

TARTU ÜLIKOOL
Kehakultuuriteaduskond
Spordibioloogia ja füsioteraapia instituut

MADLI TOOTS

**SKELETILIHASTE KONTRAKTIILSED
OMADUSED 9-10-AASTASTEL JA 16-
AASTASTEL TÜDRUKUTEL**

Magistri töö
liikumis- ja sporditeaduste erialal
(kinesioloogia ja biomehaanika)

Juhendaja: professor, biol. knd. M. Pääsuke

Tartu 2005

SISUKORD

VÄITEKIRJA MATERJALIDE PÕHJAL AVALDATUD

PUBLIKATSIOONID	3
TÖÖS KASUTATUD LÜHENDID	4
SISSEJUHATUS	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	6
1.1. Laste motoorne areng	6
1.2. Laste närvi-lihasaparaadi areng	10
1.3. Skeetilihaste jõu ja kontraktiilsete omaduste iseärasused lastel	12
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED	16
3. TÖÖ METOODIKA	17
3.1. Vaatlusalused	17
3.2. Uurimismeetodid	18
3.2.1. Antropomeetrilised mõõtmised	18
3.2.2. Sääre kolmpealihase tahtelise isomeetrilise jõu määramine	18
3.2.3. Sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni näitajate määramine	19
3.3. Uuringu korraldus	23
3.4. Andmete statistiline töötlus	23
4. TÖÖ TULEMUSED	24
4.1. Sääre kolmpealihase tahteline isomeetiline jõud	24
4.2. Sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni näitajad	24
6. JÄRELDUSED	39
KASUTATUD KIRJANDUS	40
SUMMARY	47
LISAD	48

VÄITEKIRJA MATERJALIDE PÕHJAL AVALDATUD PUBLIKATSIOONID

Artiklid:

1. Pääsuke M., Ereline J., Gapeyeva H., **Toots M.**, Toots L. Comparison of twitch contractile properties of plantaflexor muscles in 9-10-year-old girls and boys. *Pediatric Exercise Science* 2003, 15: 324-332
2. **Toots M.**, Ereline J., Gapeyeva H., Pääsuke M. Skeletilihaste kontraktiilsed omadused 9-10-aastastel lastel. *Kehakultuuriteaduskonna teadus- ja õppemetoodiliste tööde kogumik XI*. Tartu, 2003, lk 290-300

Teesid:

1. **Toots M.** Skeletilihaste jõu ja kontraktiilsete omaduste ning sensomotoorse reaktsiooni soolised iseärasused 9-10-aastastel lastel. *Kehakultuuriteaduskonna V üliõpilaste teadusliku konverentsi teesid*. Tartu, 2003, lk 27
2. **Toots M.** Lihaste kontraktiilsete omaduste soolised iseärasused 9-10-aastastel lastel. *Kehakultuuriteaduskonna IV üliõpilaste teadusliku konverentsi teesid*. Tartu, 2002, lk 27

TÖÖS KASUTATUD LÜHENDID

KMI	=	kehamassi indeks
Fmax	=	tahteline isomeetiline maksimaaljõud
Fmax/KM	=	suhteline jõud e. tahtelise maksimaaljõu ja kehamassi suhe
PT	=	elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni maksimaaljõud
CT	=	kontraktsioonifaasi kestus
$\frac{1}{2}RT$	=	poole lõõgastuse aeg
dF/dt	=	maksimaalne jõugradient kontraktsioonifaasis
-dF/dt	=	maksimaalne jõugradient lõõgastusfaasis
PAP	=	potenseerumise indeks
PT/Fmax	=	elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ja tahtelise maksimaaljõu suhe
PT/KM	=	elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ja kehamassi suhe

SISSEJUHATUS

Lapsepõlv on liikumise seisukohalt aktiivseim aeg inimese elus. Lapse igapäevane elu koosneb söögi- ja uneaegu arvestamata peaaegu pidevalt liikumisest.

Lapse organismile on iseloomulik intensiivne kasvamine ja arenemine ning erinevate liigutusvilumuste ja oskuste omandamine. Lapse puhul kasutatav mõiste “kasvama” on mitmetahuline. Kasvamine on pidev muutumine, diferentseerumine, uuenemine, täiustumine, täiskasvanuks küpsemine.

Põhiliste kehaliste võimete areng on lahutamatult seotud kasvava organismi talitlust mõjutavate bioloogiliste ja keskkonnapoolsete teguritega. Kirjanduses leidub küllaldaselt andmeid laste lihasjõu ning liigutusvilumuste ja neid mõjutavate tegurite, samuti laste motoorika arengu üldiste seaduspärasuste kohta. Puudulikult on uuritud lihaste kontraktiilseid omadusi lastel, mida määratakse elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksik- või tetaanilise kontraktsiooni tingimustes.

Ülaltoodud arvestades käsitleb käesolev uurimistöo lihaste kontraktiilsete omaduste iseärasusi 9-10-a. ja 16-a. tüdrukutel, so. vahetult enne ja pärast puberteediiga. Seejuures uurimisobjektiks valiti sääre kolmpealihas, mis kannab olulist koormust inimese kehahoiu ja liigutustegevuse funktsiooni täitmisel. Antud lihasrühma kontraktiilseid omadusi uuriti supramaksimaalse indirektsel elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni tingimustes nii puhkeolekus kui ka peale lühiajalist maksimaalset tahtelist pingutust. Selliselt määratud lihaskontraktsiooni tingimustes on võimalik hinnata lihaste aktiivsuse järkjärgset potenseerumist, mida pre- ja postpuberteediealistel tüdrukutel on vähe uuritud.

Käesoleva töö tulemused võivad pakkuda huvi laste motoorset arengut uurivatele teadlastele, samuti lastega tegelevatele treeneritele ja kehalise kasvatusõpetajatele.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Laste motoorne areng

Inimorganismi kasvamine, bioloogiline küpsemine ja arenemine põhineb bioloogilistel muutustel peamiselt kahe esimese eludekaadi jooksul (Haywood 1993). Kasvamise ja bioloogilise küpsemise protsessid on omavahel tihedalt seotud ning mõjutavad kehalist sooritusvõimet. Nii on sugulise küpsuse saavutamine seotud organismi paljunemisvõime tekkimisega murdeas toimuvate muutuste tulemusena ning skeleti küpsemine põhineb luustumisel, kuni on saavutatud täiskasvanu skeleti omane seisund (Raudsepp, Viru 1996, Frost 1996, Dib jt. 2005).

Iga organism areneb individuaalselt ja sel on teatud iseärasused. Kehaline areng on organismi morfoloogiliste ja funktsionaalsete muutuste seaduspärane protsess, mis on tihedalt seotud vanuse ja sooga, tervisliku seisundiga, pärilike tunnustega, elutingimustega. Morfoloogilistest tunnustest, mis iseloomustavad kehalist arengut, on peamised keha ja jäsemete pikkused, keha mass ja keha koostis (Haywood 1993, Malina jt. 2004).

Teataval ajaperioodil kiirenevad kasvu, küpsuse saavutamise ja arenemise aluseks olevad muutused. Nende perioodide vältel käivituvad geneetilise programmi kohaselt uued ontogeneetilised sündmused kasvavas, arenevas ja küpsevas organismis. Sellel ajal on kõige hõlpsam mõjutada kasvu-, küpsemise- ja arenguprotsesse ning laps on kõige vastuvõtlikum konkreetsete vilumuste omandamiseks (Raudsepp, Viru 1996).

Lapse organismile on iseloomulik intensiivne kasvamine ja arenemine, mida iseloomustab teatud perioodilisus, seega alates sünnist jaotatakse lapsega järgmisteks vanuseastmeteks (Malina, Bouchard 1991, Whipple 1996, Kallas jt. 1999):

- 1) imikuiga, mis kestab sünnist kuni esimese eluaasta lõpuni ja milles eraldatakse alajaotusena veel vastündinuiga (esimesed neli elunädalat);
- 2) väikelapseiga (2-3-aastane laps);
- 3) eelkooliiga (4-6-aastane laps);

4) kooliiga (7-18-aastane laps), mis jaguneb omakorda nooremaks koolieaks e. prepuberteedieaks (7-10-aastane laps), keskmiseks koolieaks e. puberteedieaks (11-15-aastane laps) ja vanemaks koolieaks e. postpuberteedieaks (16-18-aastane laps).

Imiku ja väikelapseiga iseloomustab kõikide kehaosade ning samuti kesknärvisüsteemi kiire arenemine. Lapseeas toimub keha mõõtmete stabiilne suurenemine ja ühtlane bioloogiline küpsemine ning kehaliste võimete kiire areng. Noorukiiga iseloomustab enamiku organsüsteemide morfo-funktsionaalne väljaarenemine, kusjuures suurimad arengulised muutused toimuvad murdeea jooksul (Raudsepp, Viru 1996, Malina jt. 2004).

Laste kehaline areng on ehituslike ja talituslike muutuste keerukas kogum, mille käigus muutuvad keha mõõtmed, proportsioonid ning funktsioonid. Keha kasv, kaal ja keha proportsioonid ning koostis mõjutavad oluliselt kehaliste võimete arengut ning liigutusvilumuste kujunemist. Kehalist arengut saab hinnata antropomeetriliste mõõtmiste ning vastavate tabelite abil (Lausvee 1991, Docherty 1996). Keha kasvutempos esineb perioodilisi aeglustumisi ja kiirenemisi. Nii kasv kui kaal suurenevad lapse ja noorukiea jooksul neljafaasilise kasvumudeli alusel: kiire kasv imiku- ja varases lapseeas, ühtlane juurdekasv nooremas koolieas, kiire suurenemine murdeeas toimuva kasvuspurdi ajal ning aeglane suurenemine noorukiea teisel poolel (Raudsepp, Viru 1996, Malina jt. 2004). Tüdrukutele ja poistele on iseloomulik sarnane kasvumudel. Soolised erinevused enne puberteediiga on püsivad, kuid mitte eriti ulatuslikud, kusjuures minimaalne kehapikkuse juurdekasv on tüdrukutel vanuses 7-8 aastat ja poistel 8-9 aastat. Kuni 10. eluaastani on tüdrukud poistest mõnevõrra lühemad, seejärel aga edestavad nad poisse kolme aasta vältel kasvu poolest. Pärast kiiret kasvumist esimestel eluaastatel lisab nooremas koolieas iga aasta vaid 3-5 cm pikkust juurde (Loko jt. 2000). Puberteedi perioodil suureneb poistel märgatavalt lihassmass ja lihasjõud, samas keha rasvamass on neil võrreldes tüdrukutega väiksem (Beunen, Malina 1988, Malina, Bouchard 1991).

Kehalises arengus ja mootorsetes võimetes on pöördeliseks perioodiks puberteediiga, mil organism saavutab sugulise küpsuse. Puberteedi ajal ilmnevaks iseloomulikuks muutuseks somaatilises arengus on hüppeline juurdekasv keha pikkuses ehk kasvuspurt, mis põhjustab teatud perioodil ebaproportsionaalsuse

kehaliste võimete ja keha mõõtmete vahel Puberteedieas mõjub jäsemete kiire kasv ja arenev lihassmass ebasoodsalt liigutuskoodinatsioonile, sest uute biomehaaniliste suhete tingimustes vajavad liigutused korrigeerimist (Numminen, Välimäki 1998, Maiste jt. 2001). Kasvuspurdi alguses esineb kiire alajäsemete kasv, seejärel on intensiivsem kasv pikkusesse ja hiljem nähtub suurem lihassmassi juurdekasv. Kasvuspurdi ajal arenevad tüdrukutel puusad laiemaks. Poisid on sel ajal kõhnemad, neil on suurem lihassmass, laiemad õlad ja kitsamad puusad võrreldes tüdrukutega (Parizkova 1984, Malina, Bouchard 1991, Gallahue, Ozmun 1998).

Kehamass on väga muutuv näitaja. Analoogselt keha pikkusega, suureneb kehamass lastel ebaühtlaselt. Kehamassi suuremad juurdekasvud on tüdrukutel 4-5-a. ning 10-11-a., poistel aga 4-5-a. ning 12-15-a. (Numminen, Välimäki 1998). Kehamassi suurenemise tempo langeb suures osas kokku keha pikkuse suurene misega, kuna need kaks näitajat on tihedasti omavahel seotud (Raudsepp, Viru 1996, Malina jt. 2004).

Puberteedieelsel perioodil on luustiku arenemine seotud eelkõige kehamõõtmete muutustega kasvuprotsessis, kuid kasvu näitajatel on suhteliselt väike mõju tugevatele arengumuutustele, mis ilmnevad hilisemas puberteedieas (Rowland 1996).

Vanusega muutub ka lihassmass, selle suhteline suurus, samuti lihaste struktuur. Kaheksa-aastaselt lapsel moodustab lihassmass umbes 27%, 12-a. aga 29% kehamassist. Koos lihassmassi suurenemisega muutub ka lihaskiudude läbimõõt. Lihaskonna tugevnemine, eriti väiksemate lihaste areng, loovad eeldused täpsemate ning omavahel koordineeritud liigutuste sooritamiseks (Lausvee 1990, Kanehisa jt. 1994, Wilmore, Costill 1994).

Motoorika areng on kasvamise, küpsemise, bioloogilise ja käitumusliku arengu tulemusel toimuv protsess motoorses tegevuses (Docherty 1996). Meelte arene mine algab juba beebieas, selle põhjal areneb järk-järgult tähelepanuvõime ja eesmärgistatud mootorika ning lõpuks kindla suunitlusega õppimine (Numminen, Välimäki 1998).

