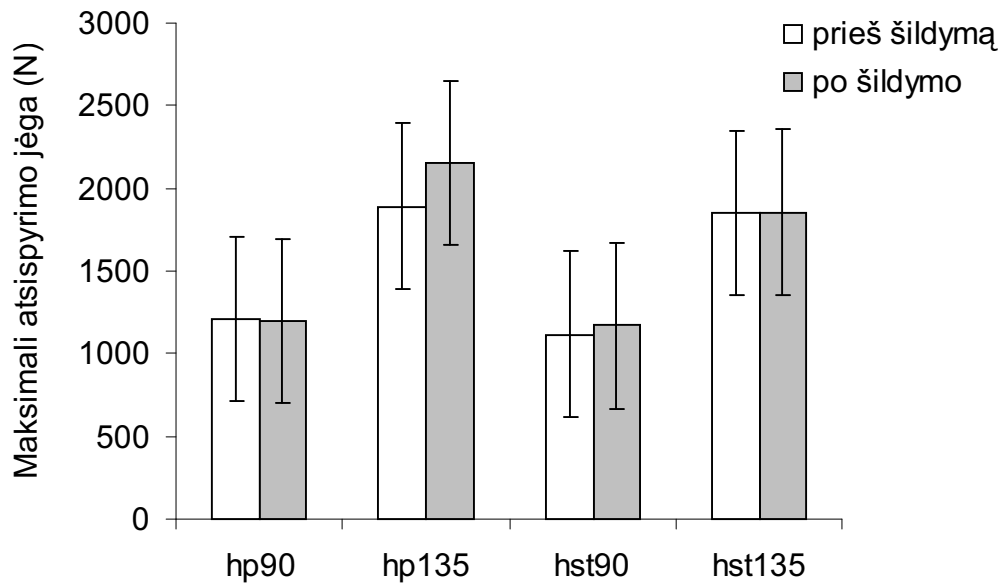
Statistiniai skaičiavimai: analizuojant tyrimo duomenis buvo nustatomas aritmetinis vidurkis, standartinis nuokrypis, procentinis skirtumas bei skaičiuojamas lyginamų dydžių skirtumo patikimumas pagal neparametrinių duomenų Wilcoxon Matched Pairs testą. Pasirinktas 95 proc. patikimumo lygmuo ($p < 0,05$). Skaičiavimai atliekami naudojantis statistiniu „Microsoft Excel“ paketu ir specialia statistine programa „Statistica“.

3. TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

3.1. Tyrimo taikant pasyvų šildymą rezultatai

3.1.1. Šuolio atsispyrimo jėga

Maksimalios atsispyrimo jėgos vidurkis atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus 135^0 kampu (hst135) pašildžius padidėjo. Esant normaliai raumens temperatūrai - $1849,46 \text{ N} \pm 457,02 \text{ N}$, po pasyvaus šildymo procedūros - $1853,84 \text{ N} \pm 420,54 \text{ N}$ (procentinis pokytis 1,378 %). Tačiau šis skirtumas nėra statistiškai patikimas ($p = 0.638$). Išanalizavus šio tyrimo rezultatus išsiskyrė dvi tiriamųjų grupės - vienos (8 atvejai) maksimali jėga padidėjo ($p < 0,05$), kitos (4 atvejai) nepakito ($p > 0,05$). Atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus 90^0 kampu (hst90) maksimali atsispyrimo jėga pašildžius buvo didesnė nei normaliomis sąlygomis, atitinkamai $1167,85 \text{ N} \pm 252,13 \text{ N}$ ir $1115,82 \text{ N} \pm 271,26 \text{ N}$, (procentinis pokytis 5,93 %). Pokytis statistiškai nepatikimas ($p = 0.075$). Išanalizavus pamatėme, kad maksimali jėga padidėjo 8 atvejais ($p < 0,05$) ir nepakito 4 ($p > 0,05$). Atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 135^0 (hp135) kampo atsispyrimo jėga po pasyvaus šildymą padidėjo; prieš šildymą - $1890,11 \text{ N} \pm 652,69 \text{ N}$, po šildymo - $2152,28 \text{ N} \pm 1047,59 \text{ N}$ (procentinis pokytis 12,054 %). Pokytis statistiškai nepatikimas ($p = 0.071$). 8 atvejais atsispyrimo jėga padidėjo ($p < 0,05$), 4 atvejais nepakito ($p > 0,05$). Atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 90^0 kampo (hp90) maksimali jėga buvo lygi $1210,9 \text{ N} \pm 322,53 \text{ N}$, po šildymo - $1199,24 \text{ N} \pm 400,76 \text{ N}$ (procentinis skirtumas 2,288 %). Šio šuolio maksimali atsispyrimo jėga sumažėjo statistiškai nepatikimai ($p = 0,859$). Išanalizavus tiriamųjų imtį, 5 atvejais rezultatai padidėjo ($p < 0,05$), o 6 atvejais sumažėjo ($p < 0,05$). (1 pav.).

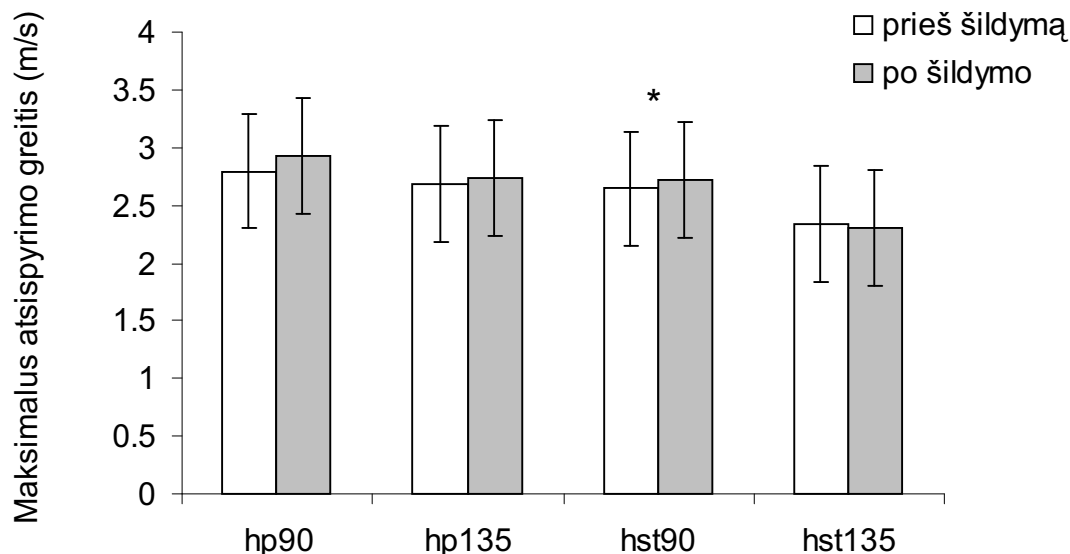


1 pav. Maksimalios atsispyrimo jėgos vidurkiai (N) prieš ir po šildymo

Trumpinimai. hp90 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 90⁰ kampo rezultatai; hp135 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 135⁰ kampo rezultatai; hst90 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 90⁰ kampo rezultatai; hst135 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 135⁰ kampo rezultatai.

3.1.2. Šuolio atsispyrimo greitis

Atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus 135⁰ kampu (hst135) makismalaus atsispyrimo greičio vidurkis pašildžius sumažėjo. Prieš šildymą - 2,344 m/s ± 0,557 m/s, po šildymo – 2,303 m/s ± 0,432 m/s (procentinis pokytis 0,051 %). Maksimalus atsispyrimo greitis nepatikimai sumažėjo ($p = 1$). Išanalizavus imtį, 7 atvejais greitis padidėjo ($p < 0,05$), 5 atvejais sumažėjo ($p < 0,05$). Maksimalaus atsispyrimo greičio vidurkis atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus 90⁰ kampu (hst90) po šildymo padidėjo ($p = 0,025$). prieš šildymą - 2,642 m/s ± 0,257 m/s, po šildymo – 2,722 m/s ± 0,302 m/s (procentinis pokytis 2,957 %). Maksimalus atsispyrimo greitis atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 135⁰ kampo (hp135) po šildymo padidėjo. Prieš šildymą - 2,683 m/s , ± 0,244 m/s, po šildymo – 2,732 m/s ± 0,252 m/s (procentinis pokytis 1,88 %). Pokytis statistiškai nepatikimas ($p = 0,084$). Padidėjo 9 atvejais ($p < 0,05$), nepakito 3 atvejais ($p > 0,05$). Atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 90⁰ kampo (hp90) atsispyrimo greitis prieš šildymą buvo lygus 2,795 m/s ± 0,308 m/s, po šildymo – 2,926 m/s ± 0,256 m/s (procentinis pokytis 5,65 %). Pokytis statistiškai nepatikimas ($p = 0,071$). Rezultatai padidėjo 9 atvejais ($p < 0,05$), nepakito 3 ($p > 0,05$). (2 pav.).

