

TARTU ÜLIKOOL
Kehakultuuriteaduskond
Spordipedagoogika ja treeninguõpetuse instituut

EVELIN LÄTT

**ERINEVATE ANTROPOMEETRILISTE, BIOMEHAANILISTE JA
FUNKTSIONAALSETE NÄITAJATE MÕJU NOORUJAJATE UJUMISTULEMUSELE**

Magistritöö

Juhendajad: Dotsent Jaak Jürimäe, PhD

Lektor Kaja Haljaste, MSc

Tartu 2007

SISUKORD

LÜHENDITE LOETELU.....	3
PUBLIKATSIOONID	4
1 SISSEJUHATUS.....	5
2 KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	7
2.1 Ujujate antropomeetriline iseloomustus.....	7
2.2 Ujumistulemust iseloomustavad funktsionaalsed näitajad.....	11
2.2.1 Maksimaalne hapnikutarbimine	11
2.2.2 Energiakulu ujumisdistantsi läbimisel.....	14
2.3 Ujumistulemust iseloomustavad biomehaanilised näitajad.....	16
3 UURIMISTÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED.....	21
4 METOODIKA.....	22
4.1 Uuritavate üldiseloomustus ja uuringu korraldus.....	22
4.2 Antropomeetriliste näitajate ja keha koostise parameetrite määramine	23
4.3 Maksimaalse hapnikutarbimise määramine.....	23
4.4 Ujumise energiakulu ja tõmbe biomehaaniliste näitajate määramine	24
4.5 Andmete statistiline analüüs.....	25
5 TULEMUSED.....	26
6 TULEMUSTE ARUTELU.....	32
6.1 Ujumistulemust mõjutavad antropomeetrilise näitajad.....	32
6.2 Ujumistulemust mõjutavad funktsionaalsed näitajad.....	34
6.2.1 Maksimaalne hapnikutarbimine	34
6.2.2 Ujumise energiakulu.....	35
6.3 Ujumise biomehaanilised näitajad.....	37
6.4 Antropomeetriliste, funktsionaalsete ja biomehaaniliste näitajate seos ujumistulemusega.....	40
7 JÄRELDUSED.....	41
8 KASUTATUD KIRJANDUS	42
9 SUMMARY	50

LÜHENDITE LOETELU

KMI- kehamassi indeks

SR - tõmbesagedus

SL - tõmbepikkus

SI - tõmbeindeks

v - ujumiskiirus

Cs - energiakulu

VCO_2 – süsihappegaasi ventilatsioon

VO_2 - hapnikutarbimine

V_E – minuti ventilatsioon

VT - hingamismaht

RER – keskmine hingamiskoeffitsient

VO_{2max} – maksimaalne hapnikutarbimine

Δla – maksimaalne vere laktaadisisalduse tõus

PUBLIKATSIOONID

1. **Lätt, E.**, Haljaste, K., Cicchella, A., Purge, P., Jürimäe, T., Jagomägi, K., Jürimäe, J. Energy cost during front crawl swimming predicting success in boys at different biological ages. X-th International Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming. Porto, Portugal, June 21-24, 2006, p. 94-95.
2. Jürimäe, T., **Lätt, E.**, Haljaste, K., Cicchella, A., Purge, P., Leppik, A., Jürimäe, J. Different physical, physiological and biomechanical determinants of swimming performance in young swimmers. XI-th Annual Congress of the European College of Sport Science. Lausanne, Switzerland, July 5-8, 2006, p. 332.

1 SISSEJUHATUS

Võistlusujumine eeldab, et andekas ujuja arendab oma tehnikat ja kehalist konditsiooni võimalikult kõrgele tasemele, et tagada edu eelujumistest kuni finaali. Edu rahvusvahelistel võistlustel saavutatakse 6 kuni 16 aastase pingelise treeningu tulemusena. Edu võti ei seisne ainult tugevas treeningus, vaid eesmärgipärasel ja hoolikas treenimises, kus oluline osa on treeneri intuitsioonil, kogemustel ja teaduslikel teadmistel (Smith *et al.*, 2002).

Täiskasvanud ujujatel on uuritud erinevaid võistlustulemust mõjutavaid parameetreid suhteliselt palju. Heade ujumistulemuste saavutamiseks on vaja erinevaid kehalisi võimeid nagu vastupidavus, jõud, kiirus, koordineeritus ja painduvus. Ujumistulemust mõjutavad ka spetsiifilised antropomeetrilised, füsioloogilised ja biomehaanilised näitajad (Poujade *et al.*, 2002; Tsekouras *et al.*, 2005; Zamparo *et al.*, 2005; Hue *et al.*, 2006).

Ujumine on ebataoline spordiala, sest treener peab olema võimeline korrigeerima sportlase tehnilisi puudujääke spetsiifilises keskkonnas, kus sportlase enda nägemine ja kehatunnetus on üsna piiratud ning treeneri ülesandeks on anda tagasisidet ujumistehnika kohta (Leonard 1992). Sportlasele objektiivse informatsiooni andmiseks on vajalikud nii järjepidev treeningu monitooring kui ka ujumistehnika analüüs. Täpsemalt võib öelda, et parim võistlustulemus ujumises sõltub energiakulust, mis on vajalik sportlase keha edasiviimiseks läbi vee (Capelli *et al.*, 1998; Zamparo *et al.*, 2000). On leitud, et energiakulu erineb ujujatel suurel määral, sõltudes peamiselt ujujate spetsiifilistest antropomeetristest (Chatard *et al.*, 1985) ja ujumise biomehaanilistest (Montpetit *et al.*, 1981) näitajatest.

Enamikes ujumise biomehaanikaalastes uuringutes on uuritud tõmbesageduse (SR) ja tõmbepikkuse (SL) mõju ujumistulemusele (Capelli *et al.*, 1995; Wakayoshi *et al.*, 1995; Poujade *et al.*, 2002; Huot-Marchand *et al.*, 2005; Leblanc *et al.*, 2005). Lisaks sellele on Costill *et al.* (1985) kasutanud tõmbeindeksit (SI) kui ujumise ökonoomsuse näitajat ning antud näitaja on parem ujujatel, kes samal ujumiskiirusel läbivad ühe tõmbega pikema distantsi. Nii võib spekuloida, et sarnaselt hästi treenitud täiskasvanud ujujatega (Costill *et al.*, 1985) on tõmbeindeks üheks põhiliseks ujumise ökonoomsuse näitajaks ka prepuberteedialistel ja puberteedialistel lastel.

Väga vähe uuringuid on teostatud erinevate antropomeetriliste, füsioloogiliste ja ujumistehnika parameetrite osakaalu kohta laste ujumistulemuse määramisel. Nii näiteks kasutasid Poujade *et al.* (2002) ja Zamparo *et al.* (2000) oma uuringus vanemaid kui 12 aastaseid lapsi ujumise energiakulu määramisel maksimaalse 400 meetri rinnulikrooli läbimisel. Meile teadaolevalt ei ole varem läbi viidud ühtegi sellist uuringut prepuberteedialiste ujujatega. Käesoleva magistratöö eesmärgiks oligi uurida nii puberteedialiste kui ka prepuberteedialiste noorujujate võistlustulemust mõjutavaid erinevaid antropomeetrilisi, keha koostise, ujumise bioenergeetilisi ja ujumise biomehaanilisi parameetreid.

2 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

2.1 Uujate antropomeetriline iseloomustus

Ujumisega alustatakse tavaliselt väga varajases eas, soovitatavalt 6-9. aasta vanuselt, spetsialiseerumine toimub poistel umbes 12-13. eluaastal ning esimene suur edu saavutatakse 15-17. aasta vanuselt (Maglischo, 2003). Erinevad autorid on oma töödes uurinud antropomeetriliste näitajate ja ujumistulemuste vahelist seost (Klentrou & Montpetit, 1991; Siders *et al.*, 1993). Heaks uujaks saamise eelduseks on keskmisest suurem kehapikkus, laiad õlad, kitsad puusad, pikad üla- ja alajäsemed, suured käe- ja jalalabad, suur käte siruulatus võrreldes keha pikkusega ning samuti hea veetunnetus (Hoare, 2001).

Kasvamist võib defineerida kui kehamassi või -pikkuse kvantitatiivset suurenemist (Malina *et al.*, 2004). Kasvamine viitab mõõdetatavatele muutustele keha suuruses ja keha koostises (Beunen & Malina, 1996). Erinevate antropomeetriliste mõõtmiste eesmärk ongi hinnata ja jälgida laste kasvamist. Kehapikkust peetakse esmatähtsaks antropomeetriliseks tunnuseks ning ta on seotud teiste keha antropomeetriliste parameetritega (Wilmore & Costill, 1994). Kuni 10. eluaastani on poisid ja tüdrukud kehaehituselt suhteliselt sarnased (Roemmich & Rogel, 1995). Vahetult puberteedi eel suurenevad märgatavalt muutused kasvamises ning see jätkub kuni saavutatakse täiskasvanu kehapikkus. Seoses puberteedi algusega hakkab pikkusesse kasv poistel kiirenema ligikaudu 12. aasta vanuselt (Roemmich & Rogel, 1995). Kasvuspurt poistel algab umbes 14. aasta vanuselt, kus aastane pikkuse juurdekasv võib olla kuni 12 cm aastas ja kasvamine toimub keskmiselt 18. eluaastani (Wilmore & Costill, 1994).

Inimese kehamassi määravad kõik keha koostise komponendid. Kehamass suureneb üldiselt paralleelselt kehapikkuse kasvuga, kuna need näitajad on omavahel tugevasti seotud, kuid kasvuspurdi perioodil jääb kehamassi juurdekasv tavaliselt kehapikkuse kasvust maha. Kehamass suureneb prepuberteediealistel lastel lineaarselt vanuse suurenemisega (Roemmich & Rogel, 1995). Seoses puberteedieaga suureneb 14. aasta vanustel poistel kehamass keskmiselt 9,5 kg aastas (Roemmich & Rogel, 1995). Poistel suureneb kehamass enamasti lihasmassi suurenemise arvelt. Lihasmassi suurenemine teeb puberteedieas samuti läbi kasvuspurdi ning see on tunduvalt suurem kui pikkuse kasvuspurt. Peale skeleti kasvuspurdi väheneb järsult luude kasvamise määr võrreldes lihaste kasvuga, mis tähendab, et lihasmassi suurenemine toimub edaspidi kiiremini kui pikkuse suurenemine (Bogin, 1999).

Eliitujad 19-23. aasta vanuses, kes osalevad rahvusvahelise tasemega võistlustel, on üldjuhul üle 180 cm pikad ja kaaluvad keskmiselt 80 kg (Leblanc *et al.*, 2005; Dunman *et al.*, 2006). Damsgaard *et al.* (2001) on leidnud, et prepuberteediealised ujujad on statistiliselt oluliselt lühemad puberteediealistest ujujatest. Kõige kiirem kasvuperiood ujujatel on leitud 12-15. aasta vanuses, kusjuures kõige suurem aastane juurdekasv on 13-14. aasta vanuses (Vorontsov *et al.*, 1999). Kui 11. aasta vanuselt olid ujujad $149,6 \pm 5,9$ cm pikad, siis 13. aasta vanuselt olid samad uuritavad $159,3 \pm 7,0$ cm pikad ja 15. aasta vanuselt $173,4 \pm 4,4$ cm pikad (Vorontsov *et al.*, 1999). Vorontsov *et al.* (1999) leidis ujujatel poistel 11. eluaastast kuni 18. eluaastani 21% kehapiikkuse suurenemise. On leitud, et ujujad (vanuses $11,2 \pm 2,0$ aastat) on pikemad kui sama bioloogilise vanusega mitteujujad (Vorontsov *et al.*, 1999).