Noorem kooliiga kestab 11.-12. eluaastani, s.o. sugulise küpsemise perioodi alguseni, millal intensiivistub sisenõrenäärmete tegevus. Sellel perioodil lõpeb

närvisüsteemi areng. Ajukoor saavutab lõplikult juhtpositsiooni kesknärvisüsteemis ja siitpeale käitub laps teadlikult (Malina jt. 2004).

Lapse mootorika arengus eristatakse erinevaid staadiume, mille alusel on indiviidi erinevate mootorsete võimete arengulistel muutustel suhteliselt kindlaksmääratud järgnevus ning kvalitatiivsed muutused ajas (Robertson 1980, Malina 1986).

Lapse mootorika arengu varasematel etappidel avaldavad organismi arengule suuremat mõju geneetilised faktorid, hilisematel arenguetappidel suureneb aga keskkonnafaktorite tähtsus (Cratty 1986, Malina, Bouchard 1991). Geneetilised faktorid on seotud organismi struktuuride bioloogilise arenemise ja küpsemisega. Keskkonnafaktoriteks lapse mootorika arengus on õpetamine, sotsiaalne keskkond, perekonna sotsiaalmajanduslik olukord, samuti tingimused aktiivseks mängimiseks (Parizkova 1984, Nelson jt. 1986, Praagh 1998).

Põhiliigutusvilumuste väljakujunemine on lapse kogu motoorses arengus väga oluliseks etapiks. Sellel ajal tekkinud koordinatsioonivormid ja närvisüsteemid on püsivad, säilides kogu hilisema elu jooksul (Raudsepp, Viru 1996). Põhiliigutusvilumuste kujunemine on pidev protsess, mida iseloomustab laiaulatuslik individuaalne varieerivus. Põhiliigutusvilumuste üldine struktuur kujuneb välja 5.-7. eluaastaks, kuigi liigutustegevuste biomehaaniline struktuur täiustub kogu kooliea jooksul (Malina, Bouchard 1991). Haubenstricker ja Seefeldt (1986) märgivad, et 5.-8. eluaasta on põhiliigutusvilumuste väljakujunemise osas üleminekuperiood. Kuigi põhiliigutusvilumused on selles vanuses põhistruktuurilt üldjoontes välja kujunenud, ilmneb vilumuste struktuuri suur individuaalne erinevus.

Lapseas esineb liigutusfunktsioonide arengus teatud lainekujulisus, kus arengu aeglasemad perioodid vahelduvad kiirematega (Haywood 1986). Teatud vanuseperioodidel toimuvad kasvumist, küpsemist ja arenemist tagavad muutused kiiremini ja formeeruvad kergemini (Scott 1986, Bronstein 1989).

Kehamass, keha pikkus, vanus ja keha proportsioonid ning koostis mõjutavad oluliselt indiviidi kehaliste võimete arengut ning liigutusvilumuste kujunemist (Gross 1989, Malina jt. 2004).

Vaadeldes soolisi erinevusi põhiliigutusvilumuste väljakujunemisel, ilmneb, et poeglapsed edestavad tütarlapsi oluliselt viske- ja löögiliigutuste omandamisel, tütarlapsed omandavad aga kiiremini püüdmis- ja hüppamise laadsed liigutustegevused (Seefeldt, Haubenstricker 1982, Wickström 1983).

1.2. Laste närvi-lihasaparaadi areng

Liikumine on üks peamisi inimese tegevusi, mis tagab temale elukvaliteedi. Liikumine on närvisüsteemi poolt juhitud tahteline lihastegevus, millega kaasnevad energiatarbimise kasv, eesmärgistatud ja koordineeritud liigutused (Vuori 1998). Inimese liikumine teostub tahteliste liigutuste arvel, mis toimuvad teadvuse osavõtul. Sihtmootorika väljaarenemine ja täiustumine toimub kogu lapse- ja osaliselt ka noorukiea jooksul (Malina jt. 2004).

Inimese motoorse tegevuse aluseks on skeletilihaste kontraktsioonid, mis tekivad vastusena spetsialiseeritud närvirakkudest - alfa-motoneuronitest - lähetatud närviimpulssidele. Skeletilihased koos neid innerveerivate alfa-motoneuronitega moodustavad närvi-lihasaparaadi. Närvi-lihasaparaat koos luude ja nende ühendustega (skeletisüsteemiga) moodustab organismi liikumisaparaadi, mille abil teostub keha ja selle osade liikumine ruumis (Enoka 1994).

Inimese lihastes võivad motoorsed närvikiud isegi ühe lihase piirides üksteisest oluliselt erineda nii morfoloogiliste kui ka funktsionaalsete omaduste poolest. Närvi-lihasaparaat astub talitlusse motoorsete ühikute kaupa. Motoorne ühik on esmane ja kõige elementaarsem funktsionaalne tervik närvi-lihasaparaadis (Enoka 1994).

Motoorsete oskuste omandamiseks on parim aeg kümme esimest eluaastat, mil toimub närvisüsteemi põhiline areng. Närviprotsesside jõud ja tasakaalustus on suhteliselt väikesed. Ülekaalus on erutusprotsessid, mis võib viia kiirele väsimuse tekkele. Samal ajal aga kõrge närvisüsteemi erutuvus ja labiilsus soodustavad liigutusvilumuste omandamist. Selles eas lapsed omandavad kergesti tehniliselt keerulisi liigutusvilumusi. Monotoonsed harjutused aga võivad seejuures mõjuda pidurdavalt. On näidatud, et 7.-10. eluaasta kujutab endast närviprotsesside jõu ja liikuvuse, sisemise pidurduse ja närvirakkude labiilsuse intensiivse arenemise etappi.

Kesknärvisüsteemi funktsionaalne areng ja küpsemine lõpeb 12.-14. eluaastal, mis võimaldab olemasolevaid neuroloogilisi mehhanisme ära kasutada (Haywood, Getchell 2001).

Närvi-lihasaparaadi arengu kõrval omab lihasjõu suurenemisel tähtsat osa liigutuskoodinatsiooni täiustamine. Liigutusanalüsaatori ja kõrgema närvitalitluse arengut kajastab võime üha täpsemalt diferentseerida lihaspinget. Alates 10.-12. eluaastast osutub võimalikuks hästi välja kujundada tingitud reflekse vastuseks komplekssele ärritusele (Numminen, Välimäki 1998). On leitud, et 10.-12. eluaastani võib täheldada lastel teatavat murdemomenti närvisüsteemi talitluses. Kui 8-9-a. lastel lülituvad liigutuste sooritamisel talitlusesse ka mittevajalikud lihasrühmad ja ilmnevad lisaliigutused ning liigne lihaspinge, siis alates 10.-12. eluaastast seda enam ei esine (Cratty 1986). See räägib liigutusaparaadi talitluse koordineeritust kindlustavate närvimehhanismide täiustumisest, seda kajastab osavuse ja liigutuskoodinatsiooni kõrgtaseme saabumine veel enne puberteeti (Malina, Bouchard 1991, Viru jt. 1996).

Puberteedia alguseks peavad liigutused olema juba nii automatiseeritud, et kehaehituslik disharmonia, kõrgema närvitegevuse labiilsus ja hormonaalsed muutused ei takista liigutustegevust (Gallahue, Ozmun 1998). Poistel vanuses 11-18-aastat toimub mootorsete võimete areng suhteliselt ühtlaselt. Tütarlastel aga toimub areng suhteliselt ühtlaselt kuni 13.-14. eluaastani ja seejärel jätkub aeglasem areng kuni 14.-15. aastani. Täiskasvanule ligilähedase taseme saavutab liigutuskoodinatsioon 14-15-a. ja mootorsed võimed 16-17-a. Liigutuskoodinatsiooni intensiivse täiustamisega ilmneb samuti ka esimene tipp liigutuste kiiruse ja kiirusjõu arenemise tempos (Haubenstricker, Seefeldt 1986, Malina 1986). Seega kindlustab täiustunud koodinatsioon suurenenud võimaluse mootorsete ühikute optimaalse hulga kiireks ja üheaegseks rekruteerimiseks, mis on vajalik kiirusjõu rakendumiseks (Raudsepp, Viru 1996, Seger, Thorstensson 2000).

Täiustunud liigutuskoodinatsioon võimaldab ka täpseid koostöösuhteid antagonistlihaste talitluses ja kiireid kontraktsioon-lõõgastus tsükleid, kus olulist osa etendab eelkõige lihasesiseste koodinatsioonimehhanismide areng. Tütarlastel ilmneb 11. eluaastal kehalistest võimetest jõu ja kiirusjõu intensiivne suurenemine, kusjuures täiuslikkuse saavutanud liigutuskoodinatsioonil on siin oluline osa. Sugulise

küpsusega kaasnev testosteroonist sõltuv lihashüpertroofia osutub tähtsaks teguriks, mis määratleb paljude kehaliste võimete taseme noormeestel, samuti soolised erinevused kehalistes võimetes. Mõned autorid on täheldanud, et poeglastel korreleerub testosterooni tase positiivselt lihasjõuga. (Mero jt. 1990, Gallahue, Ozmun 1998). Lihashüpertroofia põhiliseks avalduseks on lihasjõu intensiivne arenemine ning lihaskiudude paksenemine (Kraemer, Fleck 1993, Wilmore, Costill 1994), kusjuures suurenenud lihasjõud loob võimaluse lihaskontraktsioonide paremaks kasutamiseks ka teiste kehaliste võimete avaldumisel. Kui enne suguküpsuse saavutamist paraneb jooksukiirus valdavalt sammude sageduse arvel, siis puberteedijärgselt on põhiteguriks sammude pikkuse suurenemine, milleks annavad võimaluse pikemad jalad ja suurem lihasjõud (Raudsepp, Viru 1996). Lihastegevuse koordinatsiooni täiustumine jätkub ka pärast suguküpsuse saavutamist, mis väljendub eelkõige mootorsete ühikute rekruteerumise võime ja nende impulsseerimise regulatsiooni täiustumises (Haywood, Getchell 2001).

1.3. Skeletilihaste jõu ja kontraktiilsete omaduste iseärasused lastel

Enamik mootorseid oskusi on seotud lihasjõuga. Lihasjõud on lihaste võime arendada mehaanilist pinget nende kontraktsioonil. Lihasjõud ei sõltu ainult lihaste suuruselt vaid ka närvimõjutustest, nagu närvikiudude müeliniseerimisastmest, lihastevahelisest koordinatsioonist (antagonist- ja agonistlihaste koostööst) ja mootorsete ühikute mobiliseerimisevõimest (Seeger, Thorstensson 2000, Haywood, Getchell 2001).

Närvisüsteem saab lihase kontraktsioonijõudu varieerida, muutes rekruteeritavate mootorsete ühikute hulka, lihaskiududele lähetatavate närviimpulsside sagedust või mootorsete ühikute talitluse sünkronisatsiooni. Mida suurem arv alfa-motoneuroneid on erutunud, seda rohkem mootorseid ühikuid haaratakse tegevusse ja seda suurem on lihaste kontraktsioonijõud (Enoka 1994).

Laste lihasjõu arengut mõjutavad vanus, sugu, keha proportsioonid ja sugulise küpsuse ning füüsilise aktiivsuse tase (Alexander, Molnar 1973, Blimkie jt. 1989). Lapseeas sõltub lihasjõu areng kasvuga seotud morfo-funktsionaalsete faktorite koosmõjust. Lihasjõu rakendamine liigutustegevusel oleneb lisaks lihasmassile ka mootorsete närvikiudude müelinisatsioonist ning närvisüsteemi küpsusest. Kuna paljude mootorsete närvikiudude müeliniseerumine ei ole enne puberteedia saabumist veel lõppenud, siis on ka lihaste neuraalne kontroll lapsel ebatäiuslik (Brooks, Fahey 1985, Wilmore, Costill 1994, Praagh 1998, Seger, Thorstensson 2000). Laste võime rekruteerida mootorseid ühikuid tahtelisel maksimaalsel pingutusel on suhteliselt väike ja see tingib osaliselt nende jõukarakteristikute madala taseme (Godin 1983, Kanehisa jt. 1995, De Ste Croix jt. 1999). Lihaste hea jõugenereerimise võime on vajalik lapse normaalseks arenguks, keha tasakaalu säilitamiseks, liigutuste sooritamiseks, koordinatsiooni täiustamiseks ja kukkumiste vältimiseks (Harris 1986, Asmussen 1990, Sallis jt. 1992).

Lihasjõud sõltub nii tsentraalsetest (mootorsete ühikute rekruteerimisvõime) kui ka perifeersetest (lihasmass, lihaskiudude läbimõõt, lihaste kontraktiilsed omadused) faktoritest (Bosco jt. 1982, Izquierdo jt. 1999).

Puberteedias toimuvad skeletilihastes olulised morfofunktsionaalsed muutused, mis eelkõige väljenduvad lihaste jõu ja massi kasvus ning nende läbimõõdu suurenemises (Malina 1986, Blimkie 1989, Kanehisa jt. 1995).