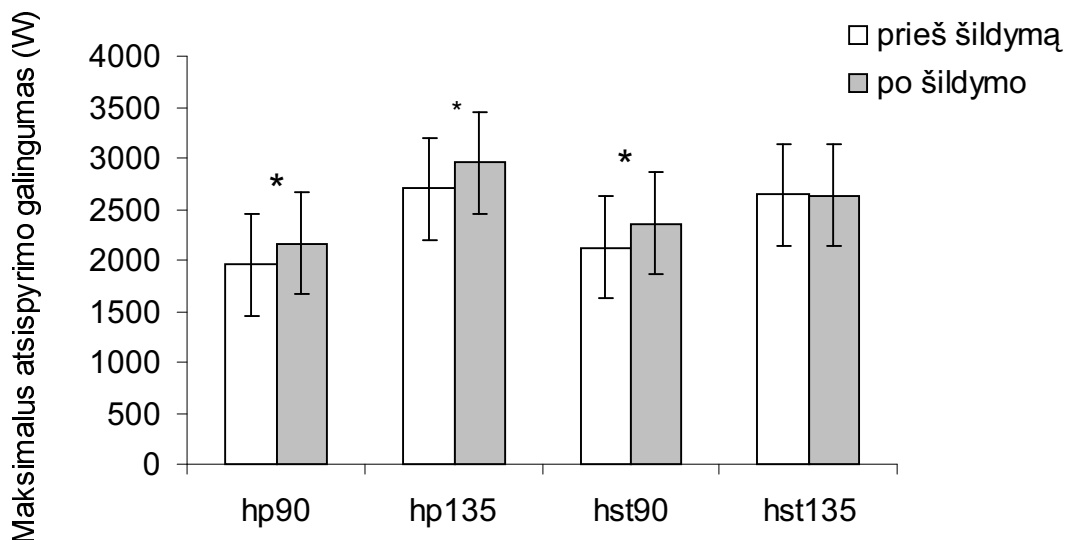


1 pav. Maksimalus atsispyrimo greičio vidurkiai (m/s) prieš ir po šildymo

Trumpinimai. hp90 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 90⁰ kampo rezultatai; hp135 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 135⁰ kampo rezultatai; hst90 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 90⁰ kampo rezultatai; hst135 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 135⁰ kampo rezultatai; * - $p < 0,05$ lyginant reikšmes tarpusavyje.

3.1.3. Šuolio atsispyrimo galingumas

Maksimalaus atsispyrimo galingumo vidurkis atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus 135⁰ kampu (hst135) po šildymo nepatikimai padidėjo ($p = 0.239$), prieš šildymą - $2644,08 \text{ W} \pm 1149,46 \text{ W}$, po šildymo – $2636,89 \text{ W} \pm 801,49 \text{ W}$ (procentinis pokytis 5,269 %). Analizuojant atsispyrimo galingumo rezultatus, imtis išsiskyrė tik šiuo atveju, padidėjo 9 atvejais ($p < 0,05$), nepakito 3 ($p > 0,05$). Atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus 90⁰ kampu (hst90) maksimalus atsispyrimo galingumas pašildžius padidėjo ($p = 0.006$), prieš šildymą - $2127,28 \text{ W} \pm 551,32 \text{ W}$, po šildymo – $2354,59 \text{ W} \pm 635,9 \text{ W}$ (procentinis pokytis 11,282 %). Atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 135⁰ kampu (hp135) atsispyrimo galingumas po šildymo padidėjo ($p = 0,05$). Prieš šildymą - $2701,43 \text{ W} \pm 819,97 \text{ W}$, po šildymo – $2955,11 \text{ W} \pm 878,53 \text{ W}$ (procentinis pokytis 9,983 %). Atsispyrimo galingumas atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 90⁰ kampo (hp90) po šildymo padidėjo ($p = 0,01$), prieš šildymą - $1955,07 \text{ W} \pm 605,28 \text{ W}$, po šildymo – $2165,0 \text{ W} \pm 573,8 \text{ W}$ (procentinis pokytis 13,614 %). (3 pav.)

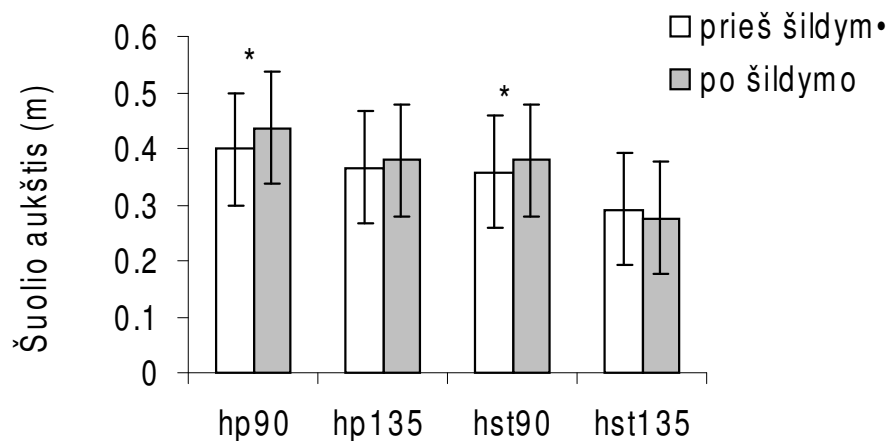


2 pav. Maksimalus atsispyrimo galingumo vidurkiai (W) prieš ir po šildymo

Trumpinimai. hp90 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 90⁰ kampo rezultatai; hp135 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 135⁰ kampo rezultatai; hst90 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 90⁰ kampo rezultatai; hst135 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 135⁰ kampo rezultatai; * - $p < 0,05$ lyginant reikšmes tarpusavyje

3.1.4. Šuolio aukštis

Šuolio aukščio vidurkis atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus 135⁰ kampu (hst135) prieš šildymą buvo $0,268 \text{ m} \pm 0,136 \text{ m}$, po šildymo – $0,274 \text{ m} \pm 0,100 \text{ m}$ (procentinis pokytis 3,886 %). Šio šuolio aukštis po šildymo nepatikimai padidėjo ($p = 0,94$). Išanalizavus rezultatus, aukštis padidėjo 6 atvejais ($p > 0,05$), sumažėjo 5 atvejais ($p > 0,05$). Šuolio aukštis atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus iki 90⁰ kampu (hst90) po šildymo padidėjo ($p = 0,038$) palyginus su šuoliu normaliomis sąlygomis, atitinkamai $0,371 \text{ m} \pm 0,082 \text{ m}$ ir $0,351 \text{ m} \pm 0,066 \text{ m}$, (procentinis pokytis 5,275 %). Atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 135⁰ kampo (hp135) šuolio aukštis po šildymo nepatikimai padidėjo ($p = 0,065$). Prieš šildymą buvo $0,361 \text{ m} \pm 0,063 \text{ m}$, po šildymo – $0,399 \text{ m} \pm 0,068 \text{ m}$ (procentinis pokytis 9,07 %). Šuolio aukštis padidėjo 7 atvejais ($p < 0,05$), 5 atvejais nepakito ($p > 0,05$). Atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 90⁰ kampo (hp90) šuolio aukštis pašildžius padidėjo ($p = 0,041$). Prieš šildymą buvo $0,399 \text{ m} \pm 0,082 \text{ m}$, po šildymo – $0,409 \text{ m} \pm 0,073 \text{ m}$ (procentinis pokytis 7,021%). (4 pav.)



3 pav. Šuolio aukščio vidurkiai (m) prieš ir po šildymo

Trumpinimai. hp90 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 90^0 kampo rezultatai; hp135 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 135^0 kampo rezultatai; hst90 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 90^0 kampo rezultatai; hst135 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 135^0 kampo rezultatai; * - $p < 0,05$ lyginant reikšmes tarpusavyje.

3.1.5. Lėtosios ir greitosios raumeninės skaidulos

Manoma, kad žemų pritūpimų metu (koja sulinkusi iki 90^0 kampo) labiau panaudojama lėto tipo raumeninių skaidulų sukaupta elastinė ir mioelektrinė energija, o trumpų staigių pritūpimų metu (koja sulinkusi iki 135^0 kampo) – greitų raumeninių skaidulų ir motorinių vienetų energija. Remiantis šiuo teiginiu, galime palyginti temperatūros poveikį skirtingo tipo raumeninėms skaiduloms. Palyginę skirtingų šuolių rodiklių pokyčius po šildymo, matome kad šuolio pritūpiant iki 90^0 kampo rezultatų pokytis buvo reikšmingesnis, nei šuolio pritūpiant iki 135^0 kampo. (2 lent.).

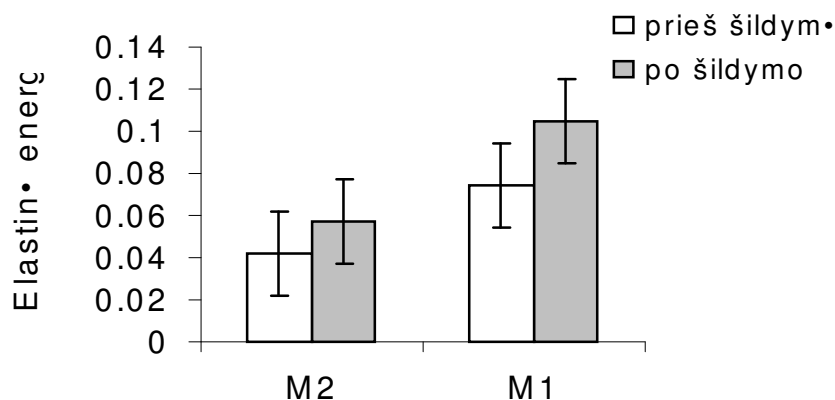
2 lentelė. Šuolių pritūpiant iki 90⁰ ir 135⁰ kampo rodiklių pokytis po šildymo.

Rodikliai	90 ⁰	135 ⁰
Atsispyrimo jėgos pokytis, %	hst – 5,93 ± 9,76 hp – 2,288 ± 9,54	hst – 1,38 ± 11,39 hp – 12,05 ± 21,17
Atsispyrimo greičio pokytis, %	hst – 2,96 ± 3,7; p<0.05 hp – 5,65 ± 14,27	hst – 0,05 ± 11,83 hp – 1,88 ± 3,42
Atsispyrimo galingumo pokytis, %	hst – 11,28 ± 11,87; p<0.05 hp – 13,61 ± 16,67; p<0.05	hst – 5,27 ± 20,44 hp – 9,98 ± 12,92; p<0.05
Šuolio aukščio pokytis, %	hst – 5,28 ± 7,636; p<0.05 hp – 7,02 ± 7,47; p<0.05	hst – 3,89 ± 26,68 hp – 9,07 ± 20,14

Trumpinimai. hst – šuolis be amortizuojančio pritūpimo; hp – šuolis su amortizuojančiu pritūpimu.