Noorujate kehamassi näitajad on madalamad kui täiskasvanutel. 11-16. aastastel ujujatel on kehamass vahemikus 42-68 kg. Kui 15 aastane nooruja võib kehapiikkuselt olla sarnane eliitujatega, siis kehamassi näitajad on tunduvalt väiksemad (Vorontsov *et al.*, 1999). Suurim kehamassi juurdekasv on ujujatel 14-15. aasta vanuselt, kui 11. aasta vanuselt olid uuritavate kehamass $38,7 \pm 3,4$ kg, siis 13. aasta vanuselt oli samade uuritavate kehamass $48,5 \pm 5,8$ kg ja 15. aasta vanuselt $62,9 \pm 6,6$ kg (Vorontsov *et al.*, 1999). Vorontsov *et al.* (1999) leidis ujujatel poistel 11. eluaastast kuni 18. eluaastani 89% kehamassi suurenemise. Peale pikkuse ja kehamassi on enam mõõdetud antropomeetrilised näitajad ujujatel veel käte siruulatus, üla- ja alajäsemete pikkus, käe- ja jalalaba pikkus (Klentrou & Montpetit, 1991). Käte siruulatus ületab rahvusvahelise tasemega ujujatel kehapiikkust, seda näitajat peetakse oluliseks heade ujumistulemuste saavutamisel ka noorujate puhul (Dunman *et al.*, 2006). Näiteks Suurbritannia olümpiakoondise ujujatel oli keskmine käte siruulatus $193,8 \pm 5,6$ cm ning keskmine kehapiikkus $186,7 \pm 4,0$ cm, jala- ja käelaba pikkused olid vastavalt $27,3 \pm 0,9$ cm ja $19,8 \pm 0,8$ cm (Dunman *et al.*, 2006).

Keha koostise hindamisel on kasutusel nii mitmekomponendilised kui ka kahekomponendilised mudelid. Kõige laialdasemalt levinud mudel keha koostise iseloomustamiseks on kahekomponendiline mudel, mille alusel jaotatakse kehamass rasvavabaks komponendiks ja rasvakomponendiks (Roche *et al.*, 1996). Mitmekomponendilise mudeli puhul jaotatakse kehamass rasvamassiks ja rasvavabaks massiks, mis omakorda jaguneb keha vedelikeks ja rasvavabaks kuivaks komponendiks, mis sisaldab proteiine, glükogeeni, luude mineraalaineid ja pehmete kudede mineraale (McArdle *et al.*, 1991; Roche *et al.*, 1996; Heyward, 1998). Lastel on

suurem keha vedeliku sisaldus võrreldes täiskasvanutega ja tunduvalt väiksem luude mineraalide sisaldus (Bogin, 1999). Ujumises on oluline keha rasvasisalduse ja keha veetakistuse vaheline suhe. Keha veetakistust defineeritakse, kui vastupanu, mis tekib keha liikumisel läbi vee ja mille põhjustavad keha suurus, ujumise kiirus ning biomehaanilised faktorid (Goldsmith *et al.*, 2000). Keha rasvasisalduse ja ujumistulemuse vahel on leitud erinevaid seoseid, üheks põhilisemaks on, et keha rasvasisalduse suurenemisega võib suurened ka keha veetakistus (Brooks *et al.*, 2004).

Noores eas on võistlusspordiga tegelemine seotud nii muutustega keha koostises kui ka keha proportsioonides (Damsgaard *et al.*, 2001). Märkimisväärsed muutused keha koostises ilmnevad eriti puberteedia jooksul. Enamus poistel toimub noorukieas kiire kehamassi suurenemine ja keha rasvasisalduse vähenemine (Malina *et al.*, 2004). Tavaliselt on ujujatel suurem keha rasvasisaldus, kui jooksjatel, ratturitel ja murdmaasuusatajatel (Brooks *et al.*, 2004). Suurem keha rasvavaba mass on plussiks vastupidavust nõudvatel ujumisdistsantsidel. Keha rasvasisaldus ujujatel varieerub suuresti, rasvaprotsent rahvusvahelise klassiga meesujujatel on leitud 6-12% ja naistel 10-18% sõltuvalt võistlusdistsantsi pikkusest (Wilmore & Costill, 1994). Kõige väiksem rasvaprotsent on pikamaaujujatel ($6,3 \pm 2,4\%$) (Zamparo *et al.*, 2005). Ka noorujujatel $15,3 \pm 1,4$ aastat vanuses on täheldatud suurt erinevust keha rasvaprotsendi osas, rasvaprotsent kõigub vahemikus $7,1 \pm 1,8 \%$ (Thanopoulos *et al.*, 2006) kuni $17,8 \pm 4,2 \%$ (Poujade *et al.*, 2002).

Inimese kronoloogiline ja bioloogiline vanus ei ole alati samad. Erinevus võib tekkida igal eluetapil seoses organismi pideva dünaamilise muutumisega. Organsüsteemide adaptatsioon välismõjudele toimub vastavalt bioloogilisele vanusele, seetõttu on bioloogilise vanuse määramine funktsionaalsete võimete hindamisel olulise tähtsusega (Brooks *et al.*, 2004). Sama kronoloogilise vanusega lastel võivad füsioloogilised näitajad vägagi palju erineda (Beunen & Malina, 1996). Bioloogilist vanust saab lastel määrata: 1) skeleti ja luude vanuse määramisega (Beunen & Malina, 1996; Malina *et al.*, 2004); 2) sugulise küpsuse määramisega (Beunen & Malina, 1996); 3) kehalise (somaatilise) küpsuse määramisega (Beunen & Malina, 1996).

Bioloogilise ja kronoloogilise vanuse erinevus võib olla eriti suur puberteediperioodil, mil organismi areng on suhteliselt kiire võrreldes teiste eluperioodidega, kuid individuaalselt väga erinev. 13-14. aastaste laste bioloogiline vanus võib varieeruda 9-16. eluaasta vahel. Laps on jõudnud tegelikult puberteeti siis, kui tema luuline vanus vastab puberteediale. Skeleti küpsemise kiirus varieerub indiviiditi üsna palju. Luulist küpsust hinnatakse luude kasvujoonte

luustumise järgi röntgenpildi alusel. Tavaliselt võrreldakse seda etaloni alusel ja antakse küpsemise kohta subjektiivne hinnang (Brooks *et al.*, 2004). Skeleti vanuse hindamisel lähtutakse sellest, et küpsemal lapsel on luud rohkem arenenud ja vähem kõhrestunud kui vähem arenenud lapsel (Rowland, 1996). Poiste luude kaal on võrreldes tüdrukutega suurem juba lapseeas, aga eriti hästi tuleb see esile kasvuspurdi ajal (Malina *et al.*, 2004). Ujujatel on leitud madalam luude tihedus võrreldes teiste sportlastega (Harries *et al.*, 1994).

Suguline küpsemine on üks lihtsamaid viise bioloogilise vanuse hindamisel. Enam kasutatav on Tanneri skaala meetod, mis on välja arendatud Tanneri poolt 1950. aastatel (Tanner & Whitehouse, 1976). Selle meetodi puhul hinnatakse sugulist küpsust sekundaarsete sugutunnuste visuaalse hindamise alusel (Tanner & Whitehouse, 1976). Kuigi antud meetod on lihtsalt kasutatav, võib selle kasutamine olla problemaatiline laste hulgas, kes võivad olla mures oma kehaliste muutuste pärast. Kehalise küpsemise määramisel hinnatakse aega, millal ilmneb maksimaalne kasvukiiruse suurenemine. See on ajal, mil lastel on noorukiea kasvuspurt. Tavaliselt ilmneb see poistel 13-14. aasta vanuselt (Brooks *et al.*, 2004).

On leitud, et 100 meetri ujumistulemus 7-17. aasta vanustel poistel sõltub suuresti keha somaatilistest tunnustest (Vorontsov *et al.*, 1999). See eeldab, et aastate jooksul, mil toimub kasvamine, on ujumistulemus mõjutatud rohkem biomehaanilistest faktoritest ja vähem aeroobsest ja anaeroobsest võimekusest. Samas on Vorontsov *et al.* (1999) leidnud, et lihasjõud ja võimusus sama kronoloogilise vanusega noorujujatel võib oluliselt erineda ning selline erinevus mängib olulist rolli ujumistulemuste saavutamisel. Poisid, kellel küpsemine toimub varem, saavutavad häid sportlike tulemusi varem kui hilisema sugulise küpsemisega poisid, kuid samas täheldatakse neil tihti ka hilisemat arengu pidurdumist (Malina, 1994).

Kokkuvõtteks võib öelda, et head ujujad on suhteliselt pikka kasvu, suure käte siruulatusega võrreldes kehapikkusega, suurte käe- ja jalalabadega ning nende näitajate olemasolu hinnatakse ka noorujujatel. Ujujaid iseloomustab suhteliselt suur lihasmass ja väike rasvamass. Ujumise puhul on oluline hinnata noorujujate bioloogilise vanuse erinevust kronoloogilisest vanusest, kuna see mõjutab oluliselt ujumistulemust.

2.2 Ujumistulemust iseloomustavad funktsionaalsed näitajad

2.2.1 Maksimaalne hapnikutarbimine

Aeroobne kehaline tegevus seostub maksimaalse hapnikutarbimisega (VO_{2max}), mis on üldtuntud ja sageli kasutatud parameeter erinevate vastupidavusalade sportlaste funktsionaalsete võimete hindamiseks (Latin & Elias, 1993; Armstrong *et al.*, 1998; Hoffman, 2002; Larsen *et al.*, 2002). Maksimaalset hapnikutarbimist defineeritakse kui hapniku hulka ajaühikus, mis saadakse atmosfäärist ja transporditakse sportlase organismi kudedesse (Kent, 1998; Bassett & Howley, 2000). Maksimaalne hapnikutarbimine on enamkasutatav näitaja iseloomustamiseks aeroobse suunitlusega treeningute mõju organismile, lisaks sellele on maksimaalse hapnikutarbimise näitajaid kasutatud erinevate treeningukoormuste doseerimiseks (Bassett & Howley, 2000). Suured VO_{2max} näitajad üksi ei garanteeri automaatselt kõrgel tasemel töövõimet. Mitmed teised näitajad, nagu näiteks liikumistehnika ja füsioloogilised näitajad, mõjutavad samuti soorituse tulemust. VO_{2max} oleneb paljudest teguritest, nagu anotoomilis-füsioloogilised näitajad, südame-vereringe ja hingamissüsteemi talitluslik seisund ning vere hulk ja koostis (Maglischo, 2003). Veel oleneb VO_{2max} suurus soost, kehalisest aktiivsusest, geenidest, east, spordialast, keha kompositsioonist, sportlase tasemest, treeninguperioodist ja kõrgusest merepinnast (Costill *et al.*, 1992).

VO_{2max} saab väljendada kas absoluutsetes hapniku tarbimise näitajatena ajaühikus (l/min) või siis suhtelise hapniku tarbimise hulkana kilogrammi kehakaalu kohta (ml/min/kg). Uurimistulemused näitavad, et treeningu mõjul suureneb maksimaalne hapnikutarbimine 6-35% võrra (Costill *et al.*, 1992). Maksimaalse hapnikutarbimise arendamine ja eriti selle ulatus on sõltuvuses konkreetsest spordialast ja treeningu iseloomust. Kehalisel koormusel suureneb hapniku kasutamine vastavalt pingutuse raskusele. Absoluutne maksimaalse hapnikutarbimise tase suureneb vanuse, kasvamise ja küpsemisega (Costill *et al.*, 1992). Üldiselt on aeroobse vastupidavuse treenitus enne puberteeti väiksem kui puberteedi ajal ja peale seda. Üheks peamiseks maksimaalset hapnikutarbimist limiteerivateks faktoriteks on südame löögimaht ja südame minutimaht (McArdle *et al.*, 1991), mis suurenevad koos treenituse kasvuga. Hapniku transpordi süsteemi oluliseks komponendiks on samuti vere võime transportida hapnikku. Punaste vereliblede arv ja veremaht on põhilised vere parameetrid, mis on tähtsad hapniku transpordil (Maglischo, 2003). Punased verelibled sisaldavad omakorda hemoglobiini, mis seob

hapnikku. Sportlastel on üldiselt suurem veremaht ja suurem arv punaseid vereliblesid võrreldes treenimata inimestega (Maglischo, 2003).