Lihaste kontraktsioonijõudu iseloomustatakse maksimaalse pingega, mida lihas on võimeline erutusel arendama. Lihaste kontraktsioonijõud sõltub erinevatest faktoritest: lihaskiudude hulgast, lihase pikkusest, närvimõjutuste iseärasustest ning lihase füsioloogilisest ristlõikepindalast. Suuremat jõudu arendavad lihased, millel on suurem lihaskiudude arv, ristlõige ja kiirete (II tüüpi) lihaskiudude protsent. Lihaskiudude ristlõike mõõdukas suurenemine pole välistatud puberteedi eel ei poistel ega ka tüdrukutel (Henneman 1977, Blimkie 1989, Seger, Thorstensson 2000).

On täheldatud, et maksimaalse isomeetrilise lihasjõu kiire arengu perioodid ilmnevad poeglastel 7-9-a. ja 12-16-a., mis on vastavuses lihasmassi arenemise ja seksuaalse küpsemisega. Tütarlastel esinevad lihasjõu kiire arengu perioodid vanuses 6-8 aastat ning aasta enne poeglaste teist perioodi (Asmussen 1990).

Lihaskõud suureneb lihaskmassi suurenemise ning nãrviregulatsiooni tãrustumise tõttu peamiselt keskmises ja vanemas koolieas. Puberteediga kaasneb lihaskmassi ja lihaskõu kasv, mis on intensiivsem tãdrukul *menarhe*-eelsesel perioodil ja poistel aasta pãrast kasvuspurdi kõrgpunkti. On leitud, et puberteedijãrgsel perioodil edestavad enamikes kehalistes võimetes poisid tãdrukid, kuna poistel on selles eas lihaskmass suurem kui tãdrukul ning nad on sellistes jõudu nõudvates harjutustes, nagu kiirjooks ja hüpped, tãdrukest paremad (Leferve jt. 1998, Numminen, Vãlimãki 1998). Lihaskõu nãitajad suurenevad lapseas neuraalse adaptatsiooni ja lihaskmassi kasvu tõttu (Martin jt. 2004). Jõunãitajaid võib puberteedieelses vanuses nii poistel kui tãdrukul tõsta ka lihaskmassi olulise juurdekasvuta lihaskontraktsiooni kvalitatiiivsete nãitajate parandamise arvel (Biddle jt. 1998).

De Ste Croix jt. (1999) poolt teostatud uuringud nãitavad mãrgatavat suuremat suhtelist lihaskõudu so. lihaste tahtelist maksimaaljõudu kehamassi suhtes 13-14-a. lastel võrreldes 8-a. lastega. Koos lihaskmassiga kasvab ka lihaskõud ja seda eriti keskmises koolieas. Osa autoreid on täheldanud (Sege, Thorstensson 1999, Beunen, Martine 2000), et lihaskõud poistel ja tãdrukul enne murdeiga oluliselt ei erine. Kuid mõned uuringud on nãidanud, et juba puberteedieelses eas on lihaskõud poistel suurem kui tãdrukul (Lefevre jt. 1998, van Beurden jt. 2002). Blimkie (1989) poolt teostatud uuringust selgus, et 16-a. lapsed on võimelised arendama suuremat lihaskõudu võrreldes 11-a. lastega ning vanemad lapsed on võimelised suurema lihaskõu avaldamiseks rekruteerima enam mootorseid õhikuid. Noormeestel jãtkub lihaskõu oluline suurenemine ka pãrast sugulist kãpsemist ning maksimaalsele tasemele jõutakse alles kolmandal aastakãmmnel. Tãtarlastel on seevastu täheldatud lihaskõu maksimumi saabumist sugulise kãpsemise ajal (Haywood, Getchell 2001).

Elektromõostimulatsiooni meetodil on võimalik mããrata skeletilihaste kontraktiilseid omadusi ja mootorsete õhikute mobiliseerimisvõimet (Chapman jt. 1984, Blimkie jt. 1989). Elektrostimulatsiooniga on võimalik esile kutsuda tahtmatuid lihaskontraktsioone, mis annab võimaluse hinnata lihaste kontraktiilseid omadusi sõltumata lapse motivatsioonist pingutada lihaseid (Davies 1985, Ramsay jt. 1990, Pããsuke jt. 2000). Kuid ainult mõned uuringud on kãsitlenud muutusi skeletilihaste kontraktiilsetes omadustes puberteedia jooksul (Belanger, McComas 1989, Keogh,

Sugden 1985, Pääsuke jt. 2000, Lambertz jt. 2001). Seejuures leidub vähe andmeid lihaste üksikkontraktsiooni aktiivsusjärgse potenseerumise kohta lastel. Aktiivsusjärgne potenseerumine seisneb üksikkontraktsiooni jõu olulises kasvus ja kontraktsioonifaasi samaaegses lühenemises vahetult pärast lühiajalist maksimaalset tahtelist pingutust, mis võimaldab aktiivsuse käigus lihaskiudude kontraktsiooniaparaati mobiliseerida (Houston jt. 1985, MacIntosh jt. 1993). Osa autoreid on täheldanud, et aktiivsusjärgne potenseerumine pre- ja postpuberteedialistel lastel oluliselt ei erine (Belanger, McComas 1989). Samas teised autorid (Davies 1985, Pääsuke jt. 2000) väidavad, et lihaste elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni maksimaaljõud on postpuberteedialistel lastel oluliselt suurem kui prepuberteedialistel lastel.

Pääsuke jt. (1999) on näidanud, et puberteediga kaasneb nii lihaskiudude jõuproduktiooniga seotud kontraktiilse võimekuse kasv kui ka mootorsete ühikute mobiliseerimisega seotud neuraalsete mehhanismide täiustumine. Lihaskiudude kasv postpuberteedijärgsel perioodil on seotud eelkõige mootorsete ühikute mobiliseerimisega seoses olevate neuraalsete koordinatsioonimehhanismide täiustumisega (Malina jt. 2004).

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Käesoleva töö eesmärgiks oli võrrelda skeletilihaste kontraktiilseid omadusi 9-10-a. ja 16-a. tüdrukutel.

Töös püstitati järgmised ülesanded:

1. Määrata sääre kolmpealihase tahteline isomeetriline jõud.
2. Määrata sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni karakteristikud puhkeolekus ning aktiivsujärgse potenseerumise seisundis.
3. Uurida korrelatiivseid seoseid antropomeetriliste parameetrite ja sääre kolmpealihase kontraktiilsete omaduste näitajate vahel.

3. TÖÖ METOODIKA

3.1. Vaatlusalused

Vaatlusalusteks olid 28 tüdrukut vanuses 9-16 aastat, kes jaotati kahte vanusegruppi: 9-10-a. (n=14) ja 16-a. (n=14). Nooremad tüdrukud olid Tartu Kesklinna Gümnaasiumi õpilased ning vanemad tüdrukud Tartu Raatuse ja Mart Reiniku Gümnaasiumi õpilased. Kõik lapsed olid terved ning osalesid regulaarselt kooli kehalise kasvatuse tundides. Lisaks sellele osalesid 6 vanema ja 4 noorema grupi tüdrukut regulaarselt sporditreeningutel. Nooremate tüdrukute lastevanematele tutvustati uuringu sisu ja eesmärgi ning neilt saadi ka kirjalik nõusolek laste motoorse võimekuse testimiseks (vt. lisa 1). Vanemad tüdrukud andsid samuti kirjaliku nõusoleku uuringus osalemiseks (vt. lisa 2). Vaatlusaluste antropomeetrilised näitajad on toodud tabelis 1. Uuring oli kooskõlastatud Tartu Ülikooli Inimuuringu Eetika Komiteega.

Tabel 1. Vaatlusaluste antropomeetrilised näitajad (keskmine±SE)

Näitajad	9-10-a. tüdrukud	16-a. tüdrukud	p
n	14	14	
Vanus (aastat)	9,6±0,1	16,3±0,1	<0,001
Kasv (cm)	140,3±2,0	165,7±1,3	<0,001
Kehamass (kg)	34,5±1,6	56,9±1,2	<0,001
KMI (kg·m ⁻²)	17,5±0,5	20,7±0,4	<0,001

KMI - kehamassi indeks;

p - statistilise olulisuse nivoo.

3.2. Uurimismeetodid

3.2.1. Antropomeetrilised mõõtmised

Kehalise arengu hindamiseks mõõdeti tütarlastel pikkus ja kehamass ning nende põhjal arvutati kehamassi indeks. Pikkuse mõõtmiseks kasutati standartset Martini metallist antropomeetrit ning kehamassi määramiseks elektroonilist kaalu.

Keha pikkuse mõõtmisel paluti vaatlusalusel seista sirge seljaga, kannad koos plastikust alusel ning mõõtja jälgis, et vaatlusaluse silma alalaug ja kõrva välimine kuulmeava oleksid horisontaaltasapinnal. Mõõtja asetask antropomeetri plastikust alusele vertikaalselt nii, et vaatlusaluse pea, selg, tuharad, sääremarjad ning kannad oleksid vastu mõõdupuud ja registreeris pikkuse täpsusega 1 mm. Pikkust mõõdeti kolm korda ja arvesse läks keskmine väärtus. Kehamassi määramisel astusid vaatlusalused kerges rõivastuses elektroonilisele kaalule ning mõõtja registreeris kaalu näidu täpsusega 0,1 kg.

Kehamassi indeksi arvutamiseks kasutati valemit:

$$\text{KMI} = \text{kehamass}/\text{pikkus}^2 \text{ (kg}\cdot\text{m}^{-2}\text{)}.$$

3.2.2. Sääre kolmpealihase tahtelise isomeetrilise jõu määramine

Sääre kolmpealihase tahtelise isomeetrilise maksimaaljõu testimisel istus vaatlusalune spetsiaalselt konstrueeritud dünamomeetrilisel pingil nii, et nurk uuritava jäsme põlve- ja puusaliigeses oli 90° (Pääsuke jt. 2000) (joonis 1). Labajalg fikseeriti pedaalile 85° nurga alla manseti ja kannatoe abil. Pedaali telg asetati kohakuti hüppeliigese teljega *malleolus medialis*'e piirkonnas. Säär fikseeriti põlvest toestaja abil. Sääre kolmpealihase kontraktsioonil tekkiva labajala plantaarfleksiooni poolt põhjustatud surve pedaalile registreeriti elektromehaanilise dünamomeetri abil.

Sääre kolmpealihase tahtelise isomeetrilise maksimaaljõu (F_{max}) määramisel tuli vaatlusalusel 2-3 s jooksul maksimaalselt tugevalt suruda pedaalile. Sooritati kolm katset, millest arvesse läks parima katse tulemus. Puhkepausid katsete vahel olid

ligikaudu 1 min. Lisaks arvutati suhteline jõud e. tahtelise maksimaaljõu ja kehamassi (KM) suhe (F_{max}/KM).

3.2.3. Sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni näitajate määramine

Sääre kolmpealihase kontraktiilsete omaduste määramisel istus vaatlusalune dünamomeetrilisel pingil samasuguses asendis nagu sääre kolmpealihase tahtelise isomeetrilise maksimaaljõu määramisel (joonis 1). Elektriärritust andev elektrood (katood) asetati sääreluunärvi projektsioonile põlveõndlas ja maanduselektrood (anood) sääre distaalsele osale. Karboniseeritud kummist elektrostimulatsiooni elektroodid asetati nahapinnale elastsete mansettide abil. Sääre kolmpealihase isomeetiline üksikkontraktsioon kutsuti esile sääreluunärvi ärritamisega riskülikukujulise alalisvoolu impulsiga, mille kestus oli 1 ms. Ärritustugevus oli lihase suhtes supramaksimaalne (150 V). Seejuures kasutati elektromüograafilise seadme „Medicor MG-42“ koosseisu kuuluvat elektrostimulaatorit. Isomeetiline üksikkontraktsioon kutsuti esile nii puhkeolekus kui ka vahetult peale 5 s kestvat maksimaalset tahtelist pingutust, so. aktiivsusejärgse potenseerumise seisundis.

Nii puhke- kui ka potenseerunud seisundis registreeriti järgmised parameetrid (joonis 2):

- 1) PT (N) - üksikkontraktsiooni maksimaaljõud;
- 2) CT (ms) - kontraktsioonifaasi kestus (aeg lihaspinge tekke algusest kuni maksimaaljõuni);
- 3) $\frac{1}{2}$ RT (ms) - poole lõõgastuse aeg (aeg maksimaaljõu languseni 50% võrra lõõgastumisel);
- 4) dF/dt (N/s) - maksimaalne jõugradient kontraktsioonifaasis;
- 5) $-dF/dt$ (N/s) - maksimaalne jõugradient lõõgastusfaasis.