3.1.6. Šuolio elastingė energija

Vertikalaus šuoliuko elastingė energija esant normaliai raumens temperatūrai nesiskyrė nuo elastingės energijos, pakėlus kojų raumenų temperatūrą. Lyginant šuoliukus su ir be amortizuojančio pritūpimo, pritūpiant iki 90⁰ kampo, prieš šildymo procedūrą M2 (absoliutus elastingumas) buvo 0,04 ± 0,039 (M3 - santykinis elastingumas – 9,84 ± 8,197%), po šildymo procedūros M2 - 0,06±0,081 (M3 – 12,33 ± 15,105%). Elastingės energijos pokytis po šildymo procedūros nėra reikšmingas (p=0,64). Lyginant šuoliukus su ir be amortizuojančio pritūpimo, pritūpiant iki 135⁰ kampo, prieš šildymo procedūrą M1 (absoliutus elastingumas) buvo 0,07±0,117 (M4 - santykinis elastingumas – 20,811 ± 28,79%), po šildymo procedūros M1 - 0,105±0,08 (M4 – 27,64±20,79%). Elastingės energijos pokytis po šildymo procedūros nėra reikšmingas (p=0,35). (5 pav.)



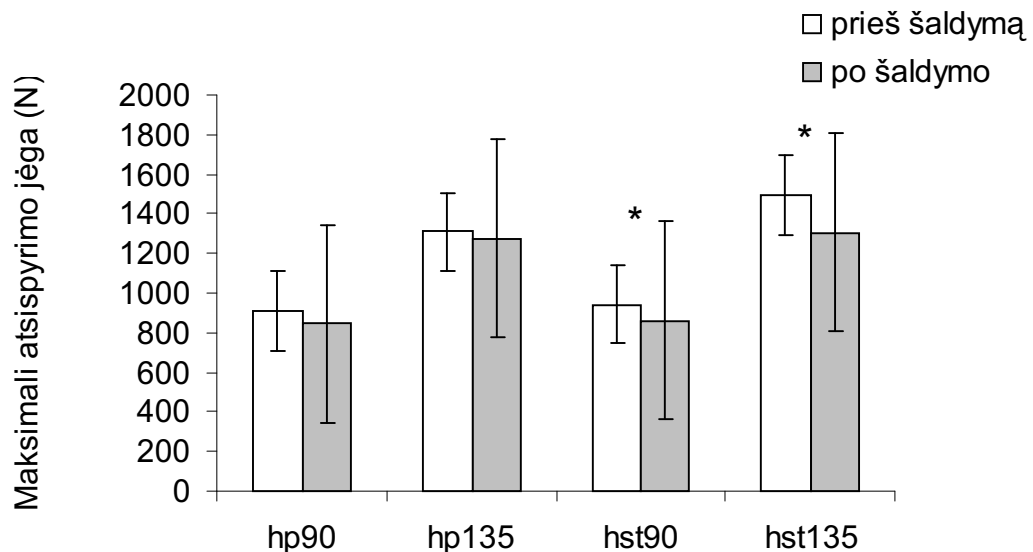
4 pav. Šuoliuko, pritūpiant iki 90⁰ kampo, elastingės energijos pokytis prieš ir po šildymo

Trumpinimai. M2 – šuolio pritūpiant iki 90⁰ kampo elastingė energija; M1 – šuolio pritūpiant iki 135⁰ kampo elastingė energija.

3.2. Tyrimo taikant pasyvų šaldymą rezultatai

3.2.1. Šuolio atsispyrimo jėga

Atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus 135^0 kampu (hst135) maksimalios atsispyrimo jėgos vidurkis po šaldymo procedūros sumažėjo ($p=0.004$), dydis prieš šaldymą - $1493,65 \text{ N} \pm 321,08 \text{ N}$, po šaldymo $1304,4 \text{ N} \pm 291,25 \text{ N}$ (procentinis pokytis 12,15 %). Maksimali atsispyrimo jėga atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus 90^0 kampu (hst90) pašaldžius sumažėjo ($p=0.028$), esant normaliom sąlygom - $943,56 \text{ N} \pm 320,87 \text{ N}$, pašaldžius - $861,41 \text{ N} \pm 324,72 \text{ N}$ (procentinis pokytis 9,19 %). Atsispyrimo jėga atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 135^0 kampo (hp135) po šaldymo nepatikimai sumažėjo ($p=0.695$). Prieš šaldymą $1308,31 \text{ N} \pm 233,43 \text{ N}$, po šaldymo - $1276,54 \text{ N} \pm 361,82 \text{ N}$ (procentinis pokytis 2,48 %). Išanalizavus, tiriamųjų imtis išsiskyrė, 7 atvejais sumažėjo ($p<0,05$), 5 atvejais nepakito ($p<0,05$). Atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 90^0 kampo (hp90) atsispyrimo jėga prieš šaldymą buvo lygi $907,55 \text{ N} \pm 202,53 \text{ N}$, po šaldymo - $845,52 \text{ N} \pm 214,99 \text{ N}$ (procentinis pokytis 6,04%). Šio šuolio maksimali atsispyrimo jėga sumažėjo statistiškai nepatikimai ($p=0,239$). 8 atvejais sumažėjo ($p<0,05$), 4 atvejais nepakito ($p>0,05$). (6 pav.)

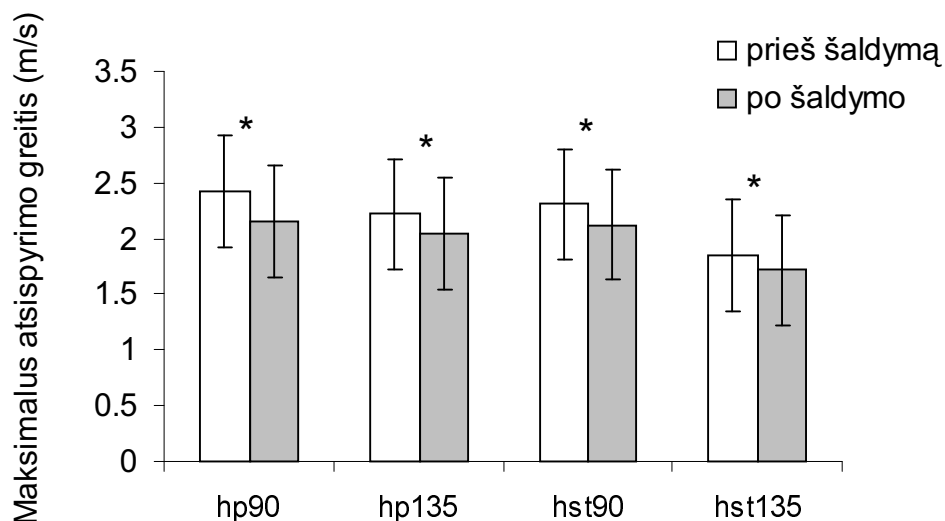


6 pav. Maksimalios atsispyrimo jėgos vidurkiai (N) prieš ir po šaldymo

Trumpinimai. hp90 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 90^0 kampo rezultatai; hp135 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 135^0 kampo rezultatai; hst90 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 90^0 kampo rezultatai; hst135 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 135^0 kampo rezultatai; * - $p<0,05$ lyginant reikšmes tarpusavyje.

3.2.2. Šuolio atsispyrimo greitis

Maksimalaus atsispyrimo greičio vidurkis atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus 135^0 kampu (hst135) pašaldžius sumažėjo ($p=0.013$), prieš šaldymą - $1.854 \text{ m/s} \pm 0,366 \text{ m/s}$, po šaldymo - $1.716 \text{ m/s} \pm 0,324 \text{ m/s}$ (procentinis pokytis 7.03 %). Maksimalus atsispyrimo greitis atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus 90^0 kampu (hst90) po šaldymo sumažėjo ($p=0.005$) palyginus su šuoliu normaliomis sąlygomis, dydžiai atitinkamai $2,125 \text{ m/s} \pm 0,179 \text{ m/s}$ ir $2,307 \text{ m/s} \pm 0,273 \text{ m/s}$ (procentinis pokytis 7.387 %). Atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 135^0 kampo (hp135) atsispyrimo greitis po šaldymo sumažėjo ($p=0.01$), prieš šaldymą buvo lygus $2,219 \text{ m/s} \pm 0,288 \text{ m/s}$, po šaldymo - $2,048 \text{ m/s} \pm 0,160 \text{ m/s}$ (procentinis pokytis 6.959 %). Atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 90^0 kampo (hp90) atsispyrimo greitis sumažėjo pašaldžius ($p=0.02$), normaliom sąlygom - $2,428 \text{ m/s} \pm 0,212 \text{ m/s}$, pašaldžius - $2,158 \text{ m/s} \pm 0,243 \text{ m/s}$ (procentinis pokytis 10,762 %). (7 pav.)

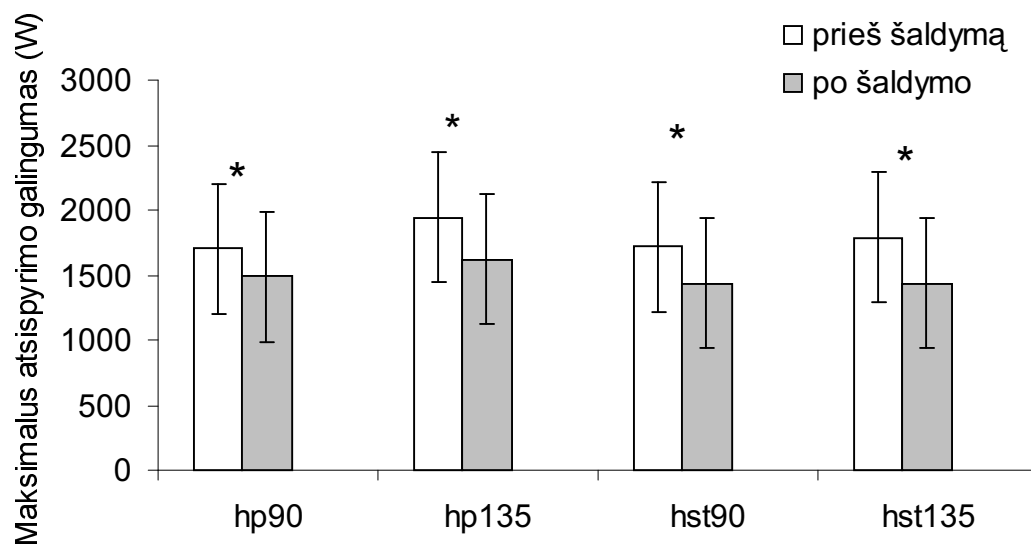


7 pav. Maksimalus atsispyrimo greičio vidurkiai (m/s) prieš ir po šaldymo

Trumpinimai. hp90 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 90^0 kampo rezultatai; hp135 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 135^0 kampo rezultatai; hst90 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 90^0 kampo rezultatai; hst135 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 135^0 kampo rezultatai; * - $p < 0,05$ lyginant reikšmes tarpusavyje.