Kõige täpsemad VO_{2max} mõõtmised on teostatud laboratoorses tingimustes, kus uuritav sooritab maksimaalse astmeliselt tõusvate koormustega testi. Maksimaalse hapnikutarbimise mõõtmisel määratakse hingamismaht, hingamise minutimaht, maksimaalne kopsude ventilatsioon, hingamissagedus ja kopsumaht (Costill *et al.*, 1992; Grant *et al.*, 1999; Greenhalgh *et al.*, 2001; Larsen *et al.*, 2002). Hingamismaht on tavalisel hingamisel sisse- ja väljahingatava õhu kogus. Hingamise minutimaht on ühe minuti kestel sisse- ja välja hingatava õhu kogus. Maksimaalne kopsude ventilatsioon on suurim kopsusid läbiva õhu hulk ühes minutis (Costill *et al.*, 1992). Erinevat tüüpi aeroobse töövõime testimiseks on erinevaid võimalusi: jooksmine või kõndimine linttrenažööril, veloergomeeter, sõudmise ergomeeter ja teised meetodid. Et kajastada sportlase aeroobset töövõimet võimalikult täpselt, tuleks maksimaalset hapnikutarbimist sportlastel määrata vastava spordiala tingimustes (Maglischo, 2003).

Maksimaalse hapnikutarbimise määramine ujumisebasseinis ei ole lihtne protseduur. Kasutatud on põhiliselt järgmisi meetodeid (Costill *et al.*, 1992):

1. otsene hapnikutarbimise mõõtmine ujumise ajal;
2. õhu kogumine koheselt peale maksimaalset 300-400 meetri ujumist.

Hapniku kogumisel koheselt peale distant si läbimist ei ole vaja kasutada ujumise ajal ühtegi maski ega voolikut, nii saab sportlane ujuda loomulikult ning sooritada pöördeid. Koheselt peale ujumise lõpetamist paigaldatakse ujujale mask (1-2 sekundit peale ujumise lõppu) ja ta hingab 20 sekundi jooksul peale ujumist hapniku kogumise aparati. Peale seda määratakse kogutud õhu hulk ja hapniku kogus selle õhus (Costill *et al.*, 1985; Rodriguez, 1999; Zamparo *et al.*, 2000; Maglischo, 2003; Rodriguez *et al.*, 2003; Tsekouras *et al.*, 2005; Zamparo *et al.*, 2005). Hapniku tarbimise väärtused, mis on saadud antud ekstrapoleerimise meetodiga, kajastavad hapniku tarbimist viimasel minutil ja on oletatavasti samaväärsed sportlase hapnikutarbimisega ujumise ajal (Costill *et al.*, 1985; Rodriguez, 1999; Zamparo *et al.*, 2000; Maglischo, 2003; Rodriguez *et al.*, 2003; Tsekouras *et al.*, 2005; Zamparo *et al.*, 2005).

Maksimaalse hapnikutarbimise väärtused kasvavad koos lapse kasvamisega. Puberteedieas kiireneb poistel maksimaalse hapnikutarbimise suurenemine ning see tomub kuni 18. eluaastani

(Harries *et al.*, 1994). Maksimaalse hapnikutarbimise absoluutsed väärtused kasvavad poistel lineaarselt pikkuse, keha massi ja vanusega. Puberteedieast alates suureneb poistel lihasmass ning sellega seoses ka maksimaalne hapnikutarbimine (Harries *et al.*, 1994). Maksimaalne hapnikutarbimine on tugevasti seotud kehamassiga ja lihasmassi hulgaga organismis. Minuti ventilatsioon kasvab koos harjutuse intensiivsuse tõusuga, mis tuleneb hingamissageduse ja kopsumahu suurenemisega nii lastel kui ka täiskasvanutel. Et saavutada töö ajal suuri minutimahu väärtusi, suureneb lastel võrreldes täiskasvanutega hingamissagedus, kuid samal ajal jääb laste kopsumaht võrreldes täiskasvanutega madalamaks (Brooks *et al.*, 2004). Maksimaalne kopsumaht, mis on tugevalt seotud kogu kopsude mahtuvusega, kasvab koos vanusega poistel kuni 15. eluaastani. Peale seda on kasv rohkem järkjärguline ja muutuv kuni saavutatakse täiskasvanuea väärtused. Maksimaalne kopsude ventilatsioon kasvab seoses vanusega kogu noorukiea. Töövõime ja maksimaalne hapnikutarbimine kasvavad järk järgult kogu lapsepõlve jooksul ning puberteedieas kasvab see näitaja poistel oluliselt. Absoluutsetes näitajates on poistel 16. aasta vanuselt aeroobne töövõime peaaegu 50% suurem kui tüdrukutel. Hapniku transpordi suurenemine poistel puberteedieas on põhiliselt seotud lihasmassi kasvuga ja südame suurenemisega (Brooks *et al.*, 2004).

Maksimaalne hapnikutarbimine suureneb koos ujumiskiiruse suurenemisega. Täiskasvanud ujujatel on maksimaalne hapnikutarbimine suurem kui noortel. Noorujujatel 10-16. aasta vanuses on suhteliselt madalad maksimaalse hapnikutarbimise näitajad (54-60 ml/min/kg) võrreldes samaealiste jooksjate (60-78 ml/min/kg) või jalgratturitega (60-68 ml/min/kg) (Vorontsov & Solomatin, 1990; Baxter-Jones *et al.*, 1993). Maksimaalse hapnikutarbimise suurenemine ujujatel poistel toimub 12-16. aasta vanuses, kusjuures kõige suuremat juurdekasvu võib täheldada 14-15. aasta vanuselt (Vorontsov *et al.*, 1999). Vorontsov *et al.* (1999) pikaajalisest uuringust on näha, et 11. aastastel noorujujatel on maksimaalse hapnikutarbimise näitaja $1,70 \pm 0,31$ l/min, 13. aastastel on samadel uuritavatel vastav näitaja $2,30 \pm 0,43$ l/min, 15. aastastel $3,53 \pm 0,53$ l/min ning 17. aastastel $4,23 \pm 0,54$ l/min (Vorontsov *et al.*, 1999). Eliitujujatel on Fernandes *et al.* (2006) leidnud maksimaalse hapnikutarbimise näidud $4,34 \pm 1,32$ l/min ning Dekerle *et al.* (2005) $5,87 \pm 7,13$ l/min.

Seega võib öelda, et maksimaalne hapnikutarbimine on üks enim määratud funktsionaalne näitaja ujujatel. Väga oluline on, et maksimaalse hapnikutarbimise määramine toimuks

spordialale omastes tingimustes, kuna see kajastab kõige paremini sportlase aeroobset töövõimet antud spordialal.

2.2.2 Energiakulu ujumisdistantsi läbimisel

Mitmed uuringud on püüdnud mõista energeetiliste tegurite mõju ujumistulemusele. Enamus neist uuringutest on keskendunud sellele, et mõista aeroobsete süsteemide energiatootmist. Liikumise energiakulu (Cs) defineeritakse, kui ainevahetuslikku energiat, mis kulutatakse keha liikumiseks mingil kindlal distantsil ning mis on üks peamine füsioloogiline tegur parima ujumistulemuse saavutamiseks. Ujumisel hinnatakse energiakulu, kui hapnikutarbimist ja sellele vastava keskmise kiiruse suhet (Capelli *et al.*, 2006). Osades uuringutes on kasutatud ka vere laktaaditaseme määramist (Capelli *et al.*, 1998). Teades energiakulu, on võimalik määrata: 1) maksimaalse ainevahetusliku energia võimsuse suurenemine ja 2) energiakulu vähenemine, mis mõjutab ujumistulemuse paranemist (Capelli *et al.*, 2006).

Energiakulu hindamiseks kasutatavat maksimaalset hapnikutarbimist on vaadatud kui ühte paremat aeroobse kehalise võimekuse näitajat, kuna see kirjeldab kardiovaskulaarse süsteemi maksimaalset mahutavust ja aeroobse süsteemi potentsiaali toota energiat. Hapnikutarbimise mõõtmine ujumise ajal ja pärast ujumist pakub kaudse võimaluse hinnata energiakulu ujumises. Kuna ujuja vajab vees edasiliikumiseks energiat, mis on mõjutatud tema keha suurusest, vanusest ja kehalise võimekuse tasemest, siis VO_{2max} väljendatakse suhtelise näitajana kehamassi kohta (ml/min/kg). Sellest tulemusest on võimalik arvutada kalorete hulk, mis kulub töö tegemisele ühes minutis. Et rahuldada puhkeaja energiavajadust, vajab keha keskmiselt 0,20 - 0,35 l hapnikku minutis, see on umbes 1,0 - 1,8 kcal/min. Päevane kalorivajadus sõltub väga paljudest asjaoludest nagu näiteks kehalise aktiivsuse tasemest, vanusest, soost, pikkusest, kehamassist ja keha koostisest (Costill *et al.*, 1992; Wilmore & Costill, 1994).

Energia hulk, mida kulutatakse erinevate kehaliste tegevuste juures, sõltub harjutuse intensiivsusest ja tüübist (Wilmore & Costill, 1994). Võistlusujumise distantsid varieeruvad 50 - 1500 meetrini. Harjutuse intensiivsus ja vastavalt sellele aeroobsete ja anaeroobsete protsesside tähtsus varieerub suuresti, sõltudes harjutuse kestvusest ja seega distantsi pikkusest (Ogita, 2006). Ujumisel kuluvat energiat hinnatakse tavaliselt hapnikutarbimise määramisega maksimaalse ujumise ajal, kiirusel, mis on peaaegu sarnane võistluskiirusele (Costill *et al.*,

1992). Edu või ebaedu ujumises sõltub suurel määral lihaste võimest toota energiat, mida on vaja edasiliikumiseks läbi vee. Energiakulu ujumise ajal sõltub ujumiskiirusest ja mehaanilisest efektiivsusest ning keha edasiviimiseks ja veetakistuse ületamiseks kuluvast energiast, mida väljendatakse teinekord ka energiaga, mida vajatakse 1 meetri läbimiseks (Brooks *et al.*, 2004). Seda soovitatakse kasutada ka kui ühte põhilisemat ujumistulemuse mõjutajat (Di Prampero, 1986).

Ujumise energiakulu on tavaliselt mõõdetud rinnulikrooli ujumises, määrates hapnikutarbimist maksimaalsel edasiliikumise kiirusel. Uurijad on keskendunud sellele, et selgitada välja hinnanguline energiakulu, mis vastaks võistlustel kuluvale energia hulga ning milline võiks olla seda iseloomustav ökonoomne liikumine, mis omakorda sõltub vanusest, soost ja ujuja tasemest. Energiakulu hindamine ujumise ajal annab kasuliku vahendi mõõtmaks muutusi ujumistehnika näitajates ja hindamaks ujujate aeroobset võimekust. (Montpetit *et al.*, 1988; Toussaint *et al.*, 1990).

Erinevates uuringutes on leitud, et energiakulu suureneb koos ujumiskiiruse suurenemisega, millega kaasneb ka keha veetakistuse suurenemine (Wakayoshi *et al.*, 1995; Poujade *et al.*, 2002; Zamparo *et al.*, 2005). Liigutuste tehnika ja metaboolne ökonoomsus avaldavad mõju eeskätt energiakulule. Sama intensiivsusega töö puhul võib ühe indiviidi energiakulu olla oluliselt suurem kui teisel. Seda seostatakse eelkõige liigutuste tehnika ebatäiuslikkusega. Liikumistehnika ökonoomsusega kaasneb treeningu mõjul ka metaboolsete energiatootmismehhanismide efektiivsuse ja ökonoomsuse kasv, seega kulub sama töö tegemiseks tunduvalt vähem energiat ning olemasoleva energeetilise varuga on võimalik sooritada suuremat tööhulka (Brooks *et al.*, 2004). Maksimaalne tulemus ujumises, nii nagu ka teistes inimese liikumise vormides, nagu näiteks jooksmine ja jalgrattasõit, sõltub sportlase maksimaalsest ainevahetuslikust võimsusest ja liikumise ökonoomsusest (Zamparo *et al.* 2000). Rinnulikrooli ujumises on leitud oluline seos energiakulu ja ujumise kiiruse ning energiakulu ja tõmbesageduse vahel (Wakayoshi *et al.*, 1995).