Lisaks arvutati järgmised näitajad:

- 6) PAP (%) - potenseerumise indeks valemiga $PAP = \frac{PT_{pot}}{PT_{puhke}} \times 100\%$, kus PT_{puhke} ja PT_{pot} on üksikkontraktsiooni maksimaaljõud vastavalt puhke- ja potenseerunud olekus;

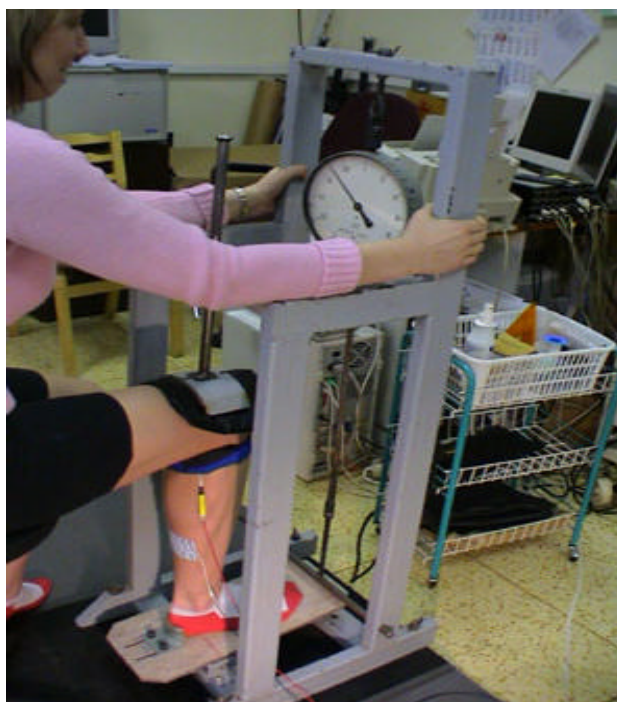
7) PT/F_{max} - üksikontraktsiooni maksimaaljõu ja tahtelise maksimaaljõu suhe;

8) PT/KM (N/kg) - üksikontraktsiooni maksimaaljõu ja kehamassi suhe.

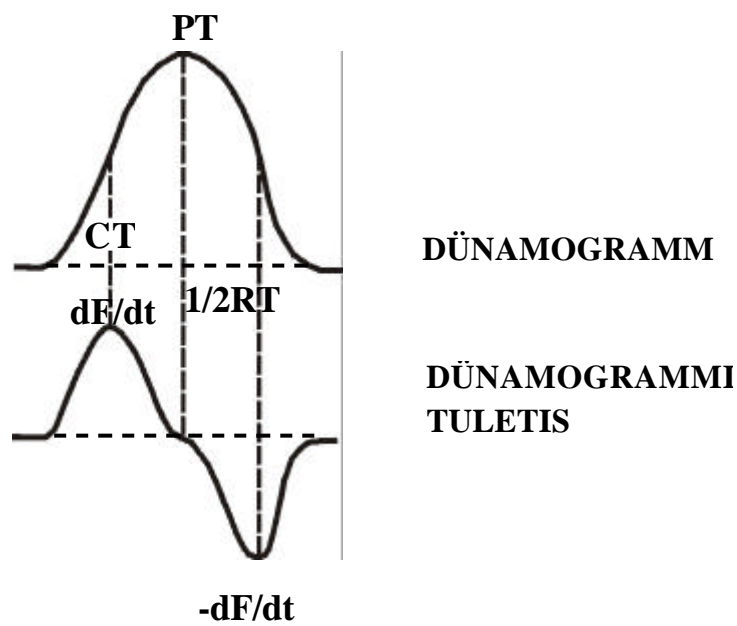
A



B



Joonis 1. Vaatlusaluse asend sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni parameetrite (A) ja tahtlise isomeetrilise jõu (B) määramisel.



Joonis 2. Elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni dünamogrammi analüüsi skeem. PT- üksikkontraktsiooni maksimaaljõud; CT- kontraktsioonifaasi kestus; $\frac{1}{2}RT$ - poole lõõgastuse aeg; $\frac{dF}{dt}$ - maksimaalne jõugradient kontraktsioonifaasis; $-\frac{dF}{dt}$ - maksimaalne jõugradient lõõgastusfaasis.

3.3. Uuringu korraldus

Uuringud viidi läbi 2002. a. detsembris ning 2005. a. jaanuaris Tartu Ülikooli kinesioloogia ja biomehaanika laboratooriumis. Tüdrukutele mindi kooli vastu ning tuld koos saatjatega uuringutele. Pärast uuringute läbiviimist saadeti nad kooli tagasi. Enne uuringu algust määrati vaatlusaluse domineeriv jalg, so. jalg, millega ta eelistas palli lüüa. Kõigepealt viidi tüdrukutega läbi antropomeetrilised mõõtmised. Seejärel sooritati sääre kolmpealihase tahtelise isomeetrilise maksimaaljõu test ning lihaste kontraktiilsete omaduste määramise test. Lihaste tahtelise jõu ja elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni näitajad määrati ainult domineerival jalal.

3.4. Andmete statistiline töötlus

Katsete tulemusel saadud andmete analüüsimisel kasutati ühemõõtmelist andmetöötlust programmi STATISTICA 4.5. Kõikide saadud parameetrite osas määrati aritmeetiline keskmine ja aritmeetilise keskmine viga (\pm SE). Seoste leidmiseks antropomeetriliste parameetrite ja sääre kolmpealihase tahtelise jõu ning elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni näitajate vahel kasutati korrelatsioonianalüüsi. Aritmeetiliste keskmiste erinevuse olulisuse hindamiseks kasutati Student'i t-kriteeriumi, seejuures loeti olulisuse nivooks $p < 0,05$.

4. TÖÖ TULEMUSED

4.1. Sääre kolmpealihase tahteline isomeetriline jõud

Sääre kolmpealihase tahteline isomeetriline maksimaaljõud (F_{max}) oli vanematel tüdrukutel suurem ($p < 0,05$) võrreldes noorematega (joonis 3A). Samas ei täheldatud olulisi gruppidevahelisi erinevusi suhtelises jõus (F_{max}/KM) (joonis 3B).

4.2. Sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni näitajad

Elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni maksimaaljõud (PT) oli nii puhke- kui ka potenseerunud seisundis vanematel tüdrukutel suurem ($p < 0,05$) võrreldes nooremate tüdrukutega (joonis 4A). Potenseerunud seisundis registreeritud PT oli uuritud gruppidel suurem ($p < 0,05$) võrreldes puhkeolekuga.

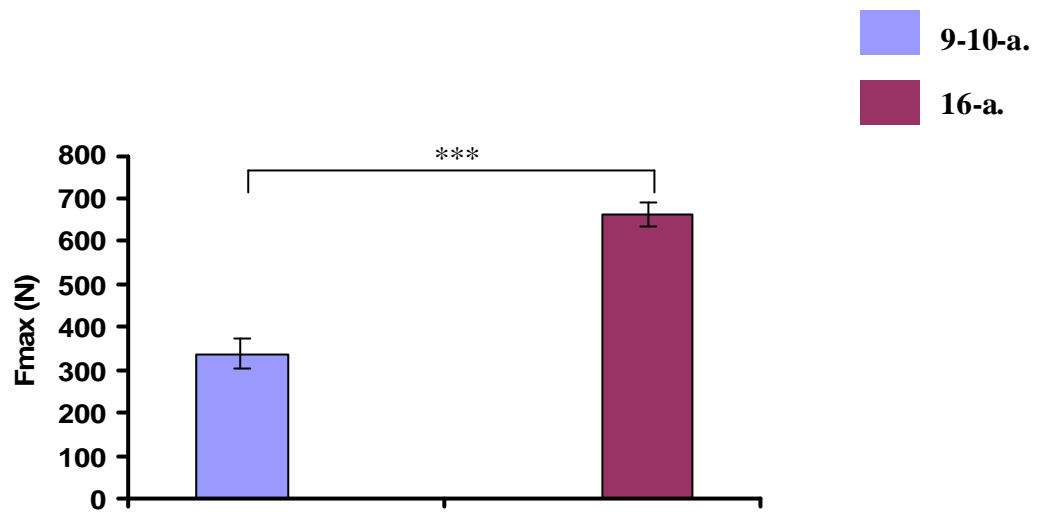
Isomeetrilise üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ja kehamassi suhe (PT/KM) uuritud gruppidel oluliselt ei erinenud (joonis 4B). Potenseerunud seisundis registreeritud PT/KM oli mõlemal vanusegrupil suurem ($p < 0,05$) võrreldes puhkeolekuga.

Elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ja tahtelise maksimaaljõu suhe (PT/ F_{max}) oli nii puhke- kui ka potenseerunud olekus suurem ($p < 0,05$) nooremal vanusegrupil võrreldes vanemaga (joonis 4C). Vanematel tüdrukutel oli PT/ F_{max} potenseerunud olekus suurem ($p < 0,05$) võrreldes puhkeolekuga. Nooremal vanusegrupil aga PT/ F_{max} osas olulisi erinevusi puhke- ja potenseerunud olekus ei täheldatud.

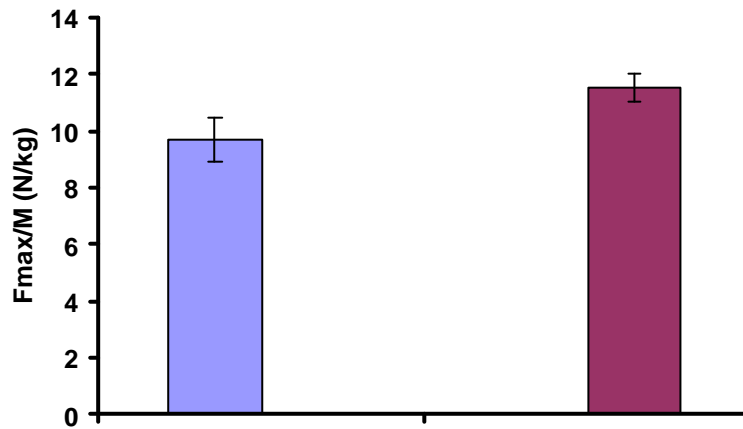
Üksikkontraktsiooni potenseerumise indeks (PAP) uuritud gruppidel oluliselt ei erinenud (joonis 5).

Puhke- ja potenseerunud seisundis registreeritud üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi kestuse (CT) osas olulisi gruppidevahelisi erinevusi ei täheldatud (joonis 6A). Nii vanematel kui ka noorematel tüdrukutel oli potenseerunud olekus registreeritud CT lühem ($p < 0,05$) kui puhkeolekus.