3.2.3. Šuolio atsispyrimo galingumas

Maksimalaus atsispyrimo galingumo vidurkis atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus 135^0 kampu (hst135) pašaldžius sumažėjo ($p=0.003$), esant normaliom sąlygom - $1787.989 \text{ W} \pm 485.720 \text{ W}$, pašaldžius – $1431.291 \text{ W} \pm 425.721 \text{ W}$ (procentinis pokytis 19.160 %). Atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus 90^0 kampu (hst90) maksimalus atsispyrimo galingumas pašaldžius sumažėjo ($p=0.006$), prieš šaldymą $1715.930 \text{ W} \pm 301.591 \text{ W}$, po šaldymo – $1436.013 \text{ W} \pm 351.374 \text{ W}$ (procentinis pokytis 16.317 %). Atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 135^0 kampo (hp135) atsispyrimo galingumas pašaldžius sumažėjo ($p=0,019$) prieš šaldymą buvo $1944.188 \text{ W} \pm 337.803 \text{ W}$, po šaldymo – $1619.857 \text{ W} \pm 353.442 \text{ W}$ (procentinis pokytis 15.876 %). Atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 90^0 kampo (hp90) atsispyrimo galingumas pašaldžius sumažėjo ($p=0,013$), prieš šaldymą - $1702.393 \text{ W} \pm 354.048 \text{ W}$, po šaldymo – $1490.553 \text{ W} \pm 386.679 \text{ W}$ (procentinis pokytis 12.294 %). (8 pav.)

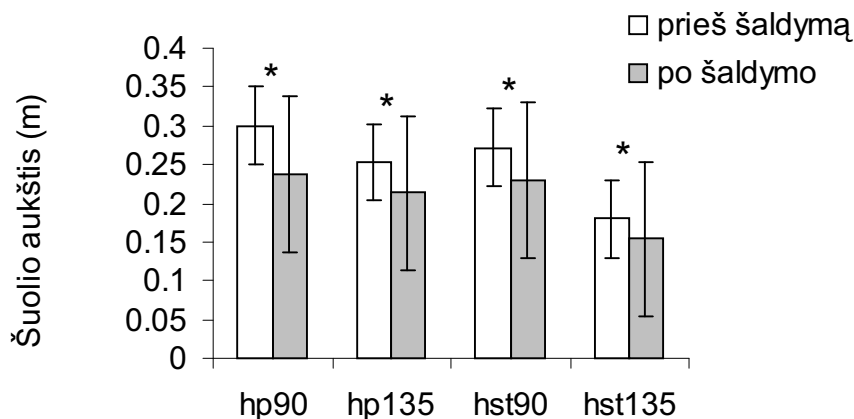


8 pav. Maksimalus atsispyrimo galingumo vidurkiaiai (W) prieš ir po šaldymo

Trumpinimai. hp90 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 90^0 kampo rezultatai; hp135 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 135^0 kampo rezultatai; hst90 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 90^0 kampo rezultatai; hst135 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 135^0 kampo rezultatai; * - $p<0,05$ lyginant reikšmes tarpusavyje.

3.2.4. Šuolio aukštis

Šuolio aukščio vidurkis atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus 135^0 kampu (hst135) pašaldžius sumažėjo ($p=0,012$), esant normaliom sąlygom - $0,18 \text{ m} \pm 0,069 \text{ m}$, pašaldžius – $0,154 \text{ m} \pm 0,055 \text{ m}$ (procentinis pokytis 13,167 %). Šuolio aukščio vidurkis atliekant šuolį be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus 90^0 kampu (hst90) po šaldymo sumažėjo ($p=0,005$) prieš šaldymą - $0,272 \text{ m} \pm 0,063 \text{ m}$, po šaldymo – $0,23 \text{ m} \pm 0,038 \text{ m}$ (procentinis pokytis 13,829 %). Šuolio aukščio vidurkis atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 135^0 kampo (hp135) pašaldžius sumažėjo ($p = 0,007$), prieš šaldymą - $0,253 \text{ m} \pm 0,064 \text{ m}$, po šaldymo – $0,213 \text{ m} \pm 0,033 \text{ m}$ (procentinis pokytis 12,991 %). Šuolio aukščio vidurkis atliekant šuolį su amortizuojančiu pritūpimu, pritūpiant iki 90^0 kampo (hp90) pašaldžius sumažėjo ($p=0,002$), prieš šaldymą - $0,3 \text{ m} \pm 0,054 \text{ m}$, po šaldymo – $0,238 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ (procentinis pokytis 19,293 %). (9 pav.).



9 pav. Šuolio aukščio vidurkiai (m) prieš ir po šaldymo

Trumpinimai. hp90 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 90^0 kampo rezultatai; hp135 – šuoliuko su amortizuojančiu pritūpimu iki 135^0 kampo rezultatai; hst90 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 90^0 kampo rezultatai; hst135 – šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, iš 135^0 kampo rezultatai; * - $p < 0,05$ lyginant reikšmes.

3.2.5. Lėtosios ir greitosios raumeninės skidulos

Palyginus šuolių pritūpiant iki 90^0 ir iki 135^0 kampo rodiklių pokyčius, matome kad abiejų šuolių tipų rezultatai po šaldymo pakito vienodai reikšmingai. (3 lent.).

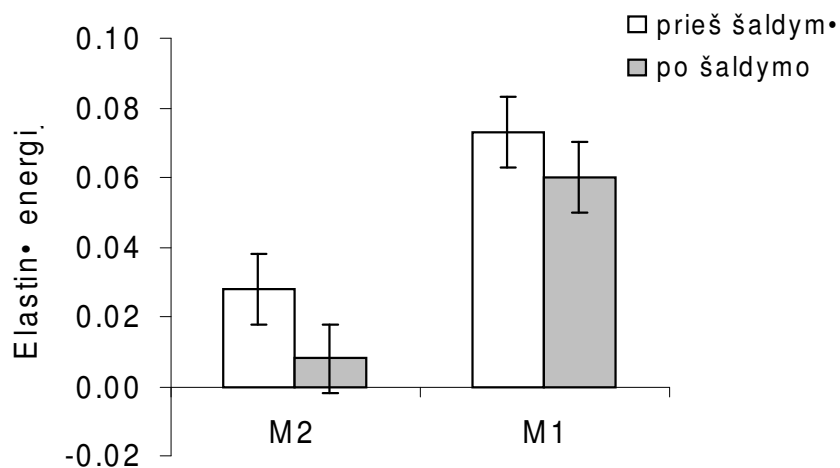
3 lentelė. Šuolių pritūpiant iki 90⁰ ir 135⁰ kampo rodiklių pokytis po šaldymo.

Rodikliai	90 ⁰	135 ⁰
Atsispyrimo jėgos pokytis, %	hst – 9,19 ± 10,72; p<0.05 hp – 6,04 ± 14,64	hst – 12,15 ± 9,78; p<0.05 hp – 2,48 ± 19,27
Atsispyrimo greičio pokytis, %	hst – 7,39 ± 5,96; p<0.05 hp – 10,76 ± 10,25; p<0.05	hst – 7,03 ± 7,62; p<0.05 hp – 6,96 ± 7,22; p<0.05
Atsispyrimo galingumo pokytis, %	hst – 16,32 ± 11,88; p<0.05 hp – 12,29 ± 13,33; p<0.05	hst – 19,16 ± 14,19; p<0.05 hp – 15,88 ± 16,54; p<0.05
Šuolio aukščio pokytis, %	hst – 13,83 ± 11,17; p<0.05 hp – 19,29 ± 16,64; p<0.05	hst – 13,17 ± 13,87; p<0.05 hp – 12,99 ± 13,33; p<0.05

Trumpinimai. hst – šuolis be amortizuojančio pritūpimo; hp – šuolis su amortizuojančiu pritūpimu.

3.2.6. Šuolio elastingė energija

Vertikalaus šuoliuko elastingė energija sumažinus raumens temperatūrai buvo mažesnė, nei elastingė energija, esant normaliai kojų raumenų temperatūrai, tačiau pokytis nebuvo reikšmingas. Lyginant šuoliukus su ir be amortizuojančio pritūpimo, pritūpiant iki 90⁰ kampo, prieš šaldymo procedūrą M2 (absolūtus elastingumas) buvo 0,028 ± 0,047 (M3 (santykinis elastingumas) 8,725 ± 15,311%), po šaldymo procedūros M2 0,008 ± 0,048 (M3 0,67 ± 30,934%). Elastinės energijos pokytis po šaldymo procedūros nebuvo reikšmingas (p=0,638). Lyginant šuoliukus su ir be amortizuojančio pritūpimo, pritūpiant iki 135⁰ kampo, prieš šaldymo procedūrą M1 (absolūtus elastingumas) buvo 0,073 ± 0,041 (M4 - santykinis elastingumas - 29,616 ± 16,178%), po šaldymo procedūros M1 lygus 0,06 ± 0,037 (M4 – 29,102 ± 18,649%). Elastinės energijos pokytis po šaldymo procedūros nebuvo reikšmingas (p=1). (10 pav.).



10 pav. Šuoliuko, pritūpiant iki 90⁰ kampo, absolūtus elastingės energijos pokytis prieš ir po šaldymo

Trumpinimai. M2 – šuolio pritūpiant iki 90⁰ kampo elastingė energija; M1 – šuolio pritūpiant iki 135⁰ kampo elastingė energija.