Seega on pakutud, et ujuja, kes läbib ette antud kiirusel ühe tõmbega pikema distantsti, kulutab vähem energiat vee kineetilise energia muutmisele (mida nimetatakse raisatud energiaks) ning rohkem energiat veetakistuse ületamiseks (mida nimetatakse kasulikuks energiaks) (Toussaint, 1990). Laste ja noorukite lihastööd iseloomustab täiskasvanutega võrreldes väikesem

mehaaniline kasutegur, seega kulutab laps sama töö teostamiseks rohkem energiat ja hapnikku (Brooks *et al.*, 2004). Noorujate energiakulu võrreldes täiskasvanutega on samal ujumiskiirusel suurem (Zamparo *et al.*, 2000).

Varasematest uuringutest on leitud seos ujumiskiiruse ja energiakulu vahel (Wakayoshi *et al.*, 1995). Costill *et al.* (1985) leidsid oma töös, et kiirusel 1,42 m/s oli mees eliitujatel energiakulu 1,16 kJ/m. Samas leidsid Capelli *et al.* (1998) oma töös, et samal kiirusel ujunud mees eliitujatel energiakulu oli 1,04 kJ/m. Energiakulu suureneb koos ujumiskiiruse suurenemisega (Poujade *et al.*, 2002; Zamparo *et al.*, 2000) ja see sõltub mitmetest asjaoludest, nagu näiteks:

- 1) ujumisviisist;
- 2) ujuja tehnilistest oskustest;
- 3) soost;
- 4) indiviidi antropomeetristest iseärasustest;
- 5) individuaalsest ujuvusest ja veetunnetusest;
- 6) passiivsest ja aktiivsest veevastupanust;
- 7) edasiliikumise efektiivsusest.

Kokkuvõtteks võib öelda, et ujumises kulub energia peamiselt vees edasiliikumiseks ja veetakistuse ületamiseks. Energiakulu hindamine on oluline ujumise ökonoomuses ja efektiivsuse määramiseks ning seda saab kasutada treeningukoormuste määramisel ja võimaliku ülekoormuse hindamisel.

2.3 Ujumistulemust iseloomustavad biomehaanilised näitajad

Ujumistulemus sõltub suures ulatuses ujumistehnikast ja koordinatsioonist (Costill *et al.*, 1992; Chollet *et al.*, 2000; Lerda *et al.*, 2001; Millet *et al.*, 2002; Seifert *et al.*, 2004 a,b), mis mõlemad mõjutavad veetakistust ja edasiliikumist (Toussaint & Bee, 1992; Keskinen, 1994; Kolmogorov *et al.*, 1997). Ujumine on tehniliselt raske spordiala ja suur osa treeningu ajast pühendatakse ujumistehnika viimistlemisele (Pyne *et al.*, 2000). Ujumise tõmbeparameetrid on mõjutatud nii biomehaaniliste kui ka füsioloogiliste näitajate poolt. Selline füsioloogiline näitaja nagu lihasväsimus mõjutab oluliselt ujumise tõmbeparameetreid (Dekerle *et al.*, 2005). Ujumise biomehaanika uurimisel keskendutakse sellele, kuidas liikumist teostades toimivad vastastikku

ujuja ja vesi. Jõud selle liikumise taga on üsna keerulised ja nendest arusaamine ei tähenda ainult ujuja edasiliikumise mõistmist, vaid ka vee takistuse ja nende vastastikkuse mõju mõistmist (Stager & Tanner, 2005). Ujumises on tehnilistel oskustel palju suurem mõju metaboolsele ökonoomsusele kui jooksmisel ja jalgrattasõidul, kuna vee tihedus on suurem ja ujuja edasiliikumine on rohkem takistatud ning eliitujajad on võimelised omaks võtma erinevaid tõmbeparameetrite kombinatsioone, mis erinevad oluliselt väiksema kvalifikatsiooniga ujujate vastavatest näitajatest (Dekerle *et al.*, 2002).

Rinnulikroolis on üks tähtsamaid faktoreid käte koordineerimine, kuna hea koordineerimine aitab kaasa edasiviiva jõu tootmisele (Potdevin *et al.*, 2006). Rinnulikrooli käte koordineerimine sõltub paljudest faktoritest, nagu näiteks võistlusdistsantsi pikkusest ja ujuja tasemest (Potdevin *et al.*, 2006). Arvatakse, et koordineerimise paranemine võib tuleneda tehnika kohanisest, selleks et vähendada energiakulu (Chatard *et al.*, 1990) ja veetakistust (Kolmogorov & Duplisheva, 1992) ning suurendada edasiviiva faasi kestvust (Keskinen & Komi, 1993). Muutused ujumistehnika näitajates peavad olema seotud samaaegsete muutustega energeetilistes näitajates nagu näiteks vere laktaadi muutused (Keskinen & Komi, 1993; Keskinen, 1993; Wakayoshi *et al.*, 1996). Ujumise biomehaanika hindamisel kasutatakse peamiselt tõmbepikkust (SL), tõmbesagedust (SR), tõmbeindeksit (SI) ja nendest näitajatest tulenevalt ujumiskiirust (v) (Keskinen & Komi, 1993).

Tõmbepikkust peetakse ujumisel üheks tähtsamaks tulemuse mõjutajaks. Ujuja tõmbepikkuse leidmiseks kasutatakse järgmist valemit (Maglischo, 2003):

$$\text{Tõmbepikkus (SL)} = \text{distsantsi pikkus (m)} / \text{tõmmete arv antud distantsil (tõmmet)}.$$

Tõmbepikkus on kõige objektiivsem, kui see leitakse puhta ujumise käigus. Puhta ujumise all mõistetakse sellise distantsiosa läbimist, mis ei sisalda starti, pöördeid ega finišit, maha arvatakse 15 meetrit peale starti, 5-10 meetrit peale pöördeid (olenevalt ujuja tasemest) ning 5 meetrit enne finišit (Smith *et al.*, 2002). Ujuja võime parandada ujumistehnikat, eriti tõmbepikkust, tagab suure tõenäosusega võistlustulemuste paranemise (Costill *et al.*, 1985). Tõmbepikkust peetakse heaks edasiviiva jõu indikaatoriks ja seda kasutatakse, et hinnata ujumistehnika paranemist (Keskinen & Komi, 1993). Eliitujajatel ulatub tõmbepikkus üle 2 meetri (Huot-Marchand *et al.*, 2005).

Tõmbe efektiivsuse indeksi leidmiseks kasutatakse järgmist valemit (Maglischo, 2003):

Tõmbe efektiivsuse indeks (SI) = ujumiskiirus (v ; m/s) \times tõmbepikkus (SL; m/tõmbega).

Tõmbe efektiivsuse indeks näitab, et ujuja, kes liigub samal kiirusel pikema distantsi ühe tõmbega, omab kõige efektiivsemat ujumistehnikat (Costill *et al.*, 1992). Üldiselt on parimatel ujujatel suurem tõmbepikkus ja suurem tõmbe efektiivsuse indeks, kuid siiski võib leida kõrge kvalifikatsiooniga ujujatel mitmeid erinevaid tehnika variatsioone, mis tulenevad individuaalsest tehnika erinevusest ja erinevast vee tunnetusest (Smith *et al.*, 2002). Tõmbe efektiivsuse indeks asetab rõhu sellele, et soodsam on pigem pikem tõmme kui suurem tõmbesagudus (Mason, 1998).

Mitmed uuringud on näidanud, et töö efektiivsus tsüklilistel aladel, nagu ka ujumine, sõltub töö sagedusest (Pelayo *et al.*, 1998). Potdevin *et al.* (2006) poolt läbi viidud uuringus jõuti järeldusele, et ka tõmbesagedus on väga oluline ujumiskiirust määrav faktor ja seda eriti ujujate puhul, kelle tõmbesagedus on rohkem kui 40 tõmme minutis, sest suurem tõmbesagedus aitab kiirel ujumisel stabiliseerida koordineerimist.

Tõmbesagedus leidmiseks kasutatakse järgmist valemit (Maglischo, 2003):

Tõmbesagedus (SR) = tõmmete arv distantsil (tõmmed) / distantsi läbimise aeg (min).

Kõige lihtsam meetod ujuja tõmbesageduse arvutamiseks on mõõta aeg, mis kulub ühe tõmbetsükli sooritamiseks. Samuti saab tõmbesagedust väljendada minutis tehtud tõmbetsüklite arvuga. Tõmmete arvu väljendamine minutis on enam kasutusel, kuna ujujal on lihtsam sellest aru saada. Näiteks öeldes ujujale, et tema tõmmete arv tõusis 50 tõmbelt/minutis 54 tõmbele/minutis on palju informatiivsem, kui öelda, et tõmbesagedus kasvas 1,11 tõmbetsükli/sekundis 1,20 tõmbetsükli/sekundis (Maglischo, 2003).

Tõmbepikkuse ja tõmbesageduse määramist on tänapäeval rutiinselt kasutatud treeninguprotsessis ning üha rohkem on kättesaadaval suuremate rahvusvaheliste võistluste mõõtmiste tulemused (Arellano, 2000; Maglischo, 2003). Seoseid tõmbesageduse, tõmbepikkuse ja ujumiskiiruse vahel tuleb võtta ühtse kompleksina. Peamised küsimused, mida kirjanduses on

käsitletud, puudutavad tõmbepikkuse ja tõmbesageduse seoseid, mis määravad ujumistulemust (Sanders, 2002). Kirjanduse põhjal tehtud analüüsid näitavad, et tõmbepikkus on seotud harjutamise tasemega (Chollet *et al.*, 1997), jõu produktsiooniga (Keskinen *et al.*, 1985) ja kiirusega (Keskinen *et al.*, 1985). Costill *et al.* (1985) näitasid, et tõmbepikkus ja tõmbe efektiivsuse indeks on otseselt seotud ujumistulemusega.

Tõmbepikkuse ja tõmbesageduse suhe ja sellest tulenevaid muutusi ujumiskiiruses on laialdaselt uuritud (Wakayoshi *et al.*, 1992; Wirtz *et al.*, 1992; Pyne & Trewin, 2001). Nagu ka teiste tsükliliste tegevuste puhul, nii peab ka ujumises leidma optimaalse suhte tõmbesageduse ja tõmbepikkuse vahel, et saavutada ja säilitada maksimaalset ujumiskiirust (Alberty *et al.*, 2004). Ujumiskiiruse tõstmiseks on kaks võimalust: 1) kiire ja ebapüsiv, mis saavutatakse tõmbesageduse suurendamisega ning 2) pikaajaline ja püsivam, mis saavutatakse tõmbepikkuse suurendamisega pikaajalise treeningu mõjul (Yanai, 2003). Samas leidsid Barden & Rorke (1999), et muutused ujumiskiiruses on põhjustatud ainult tõmbesagedusest, mitte aga tõmbepikkusest ning tõmbesageduse vähenemine võib olla märk anaeroobse võimsuse langusest. Et suurendada kiirust lühematel distantsidel peaks ujuja püüdma suurendada pigem tõmbesagedust kui tõmbepikkust ja pikkade ujumisdistsantside puhul peaks ujuja suurendama tõmbepikkust samal ajal tõmbesagedust kaotamata (Yanai, 2003). Samas on keskmine kiirus mõjutatud mitmetest erinevatest komponentidest nagu näiteks stardisukeldumine, pöördesse minek ja pöördest väljumine ning tõmmetele kulutatud aeg (Arellano *et al.*, 2001).