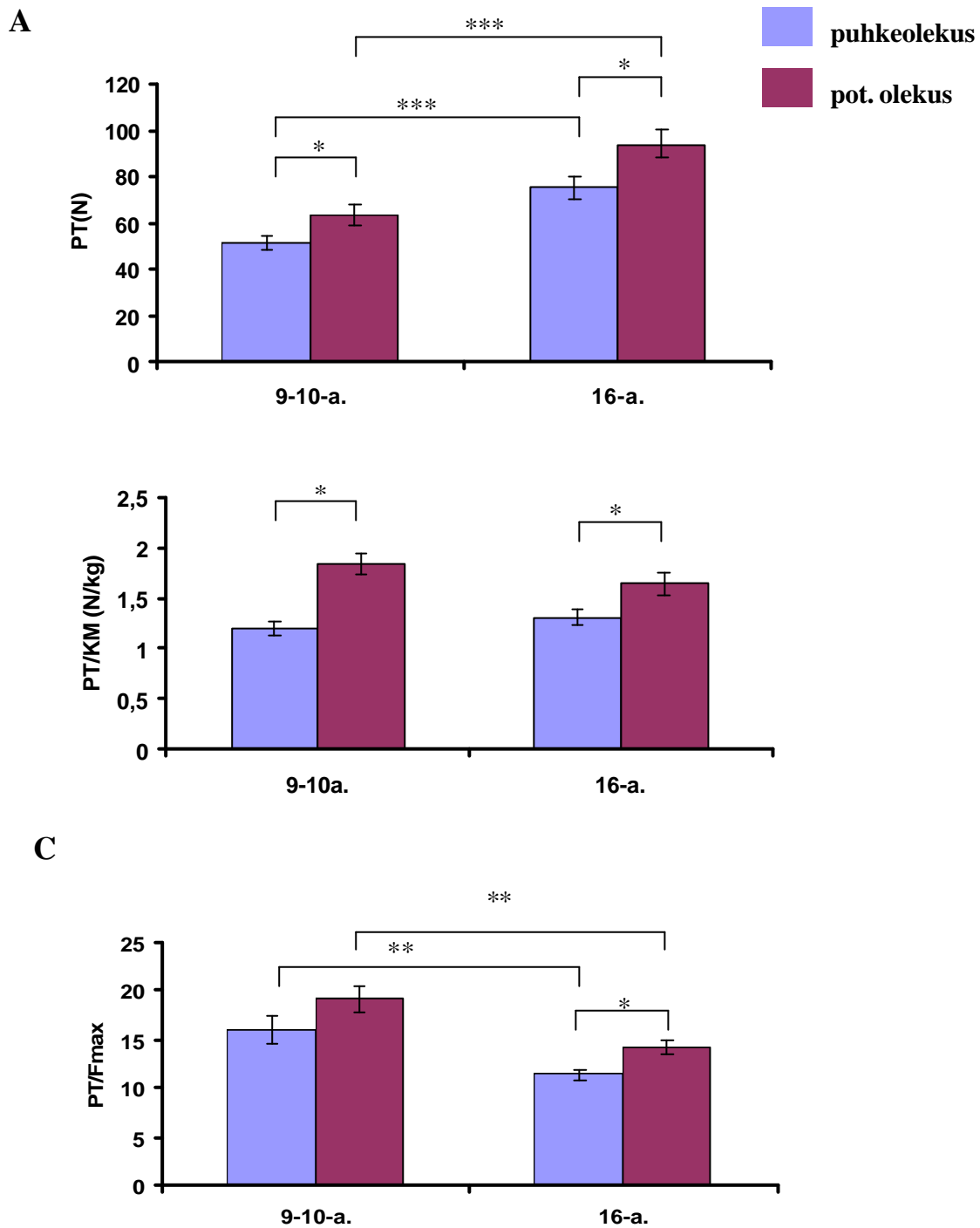
A



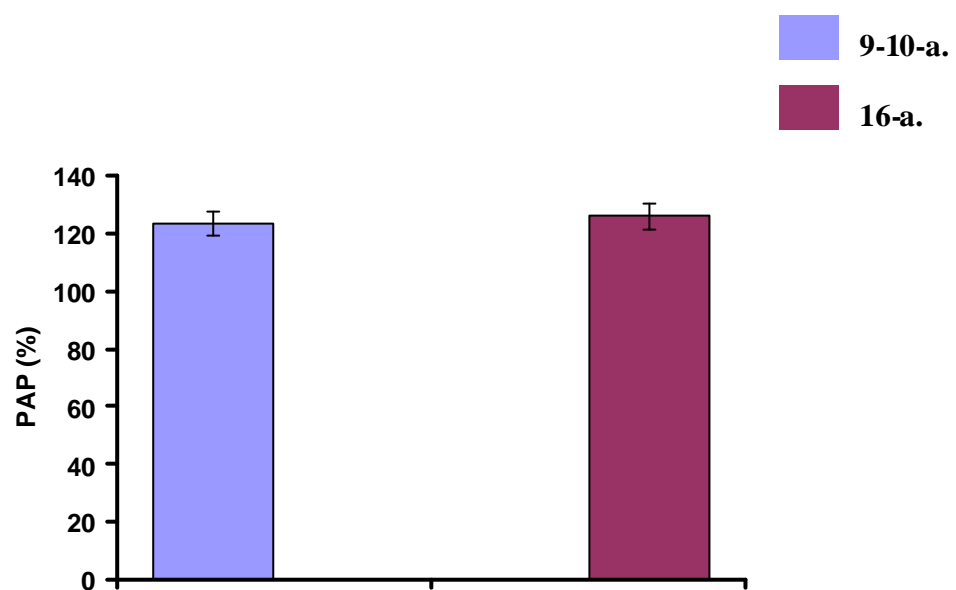
B



Joonis 3. Sääre kolmpealihase tahteline isomeetriline maksimaaljõud Fmax (A) ja suhteline jõud Fmax/KM (B) 9-10-a. ja 16-a. tüdrukutel (keskmine±SE). ***p<0,001.

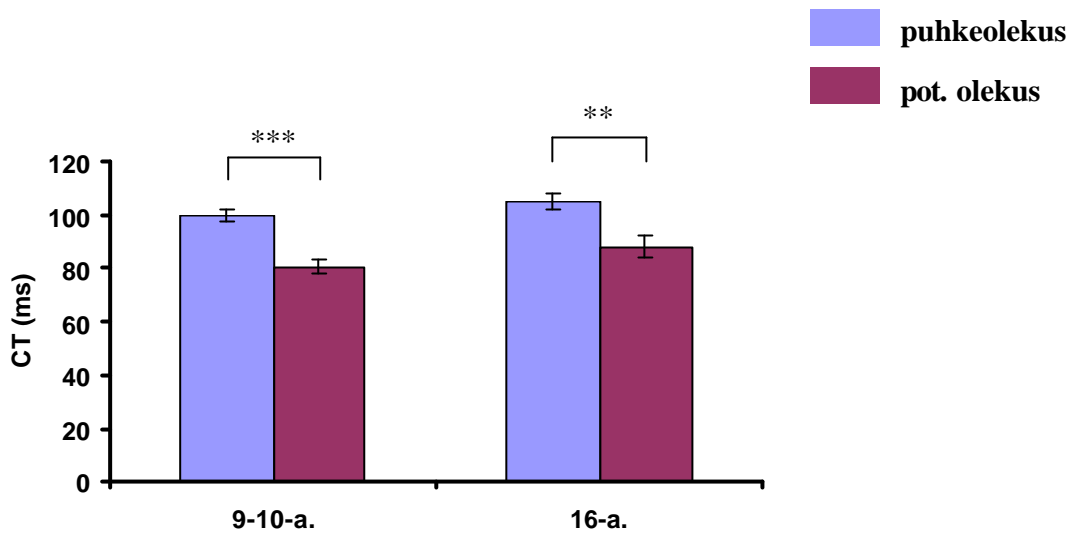


Joonis 4. Sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetiline üksikkontraktsiooni maksimaaljõud PT (A), üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ja kehamassi suhe PT/KM (B) ning üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ja tahtlise maksimaaljõu suhe PT/Fmax (C) 9-10-a. ja 16-a. tüdrukutel (keskmine \pm SE). pot- potenseerunud. * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$.

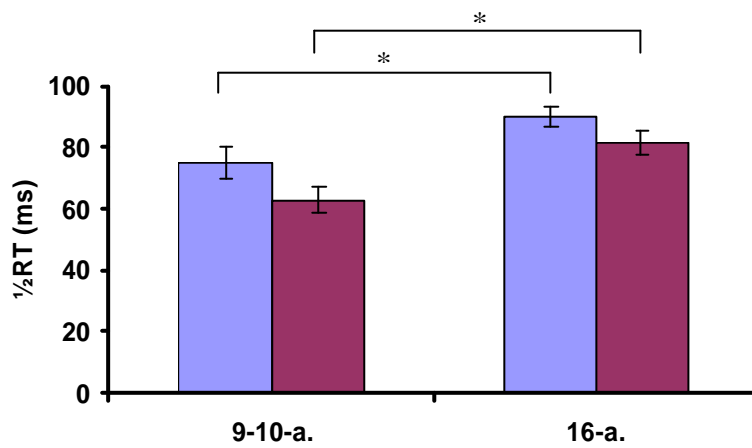


Joonis 5. Sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni potenseerumise indeks PAP 9-10-a. ja 16-a. tüdrukutel (keskmine \pm SE).

A



B

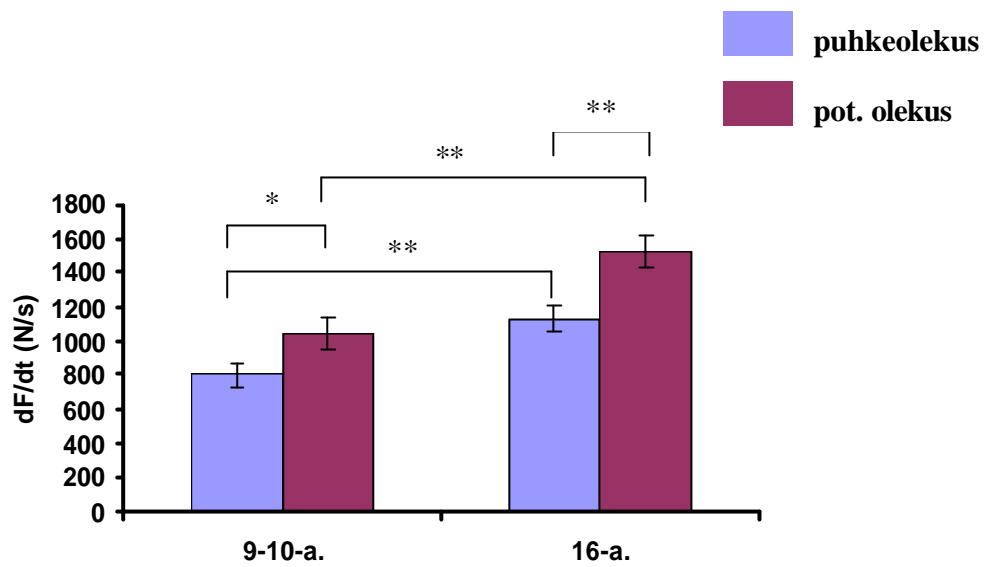
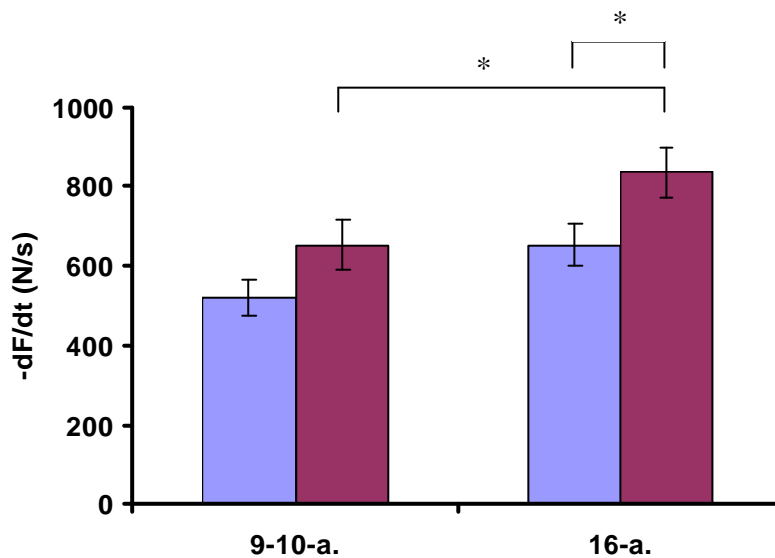


Joonis 6. Sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi kestus CT (A) ning poole lõõgastuse aeg $1/2RT$ (B) 9-10-a. ja 16-a. tüdrukutel (keskmine \pm SE). pot- potenseerunud. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Puhke- ja potenseerunud seisundis registreeritud üksikkontraktsiooni poole lõõgastuse aeg ($\frac{1}{2}RT$) oli vanematel tüdrukutel suurem ($p < 0,05$) võrreldes noorematega (joonis 6B).

Üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasis registreeritud jõugradient (dF/dt) oli puhke- ja potenseerunud olekus suurem ($p < 0,05$) vanematel tüdrukutel võrreldes noorematega (joonis 7A). Nii noorematel kui ka vanematel tüdrukutel oli potenseerunud olekus registreeritud dF/dt suurem ($p < 0,05$) võrreldes puhkeolekuga.

Puhkeolekus üksikkontraktsiooni lõõgastusfaasis registreeritud maksimaalses jõugradiendis ($-dF/dt$) olulisi gruppidevahelisi erinevusi ei esinenud (joonis 7B). Potenseerunud olekus oli $-dF/dt$ aga vanematel tüdrukutel suurem ($p < 0,05$) kui noorematel. Vanematel tüdrukutel oli potenseerunud seisundis registreeritud $-dF/dt$ suurem ($p < 0,05$) võrreldes puhkeolekuga, noorematel tüdrukutel aga sellist erinevust ei leitud.

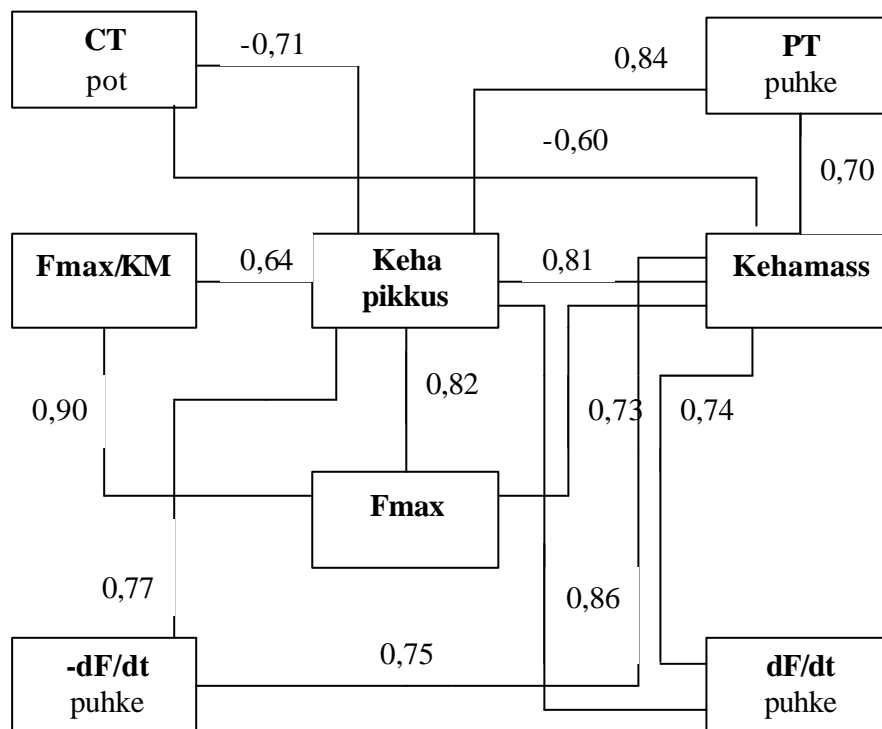
A**B**

Joonis 7. Sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi maksimaalne jõugradient dF/dt (A) ning lõõgastusfaasi maksimaalne jõugradient $-dF/dt$ (B) 9-10-a. ja 16-a. tüdrukutel (keskmine \pm SE). pot- potenseerunud. * $p<0,05$; ** $p<0,01$.

4.3. Korrelatiivsed seosed uuritud näitajate vahel

Olulisemad korrelatiivsed seosed uuritud näitajate vahel 9-10-a. tüdrukutel on toodud joonisel 8.