4. TYRIMO REZULTATŲ APTARIMAS

Kojų raumenų išvystoma jėga, veikiama skirtingų temperatūrų, pakito nereikšmingai, tiek pašildžius, tiek pašaldžius ($p > 0,05$). Tačiau atliekant šuoliukus be amortizuojančio pritūpimo, po šaldymo procedūros, jėgos pokytis buvo patikimas. Atsižvelgiant į didelį rezultatų išsibarstymą analizavome kiekvieną atvejį atskirai. Skirtingų temperatūrų poveikis atskiriems tiriamiesiems buvo nevienodas, išsiskyrė dvi grupės tiriamųjų, kurių jėgos išvystymą temperatūra veikė skirtingai. Tai būtų galima paaiškinti nevienodu temperatūros poveikiu skirtingoms raumeninėms skaiduloms (Ranatunga, 1984; Bottinelli et al., 1996). Taip atsitiko, nes tiriamųjų nediferencijavome pagal morfologinius aspektus. Kitų mokslininkų duomenimis žymūs raumenų jėgos pokyčiai taip pat nepastebėti (Skurvydas ir kt., 1999). Manoma, kad padidėjus normaliai raumens temperatūrai, pagerėja raumens atsipalaidavimo mechanizmai ir skersiniai miozino tilteliai nespėja sudaryti stiprių jungčių (Davies, 1983). Skurvydas ir kt. (1999) teigia, kad dėl temperatūros padidėjimo pasilpsta valingos jėgos generavimo mechanizmai. Taigi temperatūros poveikis raumenų jėgos vystymuisi yra diskutuotinas.

Kojų raumenų susitraukimo greitis temperatūrų pokyčiams buvo jautresnis. Jo pokyčiai pašaldžius buvo statistiškai patikimi tiek šuoliukų su amortizuojamčiu pritūpimu, tiek be amortizuojančio pritūpimo ($p < 0,05$). Pašildžius patikimai padidėjo šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus iki 90^0 kampo, rezultatai. Maksimalus greitis, kurį pasiekus raumuo gali sutrumpėti yra veikiamas miozino $ATP_{azės}$ fermento. Šis fermentas kontroliuoja aktino ir miozino sąveikos greitį, vadinasi ir skersinių tiltelių ciklo greitį. Šio fermento aktyvumas priklauso nuo temperatūros pokyčių – jis padidėja, kai temperatūra yra pakilusi (Rall, Woledge, 1990).

Pasyvus raumenų šildymas ir šaldymas skirtingai paveikė raumenų galingumą. Po šaldymo procedūros patikimai pakito visų tipų šuoliukų rezultatai ($p < 0,05$). Po šildymo nepatikimas buvo tik šuoliuko be amortizuojančio pritūpimo, pritūpus iki 135^0 kampo rezultatų pokytis. Taip yra, nes galingumą atspindi atsispyrimo jėgos ir greičio sandauga. Iš ankstesnių atsispyrimo jėgos ir greičio rezultatų matyti, kad jėga yra tas nestabilus rodiklis, dėl kurio nesikeitė maksimalus galingumas. Temperatūros reikšmė raumenų galingumui reikštų jos poveikį ATP hidrolizei ir resintezei. Skirtinga temperatūros įtaka raumenų galingumui iškelia hipotezę, kad temperatūra, veikdama ATP hidrolizę, gali taip pat įtakoti raumenų susitraukimo galingumą. Taip pat yra vieninga nuomonė, kad esant žemai raumens temperatūrai, sumažėja raumens susitraukimo greitis, o kadangi raumens susitraukimo galingumas yra lygus susitraukimo greičio ir jėgos sandaugai arba atliktam darbui per laiko vieneta, vadinasi padidėjusi ATP hidrolizė teigiamai veikia raumens susitraukimo greitį. Taigi, pakilus temperatūrai jėga nedidėja, bet maksimalus greitis ($V_{maks.}$) slenka į dešinę 12 % nuo kiekvieno padidėjusio temperatūros laipsnio (C) (Ball, Burrows, Sargeant, 1999; Blinkhorst, Hoofd,

Vischers, 1977). Manoma, kad raumens susitraukimo izometrinės jėgos ir susitraukimo galingumo (vertikalaus šuolio) sumažėjimas po šaldymo atsiranda todėl, kad sulėtėja aktino- miozino tiltelių sukibimo skaičius ir miozino tiltelių sukibimo su aktinu jėga, dėl sulėtėjusios ATP hidrolizės ir neorganinio fosfato sumažėjimo (Coupland et al., 2001). Kita priežastis, kodėl šaltas raumuo lėčiau atsipalaiduoja, tai padidėjusi viduląstelinė Ca^{2+} koncentracija ir sulėtėjęs Ca^{2+} jonų sugrįžimas į sarkoplazminį tinklą (Hollingworth et al., 1996; Tanaka, 1997; Johnson et al., 1997; van der Heijden et al., 2000).

Šuolio aukštis po pašildymo žymiai padidėjo. Patikimai padidėjo šuoliukų su ir be amortizuojančio pritupimo, pritupiant iki 90^0 kampo rezultatas ($p < 0,05$). Pašaldžius visų tipų šuoliukų aukštis reikšmingai sumažėjo ($p < 0,05$). Kadangi kojų raumenų atsispyrimo galingumas tiesiogiai sąlygoja šuolio aukštį, pastarojo padidėjimą ir sumažėjimą aiškintume tais pačiais mechanizmais – atsispyrimo greičio padidėjimu pašildžius ir sumažėjimu pašaldžius.

Pagreitėjęs raumens atsipalaidavimas pašildžius pateisina šilumos naudojimą raumens spazmui mažinti, skausmo – spazmo ciklui pralaužti. Padidėjęs raumens susitraukimo galingumas parodo pasyvaus šildymo prieš pratimus privalumus. Šildymas ir pratimai pagreitina raumens atsistatymą, tačiau pagreitina ir nuovargį (Tiidus, 1997; Sargeant, 1987). Tačiau šiluma nemažina patinimo ir hematomos, ji neefektyvi mažinant ūmų skausmą (Brosseau, Yonge, Robinson et al., 2003). Šiluma labiau tiktų nuolatiniam, miofascialiniam skausmui gydyti.

Iš tyrimo matyti, kad šaldymas labiau veikia raumenis, nei šiluma. Šaldymas lėtina raumens atsipalaidavimą, lėtina susitraukimą, aktino - miozino tiltelių sukibimą. Po šaldymo sumažėjo ir raumens susitraukimo jėga ir galingumas, sulėtėjo metabolizmas, taigi nuvargusio ir pašaldyto raumens pokyčiai panašūs (de Ruiter, de Haan, 2001). Tai rodo, kad šalčio naudojimas spazmo mažinimui pagrįstas labiau refleksiniais mechanizmais. Kriokinetikos taikymas taip pat diskutuotinas. Kai kurie tyrimai nenustatė reikšmingo šalčio poveikio raumenims (Paddon-Jones, Quigley, 1997; Taylor, Waring, Brashear, 1995). Šalčio poveikis vazodilatacijai nėra žymus, taigi kraujotaką aktyvina pratimai, o šaltis reikalingas tik skausmui mažinti (Knight, Londeree, 1980). Tačiau pašaldžius raumenis matome, kad sukibusių tiltelių ryšys stipresnis, reikalingos mažesnės energetinės sąnaudos, nes raumeniui atsipalaiduojant ne visi tilteliai spėja atsikabinti (Davies, Young, 1985). Šaldymas sumažina audinių jautrumą, tačiau neveikia pusiausvyros pojūčio, taigi nepadidina rizikos susižeisti (Hopper, Whittington, Davies, 1997). Raumuo tampa stabilesnis, šaldymas padidina pratimų atlikimo saugumą.

Lyginant skirtingų šuoliukų kinetinių ir kinematinų rodiklių pokyčius, matome, kad lėto tipo raumeninės skaidulos labiau reagavo į temperatūros pakėlimą, nei greitosios. Tuo tarpu į temperatūros sumažėjimą panašiai reagavo abiejų tipų skaidulos. Raumens temperatūrai esant aukštesniai nei 30^0C , greitosios raumeninės skaidulos tampa mažiau stabilios, bet šio tipo

raumeninių skaidulų skersinių tiltelių kinetinės savybės pagerėja. Triušio lėtosios raumeninės skaidulos turi pranašumą prieš greitasias, kadangi jos stabilesnės tada, kai temperatūra yra aukštesnė, ir dėl to, kad jos veikia elementariais ciklais, kurie yra 10 – 30 kartų lėtesni nei greitųjų raumeninių skaidulų (Wang, Kawai, 1996, 1997). Lyginant skirtingų raumeninių skaidulų kinetinių ir kinematinų rodiklių pokyčius sumažinus raumens temperatūrą, šie sutampa su kitų mokslininkų rezultatais, skirtumas tarp lėtųjų ir greitųjų skaidulų nėra reikšmingas (Ranatunga, Wylie, 1983; Ranatunga, 1977, 1984).