Üldiselt toimivad tõmbesagedus ja tõmbepikkus teineteise suhtes pöördvõrdeliselt. Püüdes oluliselt suurendada tõmbepikkust toimub tavaliselt tõmbesageduse vähenemine. Sama toimub ka siis, kui ujuja suurendab väga palju tõmbesagedust, sellisel juhul tõmbepikkus väheneb. On leitud, et kui tõmbepikkus on väga suur ja tõmbesagedus madal, siis on ka ujumiskiirus madal. Samas, kui tõmbesagedus on nii suur, et tõmbepikkus muutub väga lühikeseks, ka siis on ujumiskiirus madal (Maglicho, 2003). Igal distantsil peab ujuja ise leidma optimaalse tõmbepikkuse ja tõmbesageduse kombinatsiooni, et saavutada parim ujumistulemus.

Võrreldes pikemate distantsidega suureneb enamusel ujujatel tõmbesagedus kuni 10 tõmbetsüklit/minutis 50 meetri ja 100 meetri ujumisdistsantside läbimisel. Tõmbepikkus suureneb märgatavalt 200 meetri distantsil võrreldes lühemate distantsidega. 400 meetri distantsil jääb tõmbepikkus võrreldes 200 meetri distantsiga samaks või suureneb väheke, kuigi tõmbesagedus

langeb 4-5 tõmbetsükli/minutis (Maglichio, 2003). Näiteks enamusel rahvusvahelise tasemega meesujatel on 1500 meetri rinnulikrooli läbimisel tõmbesagedus 40-45 tõmbetsükli/minutis ning tõmbepikkus 2,25-2,50 meetrit ühes tõmbetsükli, samas kui 50 meetri rinnulikrooli läbimisel on tõmbesagedus 60-65 tõmbetsükli/minutis ning tõmbepikkus 1,90-2,15 meetrit ühes tõmbetsükli (Maglichio, 2003).

Noorujate kasvamisel ja küpsemisel õpitakse kontrollima liikumise struktuuri ja efektiivsust umbes 5-7. aastase treeningu järgselt. Selle aja jooksul toimub puberteedieelne ja puberteediperioodiaegne kiire kehaline kasvamine ja kehaliste võimete areng. Märkimisväärsed muutused keha ehituses ja kehalises võimekuses kajastuvad ka sporditehnika efektiivsuses. Teadmised vanuse eripärasustest ja aastast aastasse muutuva tehnika iseärasustest võimaldavad noorte ujajate ettevalmistamisel kontrollida ja parandada tehnikat. Keskmised näitajad tõmbepikkuses suurenevad kiire kasvu perioodil 11-13. ja 15-16. eluaastal ning tõmbepikkuse juurdekasvu aeglustumine toimub 13-14. aasta vanuses (Vorontsov & Binevsky, 2003).

Ujumine on tehniliselt väga nõudlik spordiala, seega tuleb palju aega pühendada ujumistehnika parandamisele ja täiustamisele. Kuna ujumises on edasiliikumisel üheks kõige suuremaks probleemiks veetakistuse ületamine, siis tuleb leida optimaalne suhe tõmbepikkuse ja tõmbesageduse vahel, et edasiliikumine oleks kõige efektiivsem ja ökonoomsem.

3 UURIMISTÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Käesoleva uurimistöo eesmärgiks oli hinnata erinevate antropomeetriliste, keha koostise, funktsionaalsete, biomehaaniliste ja energeetiliste näitajate mõju prepuberteedialiste ja puberteedialiste poiste ujumistulemusele.

Käesolevas uurimistöös püstitati järgmised konkreetset ülesanded:

1. Leida 400 meetri võistlustulemust iseloomustavad antropomeetrilised, funktsionaalsed ja biomehaanilised näitajad prepuberteedialistel ja puberteedialistel poistel.
2. Määrata prepuberteedialiste ja puberteedialiste poiste energiakulu võistluskiirusel 400 meetri ujumisel.
3. Võrrelda peale võistluskiirusel 400 meetri ujumisdistantsi läbimist määratud hapnikutarbimist laboratoorsetes tingimustes määratud maksimaalse hapnikutarbimisega.

4 METOODIKA

4.1 Uuritavate üldiseloostus ja uuringu korraldus

Käesolevas uuringus osales 29 uuritavat, kes jagunesid prepuberteedialisteks ja puberteedialisteks poisteks (tabel 1).

Tabel 1. Uuritavate üldiseloostus.

Näitaja	Prepuberteedialised poisid (n=15)	Puberteedialised poisid (n=14)	Kõik uuritavad (n=29)
Vanus (a)	11,9±0,3	14,3±1,4*	13,0±1,8
Pikkus (cm)	154,9±7,5	172,9±7,9*	163,6±11,9
Kehamass (kg)	42,5±7,0	61,3±10,6*	51,6±13,0
KMI (kg/m ²)	17,5±1,9	20,3±2,1*	189,±2,4
Tanner skaala	1-2	3-4	2,3±1,0

* Statistiliselt oluline; $p < 0,05$

Vaatlusalused treenisid regulaarselt ja olid tegelenud ujumisega viimased 3,0±1,1 aastat. Keskmise treeningukoormus viimase kahe aasta jooksul oli uuritavatel 8,4±1,7 tundi nädalas. Testide sooritamise ajal (Septembris) oli uuritavate keskmine nädalane treeningumaht 19,4±5,5 km, mis peamiselt sooritati aeroobses tsoonis. Vaatlusaluste bioloogiline vanus määrati Tanneri skaala alusel (Tanner & Whitehouse, 1976). Kõik vaatlusalused olid teadlikud antud uuringu käigust ja eesmärkidest ning need olid selgitatud nii lastele kui ka lastevanematele, kes kirjutasid alla nõusoleku lehele. Käesolevaks uuringuks saadi Tartu Ülikooli inimuuringute eetikakomisjoni luba.

Ühel uuritaval viidi kõik uuringud läbi kahe nädala jooksul ning uuritavaid testiti kolmel korral. Esimesel korral määrati uuritavate antropomeetrilised näitajad, bioloogiline vanus ja maksimaalne hapnikutarbimine veloergomeetril. Teisel korral määrati uuritavate maksimaalne 400 meetri rinnulikrooli tulemus. Kolmandal korral määrati keha koostise parameetrid kasutades kahekordse röntgenkiire (DXA) meetodit. Esimese ja teise testimise vahe oli vähemalt 48 tundi. Kolmanda testimise aeg oleneb uuritava isiklikust ajakavast ja DXA meetodi kättesaadavusest haiglas.

4.2 Antropomeetriliste näitajate ja keha koostise parameetrite määramine

Uuritavate keha pikkus (Martini metallist antropomeeter) ja kehamass (A&D Instruments, UK) määrati vastavalt 0,1 cm ja 0,05 kg täpsusega. Arvutati kehamassi indeks [KMI; kehamass (kg)/pikkus (m)²]. Käte siruulatus mõõdeti vastavalt standardile 0,1 cm täpsusega (Norton & Olds, 1996). Keha koostis ja luutihedus määrati Tartu Ülikooli Kliinikumis DXA meetodil kasutades Lunar DPX-IQ densitomeetrit (Lunar Corporation, Madison, WI, USA). Mõõtmise ajal lamas uuritav selili, käed kõrval ning kogu keha skanneeriti alustades peast ja lõpetades varvastega. Kogu protseduur kestis ligikaudu 15 minutit sõltuvalt uuritava pikkusest. Leiti uuritavate keha rasvamass, keha rasvavaba mass ja keha luukoe mass. Samuti määrati uuritavate üldine luutihedus ning eraldi selja lülisamba (L2-L4) luutihedus.

4.3 Maksimaalse hapnikutarbimise määramine

Laboratoorses tingimustes viid läbi astmeliselt tõusvate koormustega test veloergomeetril (Tunturi T8, Soome). Uuritavate esimene koormus oli 80 W. Koormust tõsteti iga 2 minuti järel 20 W eesmärgiga saavutada maksimaalne tulemus 8-10 minuti jooksul. Viimase koormuse lõpus tuli uuritaval sooritada 1 minutiline spurt maksimaalse kiirusega. Testi ajal oli keskmiseks tempoks 70 ± 5 pööret minutis. Südame löögisagedus määrati kogu testi vältel ja salvestati 5 sekundiliste intervallide järel kasutades sporttestrit Polar Ventage NV (Polar Electro, Kempele, Soome). Gaasivahetuse näitajaid määrati samuti kogu testi vältel kasutades portatiivset gaasianalüsaatorit (MedGraphics VO200, St. Paul, USA), mis salvestas andmed 10 sekundiliste intervallidega. Testi ajal hingasid uuritavad läbi näomaski. Pidevalt määrati vaatlusaluste hapnikutarbimine ($\dot{V}O_2$), süsihappegaasi ventilatsioon ($\dot{V}CO_2$), minuti ventilatsioon (\dot{V}_E), hingamissagedus (f_B) ja hingamismaht (VT). Keskmise hingamiskoeffitsient (RER), O_2 ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$) ja CO_2 ($\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$) ventilatsiooniparameetrid kalkuleeriti saadud tulemustest.

Maksimaalne hapnikutarbimine oli saavutatud, kui üks järgmistest kriteeriumitest oli täidetud:

1. Platoo tekkimine hapnikutarbimises vaatamata töö intensiivsuse kasvule;
2. Hingamiskoeffitsiendi kasv 1,05-ni või üle selle;
3. Vaatlusaluste maksimaalse südame löögisageduse saavutamine.

4.4 Ujumise energiakulu ja tõmbe biomehaaniliste näitajate määramine

Ujumise energiakulu ja tõmbe biomehaanilised parameetrid määrati poistel maksimaalse 400 meetri rinnulikrooli ujumise jooksul 25 meetri pikkuses ujumisbasseinis (Zamparo *et al.*, 2000). Kõik uuritavad läbisid 400 meetrit rinnulikrooli maksimaalses ühtlases tempos (Costill *et al.*, 1985). Uuritavad alustasid ujumist seinast tõukega. Kogu ujumise vältel ei sooritanud uuritavad regulaarseid pöördeid, vaid alustasid ujumist kohe peale pööret, ilma vee all libisemiseta (Zamparo *et al.*, 2000). Vahetult peale 400 meetri ujumisdistsantsi läbimist võeti vereproov sõrme otsast vere laktaadisisalduse määramiseks 3, 5 ja 7 taastumisminutil, et leida maksimaalne laktaadisisaldus (Capelli *et al.*, 1998; Zamparo *et al.*, 2005). Vere laktaadisisaldus määrati ensümaatilisel portatiivse fotomeetrilise laktaadi analüsaatori (Dr Lange, Berliin, Saksamaa) abil. Maksimaalne vere laktaadisisalduse tõus (ΔLa) leiti, kui lahutati puhkeoleku laktaadi väärtus (vastavalt 1 mmol/l) peale 400 meetri ujumist saadud maksimaalsest laktaadi väärtusest (Zamparo *et al.*, 2000; Zamparo *et al.*, 2005).

Maksimaalne hapnikutarbimine peale 400 meetri ujumist leiti ekstrapoleerimise abil. Uuritav pidi vahetult peale ujumist hingama talle paigaldatud gaasianalüsaatori näomaski (umbes 1-3 sekundit peale ujumise lõpetamist). Gaasivahetuse näitajaid määrati kasutades portatiivset gaasianalüsaatorit (MedGraphics VO200, St. Paul, USA) 20 sekundi jooksul vahetult peale ujumise lõpetamist (Costill *et al.*, 1985).