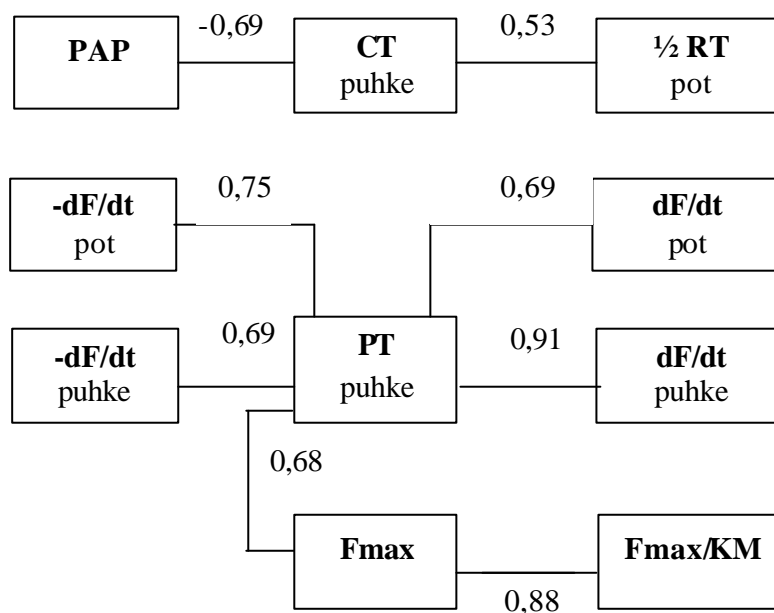
Nooremas vanusegrupis esines palju positiivseid korrelatiivseid seoseid antropomeetriliste parameetrite ja erinevate sääre kolmpealihase kontraktiilsete omaduste näitajate vahel. Selgus, et 9-10-a. tüdrukutel oli nii kehamass kui ka keha pikkus positiivses korrelatiivses seoses sääre kolmpealihase tahtelise isomeetrilise maksimaaljõuga, puhkeolekus registreeritud üksikkontraktsiooni maksimaaljõuga ning kontraktsiooni- ja lõõgastusfaasi maksimaalsete jõugradientidega, negatiivses seoses aga potenseerunud olekus registreeritud kontraktsioonifaasi kestusega. Sääre kolmpealihase tahteline isomeetiline maksimaaljõud oli positiivses korrelatiivses seoses suhtelise jõuga.



Joonis 8. Olulisemad korrelatiivsed seosed registreeritud näitajate vahel 9-10-a. tüdrukutel (olulisuse nivool: $p < 0,05$ $r = 0,53$; $p < 0,01$ $r = 0,65$; $p < 0,001$ $r = 0,76$).

Olulisemad korrelatiivsed seosed uuritud näitajate vahel 16-a. tüdrukutel on toodud joonisel 9.

Registreeritud näitajate vahelisi korrelatiivseid seoseid analüüsidest ilmnes, et vanematel tüdrukutel korreleerus aktiivsusjärgne potenseerumine negatiivselt puhkeolekus registreeritud kontraktsioonifaasi kestusega. Puhkeolekus registreeritud üksikkontraktsiooni maksimaaljõud korreleerus positiivselt kontraktsiooni- ja lõõgastusfaasis määratud jõugradientidega. Sääre kolmpealihase tahteline isomeetiline maksimaaljõud oli positiivses korrelatiivses seoses puhkeolekus registreeritud üksikkontraktsiooni maksimaaljõuga.



Joonis 9. Olulisemad korrelatiivsed seosed uuritud näitajate vahel 16-a. tüdrukutel (olulisuse nivool: $p < 0,05$ $r = 0,53$; $p < 0,01$ $r = 0,65$; $p < 0,001$ $r = 0,76$).

5. TÖÖ TULEMUSTE ARUTELU

Käesolevas uuringus võrreldi närvi-lihasaparaadi funktsionaalset võimekust iseloomustavaid parameetreid 9-10-a. ja 16-a. tüdrukutel, so. vahetult enne ja pärast puberteediiga. Seejuures hinnati sääre kolmpealihase jõudu nii tahtelisel isomeetrilisel pingutusel kui ka supramaksimaalse indirektse elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni tingimustes nii puhkeolekus kui ka peale lühiajalist maksimaalset pingutust (potenseerunud olekus). Selline elektrostimulatsiooniga esile kutsutud lihaste üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ja nende tahtelise maksimaaljõu sünkroonne registreerimine võimaldab hinnata nii lihase enese kontraktiilseid omadusi kui ka mootorsete ühikute mobiliseerimisega seoses olevaid neuraalseid mehhanisme.

Antropomeetrilistes parameetrites (kasv, kehamass, KMI) ilmnisid antud töös 9-10-a. ja 16-a. tüdrukutel olulised erinevused, kuna vanusevahe oli uuritud tüdrukute gruppidel märgatav. Käesolevas uuringus oli 9-10-a. ja 16-a. tüdrukute kehamassi indeksi keskmiseks väärtuseks vastavalt 17,5 ja 20,6 kg·m². On näidatud, et nii üldised kui ka proportsionaalsed muutused keha mõõtmetes võivad mõjutada lihasjõu näitajaid, liigutuste mehhanisme ja füsioloogilisi parameetreid (Haywood 1993, Docherty 1996). Keha pikkus ja kehamass on lapse motoorse arengu ja liigutusvilumuste kvantitatiivse väljakujunemisega oluliselt seotud. On leitud, et liigutusvilumuste kvalitatiivne väljakujunemine aga ei ole oluliselt seotud nende näitajatega (Raudsepp, Viru 1996).

Käesolevas uuringus leiti sääre kolmpealihase tahtelises isomeetrilises maksimaaljõus 9-10-a. ja 16-a. tüdrukutel oluline erinevus. Noorematel tüdrukutel oli tahteline maksimaaljõud keskmiselt 48,6% väiksem kui vanematel tüdrukutel. Korrelatsioonianalüüs näitas 9-10-a. tüdrukutel positiivselt olulist seost sääre kolmpealihase tahtelise isomeetrilise jõu ja kehamassi vahel ($r=0,73$). Mõned autorid (Malina 1994, Seger, Thorstensson 1999, De Smet, Vercammen 2001, Haywood, Getchell 2001) on samuti täheldanud positiivset seost kehamassi, pikkuse ning lihasjõu näitajate vahel, sest pikemad luukangide süsteemid annavad suurema eelise lihasjõu

genereerimisel. On leitud, et isomeetrilise lihasjõu kiire arengu perioodid ilmnevad tüdrukutel 6-8-a. ning 11-15-a., mis on vastavuses lihasmassi arenemise ja seksuaalse küpsemisega (Asmussen 1990, Viru jt. 1996). On täheldatud, et lihaste jõu suurenemine lapse kasvades toimub kiiremini kui lihasmassi suurenemine, seega tugineb lihasjõu areng puberteedieelsel perioodil suuresti lihasesisestel kvalitatiivsetel faktoritel: nendel lastel on II tüüpi e. kiirete lihaskiudude osakaal lihastes väiksem ja nende kiudude glükolüütiline võimsus on madalam kui postpuberteedialistel lastel (Haywood, Getchell 2001, Martin jt. 2004). Alates 6. eluaastast tekivad lihaste struktuuris mitmed muutused - suureneb müofibrillide arv ja läbimõõt ning seoses sellega ka kontraktsioonivõime. Siiski on noorema kooliea laste lihased veerikkad, valguvaesed ning nende jõugeneerimise võime on väiksem kui puberteedi või postpuberteedialistel lastel (Asmussen 1990, Beunen, Martine 2000). Lihasjõud suureneb lastel enam neuraalsete mehhanismide täiustumise tõttu kui lihasmassi suurenemise arvelt. Nendeks mehhanismideks on närvikiudude müelinisatsioon, paranenud lihastevaheline koordineerimine ja suurenenud mootorsete ühikute mobiliseerimisvõime (Haywood 1993, De Ste Croix jt. 1999). Tugevateks lihaskontraktsioonideks on vaja suurt erutusprotsessi jõudu närvikeskustest ja mootorsete ühikute küllaldast tegevusse mobiliseerimist. Seega tulenevad madalamad tulemused sääre kolmpealihase tahtelises isomeetrilises jõus 9-10-a. tüdrukutel eelkõige väiksemast võimest rekruteerida motoorseid ühikuid ning koordineerida oma lihaskonna tööd maksimaalsel tahtelisel pingutusel. On näidatud, et vanemad lapsed on võimelised genereerima suuremat lihasjõudu, aktiveerides rohkem motoorseid ühikuid (Blimkie 1989).

Käesolevas töös ei ilmnenu olulist erinevust sääre kolmpealihase suhtelises jõus s. tahtelise maksimaaljõu ja kehamassi suhtes 9-10-a. ja 16-a. tüdrukutel. On teada, et skeletilihaste suhteline jõud areneb intensiivsemalt 6.-7. eluaastal. Suhtelise jõu suurenemist täheldatakse samuti 9.-11. ja mõnikord ka 13.-14. eluaastal. Põhjuseks võib olla esmajoonelise liigutusanalüsaatori täiustumine, mis loob võimalused lihaste potentsiaalsete võimete paremaks ära kasutamiseks (Viru jt. 1996, Malina jt. 2004). Uuringus saadud tulemused ei kattu De Ste Croix jt. (1999) poolt teostatud uuringu tulemustega, mis näitasid märgatavat suuremat suhtelist jõudu alajäsemetel lihasel

vanematel (13-14-a.) võrreldes nooremate (8-a.) lastega. Kuid saadud andmed ühtivad mitmete uuringutega (Mc Comas jt. 1973, Davies 1985, Blimkie 1989, Seger, Thorstensson 1999), kus samuti ei täheldatud pre- ja postpuberteedialistel lastel olulist erinevust tahtelise maksimaaljõu ja kehamassi suhte osas. Seega ei ole kehamassi juurdekasv määravaks faktoriks tahtelise jõu suurenemisel puberteedijärgsel perioodil.

Käesolevas töös määrati elektrostimulatsiooniga esile kutsutud sääre kolmpealihase üksikkontraktsiooni parameetrid nii puhkeolekus kui ka pärast 5 s kestvat maksimaalset tahtelist pingutust, so. aktiivsujärgse potenseerumise tingimustes. Tulemustest selgus, et vanematel tüdrukutel oli üksikkontraktsiooni maksimaaljõud nii puhke- kui ka potenseerunud seisundis keskmiselt 32,5% suurem kui noorematel tüdrukutel. Samuti oli üksikkontraktsiooni maksimaaljõud mõlemal vanusegrupil potenseerunud seisundis oluliselt suurem võrreldes puhkeolekuga. Samas lihasjõu potenseerumise indeks (PAP), mis iseloomustab lihase jõugenereerimise võime suurenemist pärast maksimaalset tahtelist pingutust, 9-10-a. ja 16-a. tüdrukutel oluliselt ei erinenud. Vanematel tüdrukutel leiti negatiivne korrelatiivne seos lihasjõu potenseerumise indeksi ja kontraktsioonifaasi kestuse vahel ($r = -0,69$). Need tulemused ühtivad Belanger ja McComas (1989) uuringus saadud andmetega, kus samuti ei täheldatud pre- ja postpuberteedialistel lastel olulist erinevust lihasjõu potenseerumise indeksis.

Enamik autoreid on täheldanud, et postpuberteedialistel poistel ja tüdrukutel on elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni maksimaaljõud prepuberteedialistega võrreldes oluliselt suurem (McComas jt. 1973, Davies 1985). Pääsuke ja kaasautorite (1999) poolt teostatud uuring näitas, et elektrostimulatsiooniga esile kutsutud sääre kolmpealihase isomeetrilise üksikkontraktsiooni maksimaaljõud oli meestel prepuberteedialiste poistega võrreldes oluliselt suurem, kuid ei erinenud oluliselt postpuberteedialiste poiste vastavast väärtusest. Seega saavutab lihaskiudude kontraktsiooniaparaadi jõugenereerimise mehhanismide areng täiskasvanule omase taseme juba puberteedia lõpul. Suhteliselt vähe on kirjanduses andmeid prepuberteedialiste laste lihaste üksikkontraktsiooni aktiivsujärgse potenseerumise kohta, so. maksimaaljõu suurenemises peale lühiajalist maksimaalset tahtelist pingutust (McComas jt. 1973, Pääsuke jt. 1999, 2000).

Skeletilihaste posttetaaniline ehk aktiivsujärgne potenseerumine on seotud kahe füsioloogilise mehhanismiga lihaskiududes: 1) müosiini kergete ahelate (LC2) fosforüleerumisega (Houston jt. 1985, Alway jt. 1987, Stuart jt. 1983) ja 2) Ca^{2+} ionide kineetikaga kontraktsioonil (MacIntosh, Gardiner 1987). Arvatakse, et müosiini kergete ahelate fosforüleerumine suurendab ja kiirendab ristsillakeste teket kontraktsioonil (st. tööst võtab osa suurem hulk ristsillakesi) ja nad formeeruvad kiiremini ning selle tulemuseks on jõugenereerimise kasv (Klug jt. 1982, MacIntosh jt. 1993). Seega on nende lihasesiseste mehhanismide areng, mis määratlevad aktiivsujärgse potenseerumise võime saavutanud tütarlastel juba puberteedia alguseks sama taseme, nagu see nähtub postpuberteedias.