Kojų raumenų elastinė energija į temperatūros pokyčius reagavo nežymiai. Pakėlus raumens temperatūrą, elastinės energijos pokytis tiek šuoliuko pritūpiant iki 90^0 kampo, tiek šuoliuko pritūpiant iki 135^0 kampo, buvo nereikšmingas ($p > 0,05$). Sumažinus raumenų temperatūrą, abiejų tipų šuoliukų elastinės energijos sumažėjimas taip pat buvo nereikšmingas ($p > 0,05$). Elastinių komponentų esančių tarp miozino ir aktino siūlų, skersinių tiltelių indėlis sukaupiant elastinę energiją, padidėjus raumens temperatūrai, sumažėja, nes tada pagreitėja skersinių tiltelių atkibimo greitis (Asmussen et al., 1976). Žinoma, kad padidėjus raumens temperatūrai sumažėja vidinis raumens įtempimas, dėl to pablogėja elastinės energijos sukaupimas. Kai viršijamas audinio ištempimo kritinis lygis, pasibaigus ištempimui audinys nebegali grįžti į pradinį ilgį, tada ir prarandama dalis elastinės energijos (Bosco, 1999). Taigi, galima manyti, kad padidėjus temperatūrai audinys buvo per daug ištemptas ir viršijo ištempimo kritinį lygį, o pasibaigus ištempimui audinys nebegalėjo sugrįžti į pradinį ilgį, dėl to buvo prarasta dalis elastinės energijos. Todėl manome, kad dėl šildymo poveikio, kontraktiliniai raumens komponentai ir juose vykstatys biocheminiai procesai daugiau teigiamai veikia šuolio aukščio pagerėjimą. Elastinių komponentų esančių tarp miozino ir aktino siūlų skersinių tiltelių, indėlis sukaupiant elastinę energiją yra didesnis esant žemai raumens temperatūrai, nes tada sumažėja skersinių tiltelių atkibimo greitis (Asmussen et al., 1976). Tai rodo, kad esant žemai raumens temperatūrai ir dideliai raumens deformacijai raumuo geba efektyviau panaudoti elastinę energiją.

Tai pateisina tempimo ir šaldymo derinimą. Sumažėjusi raumens temperatūra padeda ilgiau išlaikyti raumens linijinę deformaciją (Lentell et al., 1992). Tai sutinka su kitų tyrėjų duomenimis, rodančiais ledo derinimo su tempimo pratimais naudą (Knight, Rutledge, Cox et al., 2001). Šiluma padidina raumens elastingumą, tai leidžia sumažinti tempimui naudojamą jėgą, tačiau aktino – miozino tilteliams sudarant silpnesnius ryšius, pagreitėjus raumens atsipalaidavimui, raumuo praranda stabilumą. Taigi, šilumos tempimo kombinacija sunkiau kontroliuojama praktikoje, atsiranda didesnė traumavimosi galimybė (Deltorage, 2002).

Interpretuoti šiuos duomenis gana sunku, nes kai tiriamas visas raumuo, nėra aišku ar temperatūra vienodai aktyvuoja visas skaidulas ir juo labiau – skersinius tiltelius. Taip pat nėra žinoma, kaip temperatūros poveikį įtakoja taiko tarpas, tarp tyrimo etapų, išmokimo faktorius,

gebėjimas mobilizuoti motorinius vienetus. Dalis duomenų neatitinka statistinių patikimumo standartų, kad jais būtų galima ką nors teigti. Greičiausiai tai lėmė maža tiriamųjų imtis bei tai, kad tiriamieji buvo skirtingų lyčių, skirtingų sporto šakų atstovai ar išvis nesportuojantys.

5. APIBENDRINIMAS

Pagrindinis šio darbo tikslas išsiaiškinti kaip pasyvus raumenų šildymas ir šaldymas paveiks raumenų kontraktilines savybes. Šaldymas labiau paveikė graičių raumenis, reikšmingai pakito beveik visi rodikliai. Šildymas raumenis paveikė ne taip žymiai. Reikšmingiausiai pakito raumens galingumo ir šuolio aukščio rodikliai. Skirtinga temperatūros įtaka raumenų galingumui iškelia hipotezę, kad temperatūra, veikdama ATP hidrolizę, gali taip pat įtakoti raumenų susitraukimo galingumą. Taip pat yra vieninga nuomonė, kad esant žemai raumens temperatūrai, sumažėja raumens susitraukimo greitis, o kadangi raumens susitraukimo galingumas yra lygus susitraukimo greičio ir jėgos sandaugai arba atliktam darbui per laiko vieneta, vadinasi padidėjusi ATP hidrolizė teigiamai veikia raumens susitraukimo greitį. Iš ankstesnių atsispyrimo jėgos ir greičio rezultatų matyti, kad jėga yra tas nestabilus rodiklis, dėl kurio nesikeitė maksimalus galingumas. (Ball, Burrows, Sargeant, 1999; Blinkhorst, Hoofd, Vissers, 1977). Manoma, kad raumens susitraukimo izometrinės jėgos ir susitraukimo galingumo (vertikalaus šuolio) sumažėjimas po šaldymo atsiranda todėl, kad sulėtėja aktino- miozino tiltelių sukibimo skaičius ir miozino tiltelių sukibimo su aktinu jėga, dėl sulėtėjusios ATP hidrolizės (Savouvery et al., 1992) ir neorganinio fosfato sumažėjimo (Coupland et al., 2001). Kita priežastis, kodėl šaltas raumuo lėčiau atsipalaiduoja, tai padidėjusi viduląstelinė Ca^{2+} koncentracija ir sulėtėjęs Ca^{2+} jonų sugrįžimas į sarkoplazminį tinklą (Hollingworth et al., 1996; Tanaka, 1997; Johnson et al., 1997; van der Heijden et al., 2000).

Lėtosios raumeninės skaidulos labiau reagavo į šilumą, nei greitosios. Lėtosios raumeninės skaidulos turi pranašumą prieš greitasias, kadangi jos stabilesnės tada, kai temperatūra yra aukštesnė, ir dėl to, kad jos veikia elementariais ciklais, kurie yra 10 – 30 kartų lėtesni nei greitųjų raumeninių skaidulų (Wang, Kawai, 1996, 1997).

Elastinė energija į temperatūros pokyčius reikšmingai nereagavo, vadinasi elastinė energija ir dėl šildymo ir dėl šaldymo kito vienodai, tai leidžia daryti prielaidą, kad kontraktiliniai raumens komponentai ir juose vykstatys biocheminiai procesai turi didesnę reikšmę šuolio aukščio pagerėjimui, ar sumažėjimui.

Taikant šiuos duomenis fizioterapinėje praktikoje, reikia įvertinti tai, kad šaltis labiau paveikė raumenis nei šiluma. Greičiausiai jis neveikia raumens spazmo, bet padeda sumažinti skausmą, o tai leidžia atlikti pratimus, mažinančius raumens spazmą. Šaldymas lėtina raumens atsipalaidavimą bei susitraukimą, aktino – miozino tiltelių sukibimą, lėtina metabolizmą, taigi, atitolina nuovargį. Pašaldyto raumens sukibusių tiltelių ryšys stipresnis, atsipalaiduojant ne visi tilteliai spėja atsikabinti, reikalingos mažesnės energetinės sanaudos. Šaldymas neveikia pusiausvyros jautumo, taigi nepadidina rizikos susižeisti.

Šiluma padidina raumens elastingumą, tai leidžia sumažinti tempimui naudojamą jėgą, tačiau aktino – miozino tilteliams sudarant silpnesnius ryšius raumuo praranda stabilumą. Taigi, šilumos ir tempimo kombinacija sunkiau kontroliuojama praktikoje, atsiranda didesnė traumavimosi galimybė (Deltorage, 2002). Šiluma veikia raumens spazmą, pagreitindama raumens atsiplaidavimą, tačiau netinka taikyti ūmių pažeidimų atvejais, taigi, ji labiau tiktų miofascialiniam raumenų skausmui gydyti.

IŠVADOS

1. Griaučių raumenų kontraktilinės savybės, atliekant ekscentrinius - koncentrinius pratimus, pakėlus raumens temperatūrą pakito nevienodai. Reikšmingai padidėjo raumens susitraukimo galingumas, raumens susitraukimo jėga nepakito. Tai priklausė nuo imties pasirinkimo kriterijų, analizuojamų imties parametrų ir registruojamos savybės.
2. Sumažinus raumens temperatūrą griaučių raumenų kontraktilinės savybės (susitraukimo jėga, greitis, galingumas), atliekant ekscentrinius - koncentrinius pratimus, reikšmingai sumažėjo.
3. Taikant pasyvų šildymą, į temperatūros pokyčius labiau reagavo lėtosios raumeninės skaidulos: atliekant ekscentrinius – koncentrinius pratimus reikšmingai padidėjo raumens susitraukimo galingumas. Sumažinus raumens temperatūrą ir lėtųjų ir greitųjų raumeninių skaidulų susitraukimo savybės, atliekant ekscentrinius – koncentrinius pratimus, kito vienodai: reikšmingai sumažėjo susitraukimo greitis, galingumas.
4. Pakėlus ar sumažinus raumens temperatūrą raumens elastinės energijos panaudojimas, atliekant ekscentrinius – koncentrinius pratimus, nepakito.
5. Taikant fizioterapines priemones – šildymą ir šaldymą – reikia atsižvelgti į raumens kontraktilinių savybių priklausomybę nuo temperatūros.

LITERATŪRA

1. Asmussen, E., Boje, O. (1945). Body temperature and capacity for work. *Acta Physiologica Scandinavica*, 10, 1-22.
2. Asmussen, E., Bonde-Petersen, F., Jorgensen, K. (1976). Mechano – elastic properties of human muscles at different temperatures. *Acta Physiol Scand*, 96 (1), 83-93.
3. Astrand, P.O., Rodahl, K. (1986). *Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise*. McGraw – Hill.
4. Ball, D., Burrows, C., Sargeant, A.J. (1999). Human power output during repeated sprint cycle exercise: the influence of thermal stress. *Eur J Appl Physiol*, 79:360-366.
5. Bennet, A. (1984). Thermal dependence of muscle function. *Am J Physiol*, 247; R217 – R229.
6. Berg, U., Ekblom, B. (1979). Influence of muscle temperature on maximal muscle strength and power output in human skeletal muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 107, 33-37.
7. Binkhorst, R.A., Hoofd, L., Vissers, A.C.A. (1977). Temperature and force-velocity relationship of human muscle. *J Appl Physiol*, 42, 471-475.
8. Bishop, D. (2003). Potential mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. *Warm up I*, 33 (6), 439 – 454.
9. Blomstrand, E., Bergh, U., Essen-gustavsson, B., Ekblom, B. (1984). Influence of low muscle temperature on muscle metabolism during intense dynamic exercise. *Acta Physiol Scand*, 120, 229 – 236.
10. Booth, J., Wilsmore, B.R., Macdonald, A.D., Zeyl, A., Acghee, S., et al. (2001). Whole – body pre – cooling does not alter human muscle metabolism during sub – maximal exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol*, 84, 587 – 590.
11. Bosco, C. (1999). *Strenght assessment with the Bosco's test*. Roma.
12. Bosco, C., Tihanyi, J., Komi, P.V., Fekete, G., Apor, P. (1982). Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscles. *Acta Physiol Scand*, 116(4), 343-9.
13. Bosco, C., Komi, P.V., Tihanyi, J., Fekete, G., Apor, P. (1983a). Mechanical power test and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol*, 51(1), 129 – 135.
14. Bosco, C., Luhtanen, P., Komi, P.V. (1983b). A simple method for measurment of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol*, 50(2), 273 – 282.
15. Bosco, C., Rsko, H. (1983c). The effect of prolonged skeletal muscle stretch- shortening cycle on recoil of elastic energy and on energy expenditure. *Acta Physiol Scand*, 119(3), 219 – 224.
16. Bosco, C., Zanon, S., Rusco, H., Dal Monte, A., Bellotti, P., et al. (1984). The influence of extra load on the mechanical behavior of skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol*, 5(2), 149 – 154.