Et välistada pööretest tulenevaid vigu, määrati uuritavate ujumiskiirus (v ; m/s) basseinis keskmise 15 meetri ulatuses arvestades maha 5,0 m mõlemast basseini otsast ($v = D / t_{15}$, kus $D = 15$ m ja $t_{15} = 15$ m läbimiseks kulunud aeg) (Poujade *et al.*, 2002). Videokaameraga (Sony DCR-TRV 130E, Jaapan) filmiti iga ujuja sooritust küljelt basseini äärest. Kaamera salvestas ka 15 meetri läbimiseks kulunud aja (Leblanc *et al.*, 2005). Keskmise tõmbesagedus (SR; tõmmet/min) leiti jagades 15 meetril sooritatud tõmmete arvu 15 meetri läbimise ajaga (Leblanc *et al.*, 2005; Alberty *et al.*, 2006). Tõmbepikkus (SL; m/tõmbes) arvutati jagades 15 meetrit vastava tõmmete arvuga (Poujade *et al.*, 2002). Ujuja tehnika ökonoomsuse hindamiseks arvutati tõmbeindeks korrutades ujumiskiiruse tõmbepikkusega (SI ; $m^2/sek/tõmbega$) (Costill *et al.*, 1985). Kõik uuritavad parameetreid määrati 400 meetri distantsil iga 50 meetri esimesel 25 meetril ja uuringus on kasutatud määratud parameetrite keskmiseid väärtusi (Alberty *et al.*, 2006).

400 meetri ujumise energiakulu (Cs; kJ/m) arvutamiseks jagati peale distantsi määratud VO_2 ja puhkeoleku VO_2 ($5 \text{ ml} \times \text{O}_2 / \text{min} / \text{kg}$) (Capelli *et al.*, 1995) vahe keskmise 400 meetri ujumise kiirusega (Di Prampero, 1986; Poujade *et al.*, 2002). Saadud aeroobse metabolismi energiakulu arvutati kJ/m kohta, eeldades et 1 l O_2 kulutamiseks vajalik energia standardsetes tingimustes on 20,9 kJ (Capelli *et al.*, 1998; Tsekouras *et al.*, 2005; Zamparo *et al.*, 2005). Anaeroobse metabolismi osakaal 400 meetri ujumisdistantsi energiakulus saadi ΔLa väärtuse abil kasutades 0,0689 kJ/kg/mM ekvivalenti (Di Prampero, 1986). ΔLa energeetiline väärtus jagati ujumisdistantsi pikkusega ja lisati aeroobse metabolismi energiakulule, mis moodustabki kogu 400 meetri ujumisdistantsile kulunud energiakulu (Cs) (Zamparo *et al.*, 2005).

4.5 Andmete statistiline analüüs

Andmete statistiline analüüs teostati programmi SPSS 11.0 abil (Chicago, IL, USA). Kõigi määratud parameetrite puhul leiti aritmeetiline keskmine ja standardhälve ($\pm\text{SD}$). Gruppidevahelised erinevused leiti t-testi abil. Määratud parameetrite vahelised seosed leiti korrelatsioonanalüüsi abil. Astmelise regressioonanalüüsi abil leiti 400 meetri ujumistulemust kõige paremini iseloomustavad näitajad. Kaudselt vees määratud $\text{VO}_{2\text{max}}$ ja veloergomeetril otseselt määratud $\text{VO}_{2\text{max}}$ tulemuste omavahelist vastavust hinnati Bland ja Altmani (1986) meetodi abil. Statistilise olulisuse nivooks seati kõikide testide puhul $p < 0,05$.

5 TULEMUSED

Puberteediealistel poistel olid statistiliselt oluliselt ($p < 0,05$) suuremad keha pikkuse, kehamassi, KMI, keha rasvavaba massi, keha luumassi, üldise luutiheduse, selja lumbaalosa luutiheduse ja käte siruulatuse näitajad võrreldes prepuberteediealiste poiste vastavate näitajatega (tabel 2). Kahe grupi vahelist erinevust ($p > 0,05$) ei leitud keha rasvamassi väärtuses. Veloergomeetril määratud VO_{2max} oli statistiliselt usutavalt suurem puberteediealistel poistel ($4,36 \pm 1,11$ l/min) võrreldes prepuberteediealiste poistega ($2,86 \pm 0,74$ l/min). Statistiliselt oluline gruppidevaheline erinevus puudus VO_{2max} näitajas 1 kg kehmassi kohta (puberteediealised: $71,26 \pm 13,35$ ml/min/kg; prepuberteediealised: $68,33 \pm 13,93$ ml/min/kg). 400 meetri rinnulikrooli ujumise aeg, kiirus, tõmbepikkus, tõmbesagedus, tõmbeindeks, energiakulu ja hapnikutarbimise väärtused olid statistiliselt oluliselt suuremad puberteediealistel poistel võrreldes prepuberteediealiste poistega (tabel 3). Tõmbe pikkuse ja vere laktaadisalduse näitajates gruppidevahelisi erinevusi ei olnud.

Kaudselt vees määratud VO_{2max} valideerimiseks võrdlesime kõikidel uuritavatel saadud väärtusi veloergomeetril määratud VO_{2max} tulemustega (ergomeeter: $2,86 \pm 0,74$ l/min; vesi: $2,53 \pm 0,50$ l/min; $r = 0,850$; $p = 0,0001$). Regressioonanalüüs peale ujumist kaudselt määratud VO_{2max} tulemusega andis järgmise maksimaalse ujumise ajal saadud VO_{2max} hindava võrrandi: $Y = 1,014X + 0,337$ ($R^2 = 0,713$; $p = 0,0001$), kus X on peale ujumist esimese 20 sek jooksul määratud VO_2 ja Y on ujumisaegne VO_{2max} (joonis 1A). Joonisel 1 on samuti Bland-Altman analüüsi tulemused mõlemal viisil määratud VO_{2max} kohta. Kahel erineval viisil määratud VO_{2max} tulemuste vaheline seos oli suur (joonis 1B).

Korrelatsioonanalüüs näitas, et määratud tõmbe parameetrid (kiirus, tõmbepikkus, tõmbeindeks), energiakulu ja VO_{2max} olid statistiliselt oluliselt seotud keha pikkuse, kehamassi, KMI, keha rasvaba massi, keha luumassi, üldise luutiheduse, selja lumbaalosa luutiheduse ja käte siruulatuse ning Tanneri skaala näitajatega noorujujatel (tabel 4). Tõmbesagedus ei korreleerunud statistiliselt oluliselt ühegi määratud antropomeetrilise ja keha koostise näitajaga. ΔLa oli negatiivselt seotud keha rasva% ja positiivselt seotud keha rasvaba massi, keha luumassi, üldise luutiheduse, selja lumbaalosa luutiheduse ja käte siruulatuse ja Tanneri skaala väärtustega.

Tabel 2. Keskmised (\pm SD) antropomeetrilised ja keha koostise näitajad prepuberteedialistel ja puberteedialistel ujujatel.

Näitaja	Prepuberteedialised poisid (n=15)	Puberteedialised poisid (n=14)	Kõik uuritavad (n=29)
Keha rasva%	13,0 \pm 6,3	11,2 \pm 3,9	12,1 \pm 5,3
Rasva mass (kg)	5,5 \pm 3,7	6,2 \pm 1,8	5,8 \pm 2,9
Rasvavaba mass (kg)	34,5 \pm 4,3	50,4 \pm 10,3*	42,2 \pm 11,2
Keha luumass (kg)	1,7 \pm 0,3	2,7 \pm 0,6*	2,2 \pm 0,7
Üldine luutihedus (g/cm ²)	0,95 \pm 0,06	1,13 \pm 0,11*	1,04 \pm 0,12
Selja lumbaalosa luutihedus (g/cm ²)	0,77 \pm 0,10	1,06 \pm 0,24*	0,91 \pm 0,23
Käte siruulatus (cm)	158,4 \pm 7,9	179,9 \pm 9,0*	168,8 \pm 13,7

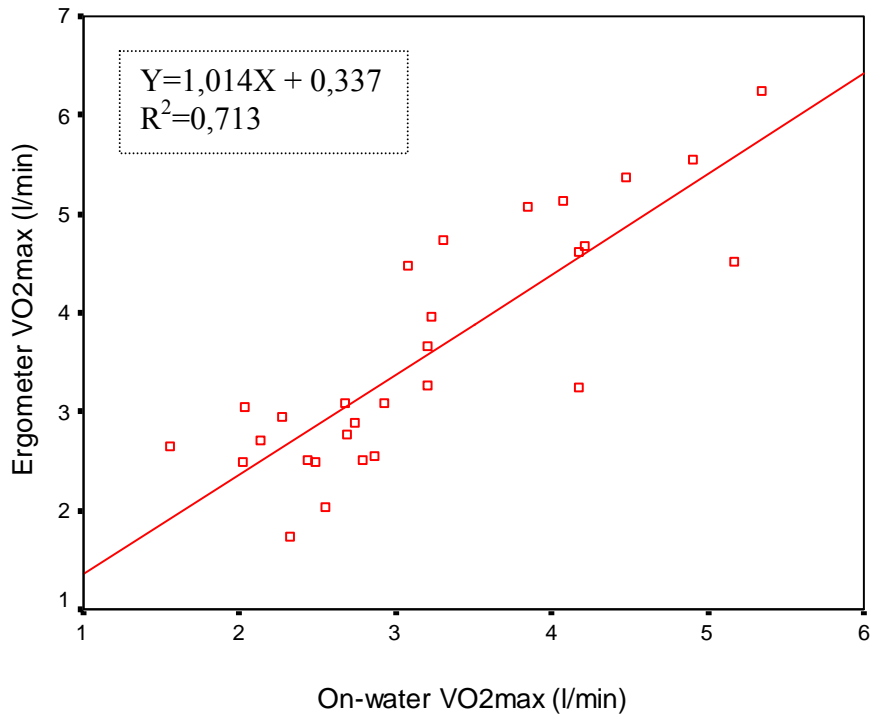
*Statistiliselt oluline erinevus võrreldes prepuberteedialiste poistega; $p < 0,05$.

Tabel 3. Keskmised (\pm SD) biomehaanilised ja energeetilised näitajad peale võistluskiirusel 400 meetri rinnulikrooli ujumist prepuberteedialistel ja puberteedialistel ujujatel.

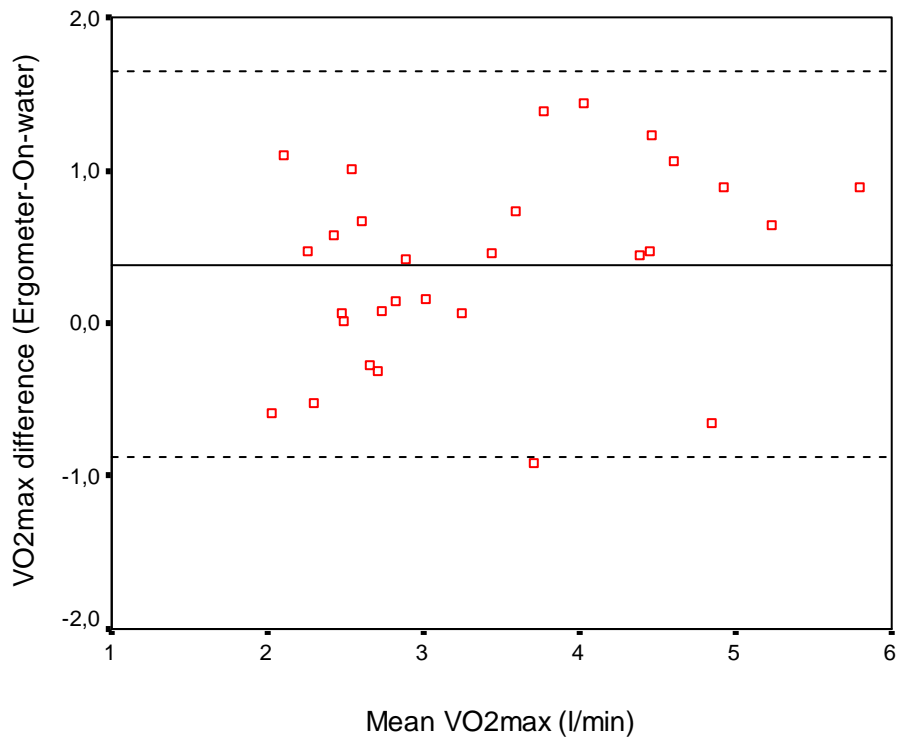
Näitaja	Prepuberteedialised poisid (n=15)	Puberteedialised poisid (n=14)	Kõik uuritavad (n=29)
Aeg (s)	401,5 \pm 53,8	353,6 \pm 42,2*	378,3 \pm 53,5
Kiirus (m/s)	0,99 \pm 0,12	1,12 \pm 0,13*	1,05 \pm 0,14
Tõmbepikkus (m/tõmbega)	0,87 \pm 0,11	0,99 \pm 0,10*	0,92 \pm 0,12
Tõmbesagedus (tõmmet/min)	69,3 \pm 5,9	68,0 \pm 4,8	68,7 \pm 5,3
Tõmbeindeks (m ² /s/tõmbega)	0,87 \pm 0,20	1,11 \pm 0,22*	0,99 \pm 0,24
Energiakulu (kJ/m)	2,38 \pm 0,41	3,29 \pm 0,67*	2,82 \pm 0,71
VO ₂ (l/min)	2,53 \pm 0,50	3,92 \pm 0,90*	3,20 \pm 1,0
Δ La (mmol/l)	4,1 \pm 2,0	5,2 \pm 2,9	4,6 \pm 2,5

* Statistiliselt oluliselt erinev võrreldes prepuberteedialiste poistega; p<0,05.