Uuringu käigus registreeritud sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ja tahtelise maksimaaljõu suhe oli nii puhke- kui ka potenseerunud olekus oluliselt suurem 9-10-a. tüdrukutel võrreldes 16-a. tüdrukutega. Noorematel tüdrukutel oli antud näitaja puhke- ja potenseerunud olekus vastavalt 28,3% ja 26% suurem kui vanematel tüdrukutel. Samuti oli antud näitaja potenseerunud olekus 9-10-a. tüdrukutel oluliselt suurem võrreldes puhkeolekuga. Pääsuke ja kaastöötajad (1999) on näidanud, et prepuberteedialeistel poistel oli elektrostimulatsiooniga esile kutsutud sääre kolmpealihase üksikkontraktsiooni maksimaaljõu ja tahtelise maksimaaljõu suhe oluliselt suurem võrreldes postpuberteedialeistel poiste ja meestega. Seega võib väita, et prepuberteedialeistel lastel on oluliselt väiksem võime mootorsete ühikute mobiliseerimiseks lihaste tahtelisel maksimaalsel pingutusel. Need andmed ühtivad Blimkie ja kaasautorite poolt (1989) saadud tulemustega, kus 16-a. poistel oli mootorsete ühikute mobiliseerimise võime tahtelise maksimaalse pingutuse tingimustes oluliselt kõrgem võrreldes 11-a. poistega.

Käesolev uuring näitas, et nii puhke- kui ka potenseerunud olekus registreeritud lihase isomeetrilise üksikkontraktsiooni ajaliskestust iseloomustavas ühes olulisel näitajas - kontraktsioonifaasi kestuses olulised erinevused uuritud gruppidel puudusid. Samas oli see näitaja mõlemal grupil aktiivsujärgse potenseerumise seisundis lühem võrreldes puhkeolekuga. Teine antud töös registreeritud üksikkontraktsiooni ajaliskestust iseloomustav näitaja - poole lõõgastuse aeg oli nii puhke- kui ka

potenseerunud olekus 16-a. tüdrukutel pikem kui 9-10-a. tüdrukutel. Vanematel tüdrukutel oli poole lõõgastuse aeg puhke- ja potenseerunud olekus keskmiselt vastavalt 17% ja 14,7% pikem kui noorematel tüdrukutel. Kirjanduses leidub vastuolulisi andmeid üksikkontraktsiooni kontraktsiooni- ja lõõgastusfaaside kestuse osas pre- ja postpuberteedialistel lastel. Nii leidis Davies (1985), et 14-a. poistel oli sääre kolmpealihase isomeetrilise üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi kestus ja poole lõõgastuse aeg oluliselt lühem võrreldes 11-a. poistega. McComas jt. (1973) aga olulist erinevust nendes näitajates pre- ja postpuberteedialistel lastel ei täheldanud.

Lihase üksikkontraktsiooni kontraktsioonifaasi kestus on olulisel määral seotud lihaskiudude erutuse ja kontraktsiooni sidestusmehhanismiga, eelkõige Ca^{2+} -ioonide vabanemise kiiruse ja ulatusega sarkoplasmaatilise retiikulumi terminaalsisternidest sarkoplasmasse ja nende sidumisega regulaatorvalk troponiin C-ga kontraktsioonil. Lihaskiudude lõõgastumise võime, mille üheks näitajaks on poole lõõgastumise aeg, on aga eelkõige seotud Ca^{2+} -ioonide reakumulatsiooniga müoplasmast Ca^{2+} -pumba abil sarkoplasmaatilise retiikulumi manseti retikulaarossa (Klug jt. 1982, 1988, McComas 1996, Green jt. 2003). See saadud tulemus viitavad sellele, et need lihaskiusesed füsioloogilised mehhanismid on saavutanud kõrge arengutaseme juba prepuberteediperioodil.

Antud uuringust selgus, et potenseerunud seisundis registreeritud üksikkontraktsiooni kontraktsiooni- ja lõõgastusfaasi maksimaalne jõugradient oli vanematel tüdrukutel oluliselt suurem kui noorematel. Lihaskiudude talitluse tasandil sõltub lihaste kontraktsioonijõu kasvu kiirus (jõugradient) olulisel määral müosiini- ja aktiinifilamentide vahel tekkinud ristsillakeste arvust ajaühikus, mis omakorda on seotud Ca^{2+} -ioonide vabanemise kiiruse ja ulatusega sarkoplasmaatilise retiikulumi terminaalsisternidest, samuti nende seostumisega troponiin C-ga kontraktsioonil (Klug jt. 1988, Dux 1993). Lihaskiudude lõõgastumine algab müosiini- ja aktiinifilamentide vaheliste ühenduste katkemisel, kui troponiin-tropomüosiinikompleks blokeerib aktiini aktiivsustsentrleid. Lihaskiudude lõõgastusvõime sõltub suurel määral lihaskiudude sarkoplasmaatilise retiikulumi Ca^{2+} -pumba efektiivsusest (Klug jt. 1982). Potenseerunud seisundis oli mõlemal vanusegrupil lõõgastusfaasi kestus lühem ja selles faasis arendatud jõugradient oluliselt suurem võrreldes puhkeolekuga. See näitab

lihaskude Ca^{2+} -pumba funktsioneerimise kõrget efektiivsust juba prepuberteedialistel lastel.

Kokkuvõttes võib käesoleva uurimustöö põhjal öelda, et 16-a. (postpuberteedialised) tüdrukud näitasid nii sääre kolmpealihase tahtelises isomeetrilises maksimaaljõus kui ka enamuses elektrostimulatsiooniga esile kutsutud üksikkontraktsiooni parameetrites, mis iseloomustavad lihaste jõugenererimise võimet, paremaid tulemusi võrreldes 9-10-a. (prepuberteedialiste) tüdrukutega. Seejuures olulisi erinevusi kahel grupil ei esinenud suhtelise jõu näitajates, üksikkontraktsiooni aktiivsuse järgses potenseerumises ning puhkeolekus registreeritud üksikkontraktsioonijõu lõõgastusfaasi maksimaalses jõugradiendis. Seega võib antud töö põhjal järeldada, et puberteediga kaasneb nii lihaskiudude jõuproduktiooniga seotud kontraktiilse võimekuse kasv kui ka mootorsete ühikute mobiliseerimisega seotud neuraalsete mehhanismide täiustumine. Lihaste kontraktsioonijõu aktiivsuse järgne potenseerumine aga pre- ja postpuberteedialistel tüdrukutel oluliselt erineb.

6. JÄRELDUSED

1. Sääre kolmpealihase tahteline isomeetiline maksimaaljõud oli 16-a. tüdrukutel suurem kui 9-10-a. tüdrukutel, suhteline jõud so. maksimaaljõud kehamassi suhtes aga neil vanusegruppidel oluliselt ei erine nud.
2. Sääre kolmpealihase elektrostimulatsiooniga esile kutsutud isomeetrilise üksikkontraktsiooni maksimaaljõud oli 16-a. tüdrukutel suurem kui 9-10-a. tüdrukutel, seejuures suhtelises jõus aga neil vanusegruppidel olulist erinevust ei ilmnenud.
3. Sääre kolmpealihase üksikkontraktsiooni jõu aktiivsuse järgne potenseerumine pärast lühiajalist tahtelist maksimaalset pingutust 9-10-a. ja 16-a. tüdrukutel oluliselt ei erinenud.
4. Aktiivsuse järgse potenseerumise seisundis olid lihaste kontraktsiooni- ja lõõgastusfaasis määratud jõugradiendid 16-a. tüdrukutel suuremad kui 9-10-a. tüdrukutel.
5. Sääre kolmpealihase isomeetrilise üksikkontraktsiooni kestus 9-10-a. ja 16-a. tüdrukutel oluliselt ei erinenud.
6. Kuueteistaastastel tüdrukutel korreleerus üksikkontraktsiooni jõu aktiivsuse järgse potenseerumise näitaja negatiivselt puhkeolekus registreeritud kontraktsioonifaasi kestusega. Üheksa kuni kümneaastastel tüdrukutel korreleerusid kehamass ja pikkus positiivselt üksikkontraktsiooni jõu ja kiirusjõu näitajatega.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Alexander, J., Molnar, G.E.** Muscular strenght in children: Preliminary report on objektive standards. Arch Phys Med Rehabil, 1973, 54: 424-427
2. **Alway, S.E., Hughson, R.L., Green, H.J., Patla, A.E., Frank, J.S.T.** Twitch potentiation after fatiguing exercise in man. Eur J Appl Physiol, 1987, 56: 461-466
3. **Asmussen, E** Growth in muscular strength and power. In: G.L. Rarick (Ed.) Physical Activity, Human Growth and Developme nt. New York: Academic Press, 1990
4. **Belanger, A.Y., McComas, A.J.** Contractile properties of human skeletal muscle in clildhood and adolescence. Eur J Appl Physiol, 1989, 58: 563-567
5. **Beunen, G., Malina, R.M.** Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. In: K.B. Pandolf (Ed) Exercise and Sport Sciences Reviews. New York: Macmillan Publishing Company, 1988, pp. 503-540
6. **Beunen, G., Martine, T.** Muscular strength development in children and adolescents. Ped Exerc Sci, 2000, 12: 174-197
7. **Beurden, E. van, Zask, A., Barnett, L.M., Dietrich, U.C.** Fundamental movement skills - how do primary school childern perform? J Sci Med Sport, 2002, 5 (3): 244-252
8. **Biddle, S., Sallis, J., Cavill, N.** Policy Framework for Young People and Health Enhancing Physical Activity. London: Health Education Authority, 1998, pp. 3-6
9. **Blimkie, C.J.R.** Age- and sex-associated variation strength during childhood: Anthropometric, morphologic, neurologic, biomechanic, endocrinologic, genetic and physical activity correlates. In: C.V. Gisolfi and D.R. Lamb (Eds.). Perspectives in Exercise Science and Sport Medicine: Youth, Exercise and Sport, Vol 2. Indianapolis: Benchmark Press, Inc., 1989, pp. 99-163
10. **Blimkie, C.J.R., Ebbesen, B., MacDougall, D., Bar-Or., Sale, D.** Voluntary and electrically evoked strength characteristics of obese and nonobese preadolescent boys. Human Biol, 1989, 61: 515-532

11. **Bosco, C., Ito, A., Komi, P.V., Luhtanen, P., Rahkila, P., Rusko, H., Viitasalo, J.** Neuromuscular function and mechanical efficiency of human leg extensor muscles during jumping exercises. *Acta Physiol Scand*, 1982, 114: 543-550
12. **Bronstein, M.H.** Sensitive periods in development. Structural characteristics and caused interpretations. *Psychol Bull*, 1989, 105: 1-19
13. **Brooks, G. A. Fahey, T.D.** *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Application.* Macmillan, New York, 1985
14. **Chapman, S.S.J, Grindrod, S.R., Jones, D.A.** Cross-sectional area and force production of the quadriceps muscle. *J Physiol (Lond)*, 1984, 353: 6-53
15. **Clark, H.H.** *Physical and Motors Tests in the Medford Boy's Growth Study.* New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1971
16. **Cratty, B.J.** *Perceptual and Motor Development in Infants and Children.* New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1986
17. **Davies, C.T.M.** Strength and mechanical properties of muscle in children and young adults. *Scand J Sports Sci*, 1985, 7: 11-15
18. **De Smet, L, Vercammen, A.** Grip strength in children. *J Pediatr Orthop B*, 2001, 10: 352-354
19. **De Ste Croix, M.B.A., Armstrong, N., Welsman, J.R.** Concentric isokinetic leg strength in pre-teen, teenage and adult males and females. *Biol Sport*, 1999, 16: 75-86
20. **Dib, L. Arabi, A., Maalouf, J., Nabulsi, M. EI-Hajj Fuleihan G.** Impact of anthropometric, lifestyle, and body composition variables on ultrasound measurements in school children. *Bone*, 2005, 36 (4): 736-742
21. **Docherty, D.** *Measurement in Pediatric Exercise Science.* Champaign: Human Kinetics, 1996
22. **Dux, L.** Muscle relaxation and sarcoplasmic reticulum function in different muscle types. *Rev. Physiol Biochem Pharmacol.*, 1993, 122:69-147
23. **Enoka, R.M.** *Neuromechanical Basic of Kinesiology*, 2nd ed. Champaign: Human Kinetics, 1994

24. **Frost H.M.** Bone development during childhood: A tutorial (some insights of a new paradigm). In: E Schonau (Ed.). *Pediatric Osteology: New Developments in Diagnostics and Therapy*. Amsterdam: Elsevier Science, 1996, pp. 3-39
25. **Gallahue, D.L., Ozmun, J.C.** *Understanding Motor Development: Infants, Children, Adolescents* (4th ed.). New York: McGraw-Hill, 1998
26. **Godin, G** Childrens perception of parental exercise: influence of sex and age. *Percept Motor Skills*, 1983, 62: 511-516
27. **Green, H.J, Ballantyne, C.S, MacDougall, J.D, Tarnopolsky, M.A, Schertzer, J.D.** Adaptations in human muscle sarcoplasmic reticulum to prolonged submaximal training. *J Appl Physiol*, 2003, 94 (5): 2034-2042
28. **Gross, M.T.** Relationship between multiple predictor variables and normal knee torque production. *Phys Ther*, 1989, 69: 54-62
29. **Harris, A.C.** *Child Development*. West Publishing Company, 1986, pp. 322-442
30. **Haubenstricker, J., Seefeldt, V.** Acquisition of motor skills during childhood. In: V. Seefeldt (Ed.) *Physical Activity and Wellbeing*. American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance, 1986, pp 41-72
31. **Haywood, K.M.** *Life Span Motor Development*. Champaign: Human Kinetics, 1986
32. **Haywood, K.M.** *Life Span Motor Development* (2nd ed.). Champaign: Human Kinetics, 1993
33. **Haywood, K.M., Getchell N.** *Life Span Motor Development* (3rd ed.). Champaign: Human Kinetics, 2001
34. **Henneman E.** Functional organization of motoneuron pools: The size principle. *Proceedings of 27th Congress of the International Union of Physiological Sciences*, 1977, 28: 50-53
35. **Houston, M.E., Green, H.J., Stull, J.T.** Myosin light chain phosphorylation and isometric twitch potentiation in intact human muscle. *Pflügers Arch*, 1985, 403: 348-352
36. **Izquierdo, M., Aguado, X., Gonzalez, R., Lopez, J.L., Häkkinen, K.** Maximal and explosive force production capacity and balance performance in men of different ages. *Eur J Appl Physiol*, 1999, 79: 260-267