17. Bosco, C., Tihanyi, J., Latteri, F., Fekete, G., Apor, P., Rusco, H. (1986). The effect of fatigue on store and re-use elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*, 128(1), 109 – 117.
18. Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M. A., Reggiani, C. (1996). Force – velocity properties of human skeletal muscle fibres: myosin heavy chain isoform and temperature dependence. *J Physiol (London)*, 7, 495-573.
19. Brenner, B. (1988). Effect of Ca on cross-bridge turnover kinetics in skinned single psoas fibers: implication of muscle contraction. *Proc Nat Acad USA*, Vol.85, 3542-3546.
20. Brodowicz, G.R., Welsh, R., Wallis, J. (1996). Comparison of stretching with ice, stretching with heat, or stretching alone on hamstring flexibility. *Journal of Athletic Training*, 31:324 – 27.
21. Brosseau, L., Yonge, K.A., Robinson, V., Marchand, S., Judd, M., et al. (2003). Thermotherapy for treatment of osteoarthritis. *Cochrane Database Syst Rev*, (4): CD004522.
22. Cecci, G. Lombardi, V., Menchette, G. (1984). Development of force-velocity relation and rise of isometric tetanic tension measure the time course of different processes. *Pflugers Arch*, Vol.401, 396-401.
23. Coupland, M.E., Puchert, E., Ranatunga, K.W. (2001). Temperature dependence of active tension in mamalian (rabbit psoas) muscle fibers: effect of inorganic phosphate. *J Physiol Nov*, 1; 536 (Pt 3): 879-91.
24. Craig, R. (2000). *Therapeutic Modalities for Athletic Injuries*. Human Kinetics.
25. Cross, K.M., Wilson, R.W., Perrin, D.H. (1995). Functional performance following ice immersion to the lower extremity. *J Athl Train*, 31:231 – 234.
26. Davies, C.T.M., Young, K. (1985). Effect of heating on the contractile properties of triceps surae and maximal power output during jumping in elderly men. *Gerontology*, 31(1), 1-5.
27. Davies, C.T.M., Young, K. (1983). Effects of temperature on the contractile properties and muscle power of triceps surae in humans. *J Appl Physiol*, Vol.55, 191-195.
28. Deltorage, G. (2002). *Musculoskeletal Trauma: Implications for Sports Injury Management*. Human Kinetics.
29. Desmadt, J. (1981). The size principle of motoneuron recruitment in ballistic or ramp voluntary contraction in man. *Progress in Clin. Neurophysiol* (pp. 145-148). Karger.
30. Ducharme, M.B., Van Helder, W.P., Radomski, M.W. (1991). Cyclic intramuscular temperature fluctuations in the human forearm during cold-water immersion. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 63(3 – 4): 193 – 198.
31. Duffield M.H. (1976). *Exercise in water*. 23-27.
32. Enoka, R.M. (1994). Neuromechanical basis of kinesiology. *Champaign, IL: Humal Kinetics*, Vol.56, 273-283.

33. Eston, R., Peters, D. (1999). Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise – induced muscle damage. *Journal of Sports Sciences*, 17, 231-238.
34. Evans, T.A., Ingersoll, C., Knight, K.L., Worrell, T.W. (1996). Agility following the application of cold therapy. *J Athl Train*, 31:S – 53.
35. Faulkner, J.A., Zerba, E., Brooks S.V. (1990). Muscle temperature of mammals: cooling impairs most functional properties. *Am J Physiol*, Aug; 259(2 Pt 2):R259-65.
36. Febbraio, M.A., Snow, R.J., Hargreaves, M., Stathis, C. G., Martin, I.K., Carey, M.F. (1994). Muscle metabolism during exercise and the heat stress in trained men: effect of acclimation. *J Appl Physiol*, 76, 589 – 597.
37. Ferretti, G., Ishii, M., Moia, C., Cerretelli, P. (1992). Effects of temperature on the maximal instantaneous muscle power of humans. *Eur J Appl Physiol*, 64(2), 112-6.
38. Ferretti, G. (1992). Cold and muscle performance. *Int J Sports Med*, Oct;13.Suppl.1:S, 185-7.
39. Fitts, R.H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiol Rev*, Vol.7(N.1), 49-95.
40. Fitts, R.H., McDonald, K.S., Schuler, J.M. (1991). The determinants of skeletal muscle force and power: their adaptability with changes in activity pattern. *J Biomechanics*, Vol.24;Suppl.1., 111-122.
41. Funk, D., Swank, A.M., Adams, K.J., Treolo, D. (2001). Efficacy of moist heat pack application over static stretching on hamstring flexibility., *J Strength Cond Res*, Feb.15 (1), 123 – 6.
42. Garrett, W. E. (1990). Muscle strain injuries: Clinical and basic aspects. *Med Science Sports Exerc*, 22, 436-443.
43. Goldspink, G. (1992). Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. Oxford, 211 – 230.
44. Gosses, E.R., Allingham, K., Sale, D.G. (2001). Effect of temperature on post-tetanic potentiation in Human dorsiflexor muscles. *Can J Physiol Pharmacol*, Jan; 79(1): 49-58.
45. Greicar, M., Kendrick, Z., Kimura, I., Sitler, M. (1996). Immediate and delayed effects of cryotherapy on functional power and agility. *J Athl Train*, 31: S – 33.
46. Haiech, I., Derancourt, I., Pechere, 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, 2752-2758.
47. Hakkinen, K. (1994). Neuromuscular adaptation during strength training, aging, detraining and immobilization. *Critical Review in Physical and Rehabilitation Medicine*, 6(3), 161 – 198.
48. van der Heijden, E.P., Kroese, A.B., Werker, P.M. (2000). Improving the preservation of isolated rat skeletal muscles stored for 16 hours at 4 degrees C. *Transplantation*, Apr; 15;69(7):1310 – 22.

49. Hollingworth, S., Zhao, M., Bayl, S.M. (1996). The amplitude and time course of the myoplasmic free (Ca^{2+}) transient in fast – twitch fibers of mouse muscle. *J Gen Physiol*, Nov; 108(5):455 – 469.
50. Hopper, D., Whittington D., Davies, J. (1997). Does ice immersion influence ankle joint position sense? *Physiother Res Int*, 2(4): 223-36.
51. Hou, T.T., Johnson, J.D., Rall, J.A. (1992). Effect of temperature on relaxation rate and Ca, Mg dissociation rates from parvalbumin of frog muscle. *J Physiol (Lond)*, Apr; 449, 399-410.
52. Ichihara, Y. (1998). Effect of temperature on Ca induced Ca release (CICR) rate. *Masui*, Mar; 47(3), 281-5.
53. Jaworowski, A., Arner A. (1998). Temperature sensitivity of force and shortening velocity in maximally activated skinned smooth muscle. *J Muscle Res Cell Motil*, Apr; 19(3):247 – 55.
54. Johnson, J.D., Jiang, Y., Flynn, M. (1997). Modulation of Ca^{2+} transients and tension by intracellular EGTA in intact frog muscle fibers. *Am J Physiol*, May; 272(5 Pt 1):C1437 – 1444.
55. Kirkendall, D.T., Garrett, W.E. (2002). Clinical perspectives regarding eccentric muscle injury. *J Physiol (London)*, 2, S81-89.
56. Knight, K.L., Londeree, B.R. (1980). Comparison of blood flow in the ankle of uninjured subjects during therapeutic applications of heat, cold and exercise. *Med Sci Sports Exerc*, Spring; 12(1): 76-80.
57. Knight, C.A., Rutledge, C.R., Cox, M.E., Acosta, M., Hall, S.J. (2001). Effect of superficial heat, deep heat, and active exercise warm-up on the extensibility of plantar flexors. *Phys Ther*, Jun; 81(6):1206-14.
58. Koga, S., Tomoyuki, S., Narihiko, K., Barstow, T.J. (1997). Effect of increased muscle temperature on oxygen uptake kinetics during exercise. *J Appl Physiol*, 83(4), 1333-1338.
59. Komi, P.V. (1992). Stretch-shortening cycle. In: Komi P.V. (Ed) *Strength and power in sports* (pp. 169-179). Blackwell: Oxford.
60. Komi, P.V., Bosco, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science in Sports*, Vol. 10, 4, 261 – 265.
61. Kossler, F., Kuchler, G. (1987). Contractile properties of fast and slow twitch muscles of the rat at temperatures between 6 and 42°C. *Biomedica Biochimica Acta*, 46, 815 – 822.
62. Lentell, G., Hetherington, T., Eagan, J., Morgan, M. (1992). The use of thermal agents to influence the effectiveness of a low – load prolonged stretch. *Journal of Sports Physical Therapy*, 16:200 – 207.
63. Low, J., Reed, A. (2000). Electrotherapy explained principles and practice. In Heat and Cold. Oxford. Auckland, Boston, Johannesburg, Melbourne, New Delhi, 212-254.