A



B



Joonis 1. Seosed peale ujumist ja ergomeetril mõõdetud maksimaalse hapnikutarbimise (VO₂max) näitajate vahel noortel ujujatel (n=29).

Tabel 4. Korrelatsioonikoefitsendid tõmbeparameetrite, energiakulu, VO₂ ja ΔLa ning antropomeetriliste ja keha koostise näitajate vahel noortel ujujatel (n=29).

	Aeg (s)	Kiirus (m/s)	Tõmbe- pikkus (m/ tõmbega)	Tõmbe- sagedus (tõmme/ min)	Tõmbe- indeks (m ² /s/ tõmbega)	Energia- kulu (kJ/m)	VO ₂ (l/min)	ΔLa (mmol/ l)
Pikkus (cm)	-0,658*	0,675*	0,707*	-0,107	0,721*	0,718*	0,856*	0,291
Kehamass (kg)	-0,620*	0,655*	0,693*	-0,100	0,714*	0,693*	0,839*	0,285
KMI (kg/m ²)	-0,479*	0,520*	0,562*	-0,087	0,582*	0,540*	0,669*	0,173
Keha rasva%	0,136	-0,113	-0,065	-0,121	-0,100	-0,260	-0,242	-0,378*
Rasva mass (kg)	-0,161	0,197	0,245	-0,132	0,228	0,013	0,106	-0,215
Rasvavaba mass (kg)	-0,930*	0,609*	0,689*	-0,155	0,690*	0,656*	0,780*	0,377*
Keha luumass (kg)	-0,563*	0,588*	0,682*	-0,185	0,675*	0,680*	0,789*	0,404*
Üldine luutihedus (g/cm ²)	-0,454*	0,481*	0,583*	-0,188	0,569*	0,726*	0,778*	0,415*
Selja lumbaalosa luutihedus (g/cm ²)	-0,516*	0,550*	0,562*	-0,033	0,592*	0,657*	0,749*	0,415*
Käte siruulatus (cm)	-0,688*	0,707*	0,746*	-0,105	0,758*	0,675*	0,839*	0,282
Tanneri skaala	-0,430*	0,437*	0,538*	-0,207	0,512*	0,759*	0,781*	0,459*

* Statistiliselt oluline; p<0,05.

Statistiliselt olulist korrelatsiooni ei olnud energiakulu ja määratud tõmbeparameetrite vahel ($r < 0,316$; $p > 0,005$). 400 meetri rinnulikrooli tulemus oli negatiivselt seotud tõmbepikkuse ($r = -0,862$; $p = 0,0001$), tõmbeindeksi ($r = -0,949$; $p = 0,0001$) ja maksimaalse hapnikutarbimise ($r = -0,618$; $p = 0,0001$) väärtustega.

Astmeline regressioonanalüüs näitas, et tõmbeindeks ($R^2 = 0,898$; $p = 0,0001$), vees määratud VO_{2max} ($R^2 = 0,358$; $p = 0,0001$) ja käte siruulatus ($R^2 = 0,454$; $p = 0,0001$) iseloomustavad noorujate 400 meetri rinnulikrooli võistlustulemust paremini kõikidest määratud tõmbe-, energeetilistest- ja antropomeetristest/keha koostise näitajatest.

6 TULEMUSTE ARUTELU

Mitmete varasemate uuringutega on määratud erinevaid energeetilisi ja biomehaanilisi näitajaid täiskasvanud ujujatel (Costill *et al.*, 1985; Capelli *et al.*, 1998; Leblanc *et al.*, 2005; Zamparo *et al.*, 2005; Alberty *et al.*, 2006). Mõned varasemad uuringud on määranud erinevaid füsioloogilisi parameetreid ka 12 aastastel ja vanematel noorujujatel (Zamparo *et al.*, 2000; Poujade *et al.*, 2002; Geladas *et al.*, 2005). Meile teadaolevalt aga puuduvad uuringud, mis oleks läbi viidud prepuberteediealistel ujujatel. Samas on väga oluline viia läbi uuringuid, mis käsitleksid erinevaid energeetilisi ja biomehaanilisi parameetreid just noortel ujujatel. On teada, et ujujad alustavad tavaliselt suurte koormustega treeningutega juba enne puberteedia algust ning sellest tulenevalt saavutavad rahvusvahelise taseme küllaltki varases eas (Costill *et al.*, 1992). Vastavalt sellele on oluline uurida erinevaid ujumise parameetreid, mis võivad mõjutada ujumistulemust juba väga noortel ujujatel. Sealjuures tuleks ujumistulemust mõjutavaid erinevaid parameetreid uurida komplekselt, arvestades nii antropomeetrilisi, füsioloogilisi kui ka biomehaanilisi aspekte juba enne puberteedia algust. Lisaks sellele on väga oluline analüüsida ujumise erinevaid füsioloogilisi ja biomehaanilisi parameetreid just ujumisebasseinis mitte aga laboratoorses tingimustes (Zamparo *et al.*, 2000; Poujade *et al.*, 2002).

6.1 Ujumistulemust mõjutavad antropomeetrilise näitajad

Ujumistulemust mõjutavad mitmed antropomeetrilised näitajad ja erinevad autorid on oma töödes uurinud antropomeetriliste näitajate ja ujumistulemuse vahelist seost (Klentrout & Montpetit, 1991; Siders *et al.*, 1993). Ka antud töös vaadeldi, kuidas erinevad antropomeetrilised näitajad avaldavad mõju noorujujate ujumistulemusele ning millised neist näitajatest mõjutavad antud uuritavate ujumistulemust kõige enam. Käesoleva uurimistöö tulemused näitavad, et erinevad antropomeetrilised parameetrid mõjutavad ujumistulemust. Samas ei leitud seost keha rasvaprotsendi ja ujumistulemuse ning keha rasvamassi ja ujumistulemuse vahel.

Meie uuritavad prepuberteediealsed ja puberteediealsed poisid olid võrreldes Vorontsov *et al.* (1999) uuritavatega sama pikad ja sama kehamassiga. Puberteediealsed poisid olid prepuberteediealistest poistest statistiliselt oluliselt pikemad, suurema kehamassiga ja suurema käte siruulatusega. Samuti olid kehapikkus, kehamass ja käte siruulatus statistiliselt oluliselt seotud ujumistulemusega. Seega võib oletada, et parema ujumistulemuse saavutamiseks on soodsam suurem kehapikkus ja kehamass. Ka teised uuringud on leidnud, et pikemad ja suurema

käte siruulatuses ujumise saavutamise paremaid tulemusi (Leblanc *et al.*, 2005; Dunman *et al.*, 2006). Oluliselt näitajaks ujumises on käte siruulatus. Kirjanduses on leitud, et parimatel ujujatel ületab käte siruulatus kehapikkust (Dunman *et al.*, 2006), ka meie uuritavatel ületas käte siruulatus kehapikkust.

Kehapikkus ja käte siruulatus mõjutavad ka ujumise biomehaanilisi näitajaid. Pikematel ujujatel, kellel on suurem käte siruulatus, on ka suurem tõmbepikkus ja tõmbeindeks ning seeläbi saavutavad nad suurema ujumiskiiruse. Ka antud uuringus olid käte siruulatus ja pikkus statistiliselt usutavalt seotud tõmbepikkusega, tõmbeindeksiga ja ujumiskiirusega. Kuna puberteediealised poisid olid pikemad ja suurema käte siruulatuses kui prepuberteediealised poisid, siis võib oletada, et nende tõmbepikkus, tõmbeindeks ja ujumiskiirus olid paremad tänu suurematele antropomeetrilistele näitajatele (Dunman *et al.*, 2006).

Sama kronoloogilise vanusega lastel võivad füsioloogilised näitajad vägagi palju erineda (Beunen & Malina 1996), seega on oluline määrata laste bioloogiline vanus. Käesolevas töös kasutati Tanneri skaalat sugulise küpsuse määramiseks ning leiti, et ujumistulemus on seotud nii Tanneri skaala näitajatega, luutiheduse kui ka luumassiga, mis näitab, et ujumises on bioloogilise vanuse määramine oluline. Bioloogilise vanuse näitajad on seotud ka teiste antropomeetriliste näitajatega nagu pikkus, kehamass, KMI, rasvavaba mass ja käte siruulatus. Seega võib oletada, et bioloogiliselt küpsemad on pikemat kasvu, suurema käte siruulatuses, suurema kehamassiga ja suurema rasvavaba massiga. Seda kinnitavad ka meie uuringu tulemused, kus puberteediealised poisid on statistiliselt usutavalt pikemad, suurema käte siruulatuses ja suurema kehamassiga kui prepuberteediealised poisid.

Erineva bioloogilise vanusega lastel võivad olla väga erinevad funktsionaalsed ja biomehaanilised võimed. Seda näitas antud uuringus ka seos Tanneri skaala ja tõmbeparameetrite vahel ning seos luutiheduse näitajate ja tõmbeparameetrite vahel. Seega on bioloogiliselt vanematel suurem tõmbepikkus, parem tõmbeindeks ja suurem ujumiskiirus. Samas ei leitud usutavat seost tõmbesageduse ja Tanneri skaala ning tõmbesageduse ja luutiheduse näitajate vahel. Põhjuseks võib olla uuritavate erinev treenituse tase.

Kokkuvõtteks võib öelda, et bioloogilise vanuse määramine on noorujate puhul väga oluline, kuna see mõjutab oluliselt ujumistulemust. Nagu käesolevast tööst näha oli, olid bioloogiliselt

vanematel ehk puberteedialistel poistel funktsionaalsed, biomehaanilised ja antropomeetrilised näitajad oluliselt paremad prepuberteedialiste poiste vastavatest näitajatest.

6.2 Ujumistulemust mõjutavad funktsionaalsed näitajad

6.2.1 Maksimaalne hapnikutarbimine

Maksimaalse hapnikutarbimise määramiseks kasutati ekstrapoleerimise meetodit, kus hapnikutarbimise näitajaid määrati vahetult peale 400 meetri ujumisdistantsi läbimist. Selline maksimaalse hapnikutarbimise arvutamine ekstrapoleerimise meetodi abil peale 400 meetri rinnulikrooli distantsi läbimist on usaldusväärne meetod täiskasvanud ujujatel maksimaalse hapnikutarbimise näitajate määramisel (Montpetit *et al.*, 1981). Käesoleva uuringu tulemused näitasid, et antud meetod võimaldab ka prepuberteedialistel ja puberteedialistel ujujatel hinnata kaudselt maksimaalset hapnikutarbimist, võttes samas arvesse ka ujumistulemust mõjutavad erinevad biomehaanilised parameetrid. Kuigi maksimaalne hapnikutarbimine, mis on määratud veloergomeetril, võib alahinnata ujumisejärgselt saadud maksimaalset hapnikutarbimist, näitavad antud uuringu tulemused, et meie noortel ujujatel olid kahel erineval viisil määratud maksimaalse hapnikutarbimise näitajad väga sarnased (vt. joonis 1). Antud uuringus 400 meetri rinnulikrooli järgselt saadud maksimaalse hapnikutarbimise tulemused olid puberteedialistel poistel ($3,92 \pm 0,90$ l/min) ja prepuberteedialistel poistel ($2,53 \pm 0,50$ l/min) vastavalt sarnased ja madalamad võrreldes teistes uuringutes saadud 12-17 aastaste noorujujate vastavate näitajatega ($3,66 \pm 0,54$ l/min) (Zamparo *et al.*, 2000). Antud uuringu tulemused näitavad, et sarnaselt täiskasvanud ujujatega (Costill *et al.*, 1985; Zamparo *et al.*, 2005) on ka noortel ujujatel võimalik maksimaalse hapnikutarbimise määramine esimese 20 sekundi jooksul peale 400 meetri ujumisdistantsi läbimist.