- 37. Kallas, E., Uibo, O., Talvik, T.** Lapse uurimise põhitõed I. Tartu: Atlex, 1999
- 38. Kanehisa, H., Ikegawa, S., Fukunaga, T.** Comparison of muscle cross-sectional area and strength between untrained women and men. *Eur J Appl Physiol*, 1994, 68: 148-154
- 39. Kanehisa, H., Yata, H., Ikegawa, S., Fukunaga, T.** A cross-sectional study of the size and strength of the lower leg muscles during growth. *Eur J Appl Physiol*, 1995, 72: 150-156
- 40. Keogh, J., Sugden, D.** Antropometric correlates of strength and motor performance. In: J.H. Wilmore and J.F. Keogh (Eds.). *Exercise and Sport Science Rewiew*. New York: Academic Press, 1985
- 41. Klug, G.A., Betterman, B.R., Stull, J.T.** The effect of low frequency stimulation on myosin light chain phosphorylation in skeletal muscle *J Biol Chem*, 1982, 257: 4688-4690
- 42. Klug, G.A., Leberer, E., Leisner, E., Simoneau, J.A., Pelte, D.** Relationship between parvalbumin content and speed of relaxation in chronically stimulated rabbit fast twitch muscle. *Pflügers Arch*, 1988, 411: 126-131
- 43. Kraemer, W.J., Fleck, S.J.** Strength Training for Young Athletes. Champaign: Human Kinetics, 1993
- 44. Lambertz, D., Mora, I., Grosset, J.F., Perot, C.** Stiffness properties of the plantarflexor muscles in prepubertal children. *J Appl Physiol*, 2001, 90 (1): 179-188
- 45. Lausvee, E.** Lapse anatoomia ja füsioloogia I. Tallinn: Valgus, 1990
- 46. Lausvee, E.** Lapse anatoomia ja füsioloogia II. Tallinn: Valgus, 1991
- 47. Lefevre, J., Beunen, G., Borms, J., Vrijens, J.** Sex differences in physical fitness in Flemish youth. In: J. Parizkova, A.P. Hills (Eds). *Medicine and Sport Science*, 1998, 43: pp. 54-67
- 48. Loko, J., Aule, R., Sikkut, T., Ereline, J. Viru, A.** Motor performance status in 10-17-year-old Estonian girls. *Scand J Med Sports*, 2000, 10 (2): 109-113
- 49. MacIntosh, B.R., Gardiner, P.F.** Posttetanic potentiation and skeletal muscle fatigue: interactions with caffeine. *Can J Physiol Pharmacol*, 1987, 65: 260-268

50. **MacIntosh, B.R., Grange, R.W., Cory, C.R., Houston, M.E.** Myosin light chain phosphorylation during staircase in fatigued skeletal muscle. *Pflügers Arch*, 1993, 425: 9-15
51. **Maiste, E., Matsin, T., Utso, V.** Tervise ja kehalise töövõime arendamine noorukieas. Tartu: TÜ Kirjastus, 2001
52. **Malina, R.M.** Genetics of motor development and performance. In: R.M. Malina and C. Bouchard (Eds.). *Sport and Human Genetics*. Champaign: Human Kinetics, 1986, pp. 23-58
53. **Malina, R.M.** Physical growth and biological maturation of young athletes. *Exerc. Sport Sci*, 1994, 22: 389-433
54. **Malina, R.M., Bouchard, C.** *Growth, Maturation and Physical Activity*. Champaign: Human Kinetics, 1991
55. **Malina, R.M., Bouchard, C., Bar-Or, O.** *Growth, Maturation and Physical Activity*. Champaign: Human Kinetics, 2004
56. **Martin, R.J., Dore, E., Twisk, J., van Praagh, E., Hautier, C.A., Bedu, M.** Longitudinal changes of maximal short-term peak power in girls and boys during growth. *Med Sci Sports Exerc*, 2004, 36 (3): 498-503
57. **McComas, A.J., Sica, R.E.P., Petito, F.** Muscle strength in boys of different ages. *J Neurol, Neurosurg Psychiatr*, 1973, 36:171-173
58. **McComas, A.J.** *Skeletal Muscle: Form and Function*. Champaign: Human Kinetics, 1996
59. **Mero, A., Jaakkola, L., Komi, P.V.** Serum hormones and physical performance capacity in young boy athletes during a 1-year training period. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1990, 60 (1):32-37
60. **Nelson, J.K., Thomas, J.R., Nelson, K.R., Abraham, P. C.** Gender differences in children's throwing performance: biology and environment. *Res Quart Exerc Sport*, 1986, 57 (4): 280-287
61. **Numminen, P., Välimäki, I.** Liikumine lapse ja noorukieas. Liikumine ja meditsiin. Tallinn: Medicina, 1998
62. **Parizkova, J.** *Growth, Fitness and Nutrition in Preschool Children*. Prague: Charles University, 1984

- 63. Praagh, E. van.** Pediatric anaerobic Performance. Champaign: Human Kinetics, 1998, pp. 376
- 64. Pääsuke, M., Ereline, J. Gapeyeva, H.** Comparison of twitch contractile properties of plantarflexor muscles in young and middle-aged men. *Acta Kinesiol Univ Tartu*, 1999, 4: 161-170
- 65. Pääsuke, M., Ereline, J., Gapeyeva, H.** Twitch contraction properties of plantar flexor muscles in pre- and postpubertal boys and men. *Eur J Appl Physiol*, 2000, 82: 459-464
- 66. Ramsay, J.A., Blimkie, C.J.R., Smith, K., Garner, S., MacDougall, T.D., Sale, D.G.** Strength training effects in prepubescent boys. *Med Sci Sports Exerc*, 1990, 22 (5): 605-614
- 67. Raudsepp, L., Viru, A.** Motoorne areng. Tartu: Atlex, 1996
- 68. Robertson, M.A.** Perilongitudinal screening of motor development sequences. *Res Quart Exerc Sport*, 1980, 51 (4): 724-731
- 69. Rowland, T.W.** Developmental Growth Physiology. Champaign: Human Kinetics, 1996
- 70. Sallis, J.F., Alcaraz, J.E., McKenzie, T.L., Hovell, M.F., Kolody, B., Nader, P.R.** Parental behavior in relation to physical activity and fitness in 9-year-old children. *Am J Dis Child*, 1992, 146 (11): 1383-1388
- 71. Scott, J.P.** Critical periods in organizational process. In: F. Falkner and J.M. Tanner (Eds.). *Human Growth. Vol. 1. Development Biology, Prenatal Growth.* New York: Plenum Press, 1986, pp.181-196
- 72. Seefeldt, V.D., Haubenstricker, J.L.** Patterns, phases or stages: An analytical model for the study of developmental movement. In: *The Development of Movement Control and Coordination.* New York: Wiley and Sons, 1982, pp. 309-318
- 73. Seger, J.Y., Thorstensson, A.** Gender specific development. Abstractes of XVIIth Congress of International Society of Biomechanics. Tokyo University Press, 1999, pp. 629
- 74. Seger, J.Y., Thorstensson, A.** Muscle strength and electromyogram in boys and girls followed through puberty. *Eur J Appl Physiol*, 2000, 81: 54-61

- 75. Stuart, D.S., Lingley, M.D., Grange, R.W., Houston, M.E.** Myosin light chain phosphorylation and contractile performance of human skeletal muscle. *Can J Physiol Pharmacol*, 1983, 66: 49-54
- 76. Viru, A., Loko, J., Volver, A., Laaneots, L., Sallo, M., Smirnova, T., Karelson, K.** Alterations in foundations for motor development in children and adolescents. *Coaching Sport Sci J*, 1996, 1 (4): 11-19
- 77. Vuori, J** Liikumise tähtsus tervisele. Liikumine ja meditsiin. Tallinn: Medicina, 1998
- 78. Whipple, D.V.** Dynamics of development. *Euthenic Ped*, 1996, 536: 550-562
- 79. Wickström, R.L.** Fundamental Motor Patterns (3 rd ed.). Philadelphia: Lea and Febiger, 1983, pp. 69
- 80. Wilmore, J.H, Costill D.L.** Physiology of Sport and Exercise. Champaign Human Kinetics, 1994

Twitch contractile properties of skeletal muscles in 9-10- and 16-year-old girls

Madli Toots

SUMMARY

The purpose of this study was to compare maximal voluntary isometric contraction (MVC) force and electrically evoked twitch contractile characteristics of the skeletal muscles in girls aged 9-10- years and 16- years. The subjects were 14 girls aged 9-10- years (with mean age of $9,6\pm 0,5$ years) and 14 girls aged 16-years (with mean age of $16,2\pm 0,1$ years). The study was carried out at the laboratory of Kinesiology and Biomechanics of the University of Tartu in the period of 2001-2005.

Maximal voluntary contraction force (MVC) of the plantar flexor muscles was measured by specially designed dynamometric chair. The twitch contractile properties of the plantar flexor muscles were determined by supramaximal electrical stimulation of tibial nerve in popliteal fossa by square-wave impulses with 1 ms duration. Twitch maximal force (PT), contraction time (CT), half-relaxation time (HRT), rates of force development (dF/dt) and relaxation ($-dF/dt$) were measured in resting condition and after MVC of 5 s duration (post-activation potentiation condition). The following conclusions were made:

1. 16-year-old girls had a higher MVC force of the plantar flexor muscles than 9-10-year-old girls. No significant differences in MVC force relative to body mass were found between the measured groups.
2. No significant differences in twitch PT potentiation of the plantar flexor muscles was observed in 9-10- and 16-year-old girls.
3. Twitch CT of the plantar flexor muscles in post-activation potentiation state was shorter and dF/dt was higher compared with resting state in 9-10- and 16-year-old girls. Twitch dF/dt and $-dF/dt$ in post-activation potentiation state were higher in 16-year-old girls than 9-10-year-old girls.

LISAD

Lapsevanema nõusolek laste motoorika uuringu läbiviimiseks

Töö teemaks on 9-10-a. tüdrukute skeletilihaste kontraktiilsete omaduste uurimine.

Informatsioon lapsevanemale:

Antud uurimustöös püstitati järgmised ülesanded:

1. Määrata sääre kolmpealihase tahteline isomeetriline jõud.
2. Määrata sääre kolmpealihase kontraktiilsed omadused.

Uuring viiakse läbi Tartu Ülikooli kinesioloogia ja biomehaanika laboris (Ujula 4 204). Töös püstitatud ülesannete lahendamiseks kasutatakse järgmisi seadmeid:

- Dünamomeetriline seade sääre kolmpealihase isomeetrilise jõu määramiseks
- Elektrostimulaator ja elektroodid.

Mind, _____, on informeeritud ülalmainitud uuringust ja ma olen teadlik läbiviidava uurimustöö eesmärgist, uuringu metoodikast ja kinnitan oma nõusolekut minu lapse osalemiseks selles uuringus oma allkirjaga.

Uuritava aadress ja telefon: _____

Tean, et uuringu läbiviimisega seotud küsimuste kohta saan mulle vajalikku täiendavat informatsiooni professor Mati Pääsukeselt Tartu Ülikooli kinesioloogia ja biomehaanika laboratooriumist, Tartu Ujula 4-204, tel 7 367 286 ja e-mail: matip@ut.ee

(kuupäev, kuu, aasta)

(lapsevanema allkiri)

Uuritava informeerimine ja teadliku nõusoleku leht

Töö teemaks on 16-a. tüdrukute skeletilihaste kontraktiilsete omaduste uurimine.

Informatsioon uuringus osalejale :

Antud uurimustöös püstitati järgmised ülesanded:

1. Määrata sääre kolmpealihase tahteline isomeetriline jõud.
2. Määrata sääre kolmpealihase kontraktiilsed omadused.

Uuring viiakse läbi Tartu Ülikooli kinesioloogia ja biomehaanika laboris (Ujula 4 204). Töös püstitatud ülesannete lahendamiseks kasutatakse järgmisi seadmeid:

- Dünamomeetriline seade sääre kolmpealihase isomeetrilise jõu määramiseks
- Elektrostimulaator ja elektroodid.

Mind, _____, on informeeritud ülalmainitud uuringust ja ma olen teadlik läbiviidava uurimustöö eesmärgist, uuringu metoodikast ja kinnitan oma nõusolekut osalemiseks selles uuringus oma allkirjaga.

Uuritava aadress ja telefon: _____

Tean, et uuringu läbiviimisega seotud küsimuste kohta saan mulle vajalikku täiendavat informatsiooni professor Mati Pääsukeselt Tartu Ülikooli kinesioloogia ja biomehaanika laboratooriumist, Tartu Ujula 4-204, tel 7 367 286 ja e-mail: matip@ut.ee

(kuupäev, kuu, aasta)

(allkiri)