64. Meeusen, R., Lievens, I. (1986). The use of cryotherapy in sports injuries. *Sports Medicine*, 3;398 – 414.
65. Nomura, T., Kawano, F., Kang, M.S. (2002). Effects of long-term cold exposure on contractile muscles of rats. *Jpn J Physiol*, Feb; 52(1):85-93.
66. Noonan, T.J., Best, T.M., Seaber, A.V., Garrett, W.E. (1993). Thermal effects on skeletal muscle tensile behavior. *Am J Sports Med*, 21 (4), 517 – 522.
67. Oksa, J., Rintamaki, H., Mäkinen, T., Marikkala, V., Rusko H. (1996). EMG activity and muscular performance of lower leg during stretch-shortening cycle after cooling. *Acta Physiol Scand*, May; 157(1):1-8.
68. Paddon-Jones, D.J., Quigley, B.M. (1997). Effect of cryotherapy on muscle soreness and strength following eccentric exercise. *Int J Sports Med*, Nov; 18(8):588-93.
69. Pette, D. (1986). Regulation of phenotype expression in skeletal muscle fibers by increased contractile activity. In. *Biochemistry of Exercise VI* (pp. 3-27). Champaign, IL.
70. Pollack, G.H. (1990). *Muscles and molecules: Uncovering the principles of biological motion*. Seattle: Ebner and Sons.
71. Prentice, W.E. (1982). An electromyographic analysis of the effectiveness of heat or cold and stretching for inducing relaxation in injured muscle. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 3:133 – 40.
72. Rall, J.A. (1982). Energetics of Ca cycling during skeletal muscle contraction. *Fed Proc*, Vol.41, 155-160.
73. Rall, J.A., Woledge, R.C. (1990). Influence of temperature on mechanics and energetics of muscle contractions of rat muscles. *J Physiol*, 339, 87 – 95.
74. Ranatunga, K.W. (1982). Temperature – dependence of shortening velocity and rate of isometric tension development in rat skeletal muscle. *J Physiol*, 329, 465 – 483.
75. Ranatunga, K.W., Wylie S.R. (1983). Temperature – dependent transitions in isometric contractions of rat muscle. *J Physiol*, Jun; 339:87-95.
76. Ranatunga, K.W. (1977). Changes produced by chronic denervation in the temperature – dependent isometric contractile characteristics of rat fast and slow twitch skeletal muscles. *J Physiol*, Dec; 273(1):255-62.
77. Ranatunga, K.W. (1984). The force-velocity relation of rat fast- and slow-twitch muscles examined at different temperatures. *J Physiol*, Jun; 351:517 – 29.
78. Ranatunga, K.W., Wylie S.R. (1984). Temperature effects on mammalian muscle contraction. *Biomed Biochim Acta*, 48 (5 – 6):3530-5.
79. Ranatunga, K.W. (1990). Temperature dependence of mechanical power output in mammalian (rat) skeletal muscle. *Exp Physiol* Aug, 259(2 PT 2): R197-203 37.

80. Ranatunga, K.W., Sharpe, B. & Turnbull, B. (1987). Contractions of a human skeletal muscle at different temperatures. *Journal of Physiology (London)*, 390, 383-395.
81. Ranatunga, K.W. (1998). Temperature dependence of mechanical power output in mammalian (rat) skeletal muscle. *Exp Physiol May*, 83(3): 371-6.
82. Ranatunga, K.W., Wylie, S.R. (1989). Temperature effects on mammalian muscle contraction. *Biomed Biochim Acta*, 48 (5-6): S530-5.
83. Ratkevičius, A., Skurvydas, A., Lexell, J. (1995). Submaximal exercise induced impairment of human muscle to develop and maintain force at low frequencies of electrical stimulation. *Eur J Appl Physiol*, Vol.70, 294-300.
84. Rios, E., Pizzaro, G. (1991). The voltage sensor of excitation-contraction coupling in skeletal muscle. *J Physiol (London)*, Vol.71, 849-908.
85. Robertson, S.P., Johnson, J.P., Potter, J. (1981). The time-course of Ca exchange with calmodulin, troponin, parvalbumin and myosin in response to transient increases in Ca. *Biophys J*, Vol.34, 559-569.
86. de Ruiter, C.J., de Haan, A. (2001). Similar effect on cooling and fatigue on eccentric and concentric force – velocity relationships in human muscle. *Appl J Physiol*, June, 90 (6): 2109 – 2116.
87. Sale, D.G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Med and Sci In Sp and Exe*, Vol 20; p.135-145.
88. Saltin, B., Gagge, A.P., Bergh, U., Stolwijk, J.A. (1972). Body temperatures and sweating during exhaustive exercise. *Journal Appl Physiol*, 32, 635-643.
89. Sargeant, A.J. (1987). Effect of muscle temperature on leg extension force and short-term power output in humans. *Eur J Appl Physiol*, 56, 693-698.
90. Schmidt, R.A. (1988). *Motor control and motor learning*. Champaign, IL: Human Kinetics.
91. Schmidtbleicher, D., Gollhofer, A., Frick, U. (1987). Auswirkungen eines Tiefsprungtrainings auf die Leistungsfähigkeit und das Inertionsverhalten der Beinstreckmuskulatur. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 38 (9), 389 – 394.
92. Shellock, F.G., Prentice, W.E. (1985). Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports – related injuries. *Sports Medicine*, 2, 267-278.
93. Shuler, D.E., Ingersoll, C., Knight, K.L., Kuhlman, J.S. (1996). Local cold application to the foot and ankle lower leg, or both effects on a cutting drill. *J Athl Train*, 31: S – 35.
94. Skurvydas, A., Mamkus, G. (1990). *Sportininkų perspektyvumo nustatymas remiantis raumenų kompozicija*. Vilnius.
95. Skurvydas, A., Kondratavičius, E., Bružas, V. (1999). Temperatūros įtaka raumenų susitraukimo ir atsipalaidavimo savybėms. *Visuomenės sveikata*, 2(8), 31-35.

96. Skurvydas, A., Stasiulis, A., Vilčinskas, P. (1988). *Šoklumo fiziologiniai pagrindai*. Vilnius: Sporto metodikos kabinetas.
97. Skurvydas, A., Mačiukas, A., Mamkus, G., Pavilionis, E. (1995). Krepšininkų raumenų sisitraukimų rodiklių kitimas dėl maksimalaus intensyvumo krūvio. *Kūno kultūra*, T.27., p53-59.
98. Stricler, T., Malone, T., Garret, W.E. (1990). The effects of passive warming on muscle injury. *Am J Sports Med*, 18 (2), 141 – 145.
99. Taylor, B.F., Waring, C.A., Brashear, T.A. (1995). The effects of therapeutic application of heat or cold followed by static strech on hamstring muscle length. *J Orthop Sports Phys Ther*, May; 21(5): 283-6.
100. Tanaka E. (1997). Ca^{2+} release induced by rapid cooling and catteine in ferret ventricular muscles. *Jpn J Physiol*, Jun; 47(3):263 – 272.
101. Tiidus, P.M.J. (1997). Manual message and recovery of muscle function folowing exercise; a literature rewiew. *J Orthpo Sports Phys Ther*, 25(2): 107 – 102.
102. Vain, A. (1985). Influence of stifness and damping on muscular performance. *Biomechanics: Current interdisciplinary research. Selekted proceedings of the fourth meeting of the Europien Society of Biomechanics* (pp. 639-641). Dordrecht.
103. Wang, G., Kawai, M. (2001). Effect of temperature on elementary steps of the cross-bridge cycle in rabbit soleus slow-twitch muscle fibres. *J Physiol*, Feb.15;531(Pt 1), 219-34.
104. Wang, K., Kawai, M. (1996). Effects of temperature on elementary steps of the cross – bridge cycle in rabbit soleus slow – twitch muscle fibres. *J Physiol*, 531 (1), 219 – 234.
105. Wang, K., Kawai, M. (1997). Force generation and phospate release steps in skinned rabbit soleus slow – twich muscle fibers. *Biophysical Journal*, 73, 878 – 894.
106. Wang, K., McClure, J., Tu, A. (1979). Titin: Major myofibrilliar components of striated muscle. *Proc Nat Acad Of Sci USA*, Vol.76(8), 3698-3702.
107. Waterman-Storer, C.M. (1991). The cytoskeleton of skeletal muscle: is affected by exercise? A brief review. *Med Sci Sp Eex*, Vol.23, 1240-1249.
108. Westerblad, H., Lee, J.A., Lannergren, J., Allen, D.G. (1991). Cellular mechanizmus of fatigue in skeletal muscle. *Am J Physiol(Cell Physiol.30)*, Vol.261, 195-209.
109. Viitasalo, J.T., Bosco, C. (1982). Electromechanical behavior of human muscles in vertical jumps. *Eur J Appl Physiol*, 48, 253 – 261.
110. Winters, J.M., Woo, S.L.Y. (1990). *Multiple muscle systems: Biomechanics and organization movement*. NewYork: Springer Verlag.
111. Wright, V., Johns, R.J. (1961). Quantative and qualitative analysis of joint stiffnes in normal subjects and in patients with connective tissue diseases. *Ann Rheum Dis*, 20, 36 – 46.

112. Яковлев, Н.Н. (1974). *Биохимия спорта*. Москва.
113. Яшчанинас, И.И. (1983). Электрическая активность скелетных мышц, свойства двигательных единиц у различного возраста и их изменения под влиянием спортивной тренировки: автореф. дисс.докт.биол.наук.
114. Гурфинкель, В.С., Левин, Ю.С. (1985). *Скелетная мышца: структура и функция*. Наука, Москва.
115. Верхошанский, Ю. В. (1985). *Основы специальной силовой подготовки в спорте* (pp. 101 – 102). Физкультура и спорт, Москва.
116. Виру, А.А., Курге, Р.К. (1983). *Гормоны и спортивная работаспособность*. Физкультура и спорт, Москва.
117. Саплинскас, Ю.С. (1985). Физиологические жарактеристики двигательных единиц человека: автореф. дисс.докт.биол.наук.