Antud uuringus olid maksimaalse hapnikutarbimise näitajad statistiliselt usutavalt seotud ujumise biomehaaniliste näitajatega. Seost ei leitud maksimaalse hapnikutarbimise ja tõmbesageduse vahel. Maksimaalne hapnikutarbimine suureneb koos ujumiskiiruse suurenemisega (Vorontsov & Solomatin, 1990; Baxter-Jones *et al.*, 1993). See kajastub ka meie töös, kus maksimaalse hapnikutarbimise ja ujumiskiiruse vahel on statistiliselt oluline seos. Uuritavad, kellel oli suurem ujumiskiirus ja suurem maksimaalne hapnikutarbimine, saavutasid ka parema ujumistulemuse.

Maksimaalse hapnikutarbimise absoluutsed väärtused kasvavad poistel lineaarselt keha pikkuse, kehamassi ja vanuse suurenemisega (Harries *et al.*, 1994). Seda näitas ka meie uuring, kus keha pikkuse, kehamassi ja bioloogilise vanuse ning maksimaalse hapnikutarbimise vahel olid statistiliselt olulised seosed. Seega võib väita, et mida pikem ja bioloogiliselt vanem on ujuja, seda suurem on tema maksimaalne hapnikutarbimine.

Maksimaalne hapnikutarbimine on tugevasti seotud kehamassiga ja lihasmassi hulgaga organismis (Brooks *et al.*, 2004). Puberteedieast alates suureneb poistel lihasmass ja sellega seoses ka maksimaalne hapnikutarbimine (Harries *et al.*, 1994). Ka antud uuringus olid rasvavaba mass ja maksimaalne hapnikutarbimine statistiliselt usutavalt seotud. Puberteediealistel poistel olid maksimaalse hapnikutarbimise näitajad suuremad kui prepuberteediealistel poistel. See on kooskõlas ka Vorontsov *et al.* (1999) tehtud uuringu tulemustega. Kuna maksimaalne hapnikutarbimine suureneb lihasmassi kasvuga ja puberteediealistel poistel oli meie uuringus rasvavaba mass oluliselt suurem kui prepuberteediealistel poistel, siis on loomulik, et puberteediealiste uuritavate maksimaalse hapnikutarbimise näitajad on suuremad kui prepuberteediealistel poistel. Ka bioloogilise vanuse näitaja oli puberteediealistel poistel suurem kui prepuberteediealistel poistel ning need näitajad olid usutavalt seotud maksimaalse hapnikutarbimisega. Järelikult võib väita, et bioloogiliselt küpsematel poistel on suurem maksimaalne hapnikutarbimine, mis tuli välja ka meie tööst.

Käesoleva uuringu tulemused näitavad, et pärast võistluskiirusel 400 meetri rinnulikrooli distantsi läbimist määratud maksimaalne hapnikutarbimine on sobilik meetod noorujulate funktsionaalse võimekuse hindamisel spordiala spetsiifilistes tingimustes, seda nii prepuberteediealistel kui ka puberteediealistel poistel.

6.2.2 Ujumise energiakulu

Käesolevas uuringus hinnati võistluskiirusel sooritatud 400 meetri rinnulikrooli energiakulu nii puberteediealistel kui ka prepuberteediealistel noorujumatel (Costill *et al.*, 1985; Zamparo *et al.*, 2000). Energiakulu arvutamiseks kasutati ekstrapoleerimise meetodit, kus hapnikutarbimise näitajaid määrati vahetult peale 400 meetri ujumisdistantsi läbimist ja nende näitajate abil arvutati 400 meetri ujumisdistantsi läbimiseks kulunud energiakulu (Costill *et al.*, 1985; Zamparo *et al.*, 2000).

Enamasti on ujumisdistantsi läbimiseks kulunud energiakulu hinnatud madalamatel kiirustel, kui tegelikult saavutatakse võistlustel, seda nii täiskasvanutel (Capelli *et al.*, 1995; Zamparo *et al.*, 2005) kui ka lastel (Poujade *et al.*, 2002). Oma uuringus leidsid Costill *et al.* (1985), et täiskasvanud ujujatel on maksimaalsel 400 meetri rinnulikrooli ujumisel keskmine energiakulu 1,16 kJ/m ning keskmine kiirus vastavalt 1,42 m/s. Võrdluseks sellega leiti käesolevas uuringus, et maksimaalsel 400 meetri rinnulikrooli ujumisel olid vastavad näidud prepuberteedialistel poistel 2,38 kJ/m ja 0,99 m/s ning puberteedialistel poistel 3,29 kJ/m ja 1,12 m/s. Keskmine 400 meetri distantsi ujumiskiirus oli seega meie uuritavatel suhteliselt madalam võrreldes 12 aastaste (1,23 m/s) (Poujade *et al.*, 2002) ja 14 aastaste (1,21 m/s) (Chatard *et al.*, 1990) poiste vastavatest näitajatest.

Võib oletada, et väiksem energiakulu antud uuringus osalenud prepuberteedialistel poistel võrreldes puberteedialiste poistega võib olla tingitud erinevustest antropomeetrilistes näitajates (vt. tabel 2). Samuti võib erinevus ujumise energiakulus prepuberteedialistel poistel (Tanneri skaala 1 ja 2) ja puberteedialistel poistel (Tanneri skaala 3 ja 4) olla tingitud ka erinevustest bioloogilise küpsuse astmes, kuna 400 meetri ujumisdistantsi läbimiseks kulunud energiakulu ja Tanneri skaala näitajate vahel oli statistiliselt oluline seos ($r=0,759$; $p<0,05$). Noorujujatel mõjutavad bioloogilisest küpsemisest tingitud muutused ujumise tehnilisi oskusi ja sellest tulenevalt ka ujumistulemust. Vastavalt Van Praagh (1997) uuringule võivad erinevused ujumise energiakulus olla tingitud kvalitatiivsetest muutustest kasvu ajal nagu näiteks muutused skeleti lihaskiududes, hormonaalsed muutused ja/või neuromotoorne küpsemine. On leitud, et puberteedialised lapsed on võimelised tootma rohkem energiat ka anaeroobsel teel võrreldes prepuberteedialiste lastega (Van Praagh, 1997). Vastavuses sellega leidsime ka meie käesolevas uuringus statistiliselt olulise seose Tanneri skaala ja 400 meetri rinnulikrooli järel määratud vere laktaadisisalduse vahel ($r=0,459$; $p<0,05$). Samuti on teada, et lastel kuhjub maksimaalse ujumise ajal vähem laktaati verre võrreldes täiskasvanud ujujatega (Poujade *et al.*, 2002). Vastavalt meie uuringu tulemustele võib öelda, et ujumise energiakulu suureneb puberteedialistel ujujatel (keskmine kronoloogiline vanus 14,3 aastat) võrreldes prepuberteedialiste poistega (keskmine kronoloogiline vanus 11,9 aastat). Sarnaselt meie uuringu tulemustega on ka Poujade *et al.* (2002) leidnud, et ujumise energiakulu suureneb vahemikus 12-14 aastat, samas kui Chatard *et al.* (1990) ei leidnud oma uuringus erinevusi

ujumise energiakulus 14-17 aastastel ujujatel. Samas on ka leitud, et tõmbe biomehaaniliste näitajate paranemine vanuse suurenedes vähendab ujumise energiakulu (Poujade *et al.*, 2002).

Ujumisdistsantsi läbimisel kulub energia nii keha veepeal hoidmisele kui ka edasiliikumisest põhjustatud veetakistuse ületamiseks (Costill *et al.*, 1985). On hästi teada, et kehamass on tugevalt seotud edasiliikumisest põhjustatud veetakistusega (Costill *et al.*, 1985). Poujade *et al.* (2002) ei leidnud oma uuringus statistiliselt olulist seost antropomeetriliste näitajate ja ujumise energiakulu vahel 12 aastatel lastel. Antud uuringu tulemused aga näitavad statistiliselt olulist seost ($p < 0,05$) ujumise energiakulu ja kehamassi ($r = 0,693$), keha rasvavaba massi ($r = 0,656$) ning keha luumassi ($r = 0,680$) näitajate vahel nii prepuberteedialistel kui ka puberteedialistel poistel. Selle põhjal võib arvata, et meie uuringus osalenud noorujujate puhul on määratud keha koostise näitajad samuti olulised ujumise energiakulu hindamisel.

Samas ei leidnud me statistiliselt olulist seost ujumise energiakulu ja määratud biomehaaniliste parameetrite vahel. See on vastavuses ka varasemate noorujujatel tehtud uuringutega (Poujade *et al.*, 2002). On leitud, et bioloogilise küpsemise ajal mõjutavad biomehaanilised faktorid ujumistulemust enam kui kehalised võimed ning sellega seoses suureneb energiakulu noorujujatel ja vähemkogenud ujujatel võrreldes täiskasvanud ja kogenud ujujatega (Zamparo *et al.*, 2000). Samas täiskasvanud ujujatel tehtud uuringutes on saadud olulised seosed ujumise biomehaaniliste parameetrite ja distantsile kulunud energiakulu vahel (Wakayoshi *et al.*, 1995; Capelli *et al.*, 1998; Zamparo *et al.*, 2005).

Antud uuringu tulemused näitavad, et nii spetsiifilised antropomeetrilised kui ka keha koostise ja bioloogilise küpsuse näitajad on olulised ujumisdistsantsi läbimisele kulunud energiakulu määrajad prepuberteedialistel ja puberteedialistel poistel. Samas ei mõjuta ujumise energiakulu määratud biomehaanilised näitajad. Ujumisdistsantsile kulunud energiakulu määramist noortel ujujatel saab seega kasutada treeningukoormuste määramisel ja võimaliku ülekoormuse hindamisel.

6.3 Ujumise biomehaanilised näitajad

Oma uuringus vaatlesime ujumise biomehaanilistest näitajatest tõmbepikkust, tõmbesagedust ja tõmbeindeksit. Ujumistulemusega olid statistiliselt oluliselt seotud tõmbepikkus ja tõmbeindeks.

Ka teistest uuringutest on leitud, et tõmbepikkus ja tõmbeindeks mõjutavad ujumistulemust (Costill *et al.*, 1985; Smith *et al.*, 2002). Tõmbepikkus ja tõmbeindeks olid seotud ka ujumiskiirusega. Uujatel, kellel oli suurem tõmbepikkus ja parem tõmbeindeksi näitaja, oli ka ujumiskiirus suurem ja seeläbi ka parem ujumistulemus. Samas ei leitud seost tõmbesageduse ja ujumiskiiruse ning tõmbesageduse ja ujumistulemuse vahel. See võis olla põhjustatud sellest, et tõmbesageduse suurenemisega vähenes tõmbepikkus ning sellega seoses toimus ka ujumiskiiruse langus. See võib olla üheks väsimuse märgiks. Üldiselt peetakse oluliseks, et tõmbesageduse tõusuga suudetakse säilitada tõmbepikkus (Maglischo, 2003). Täiskasvanud uujatel tehtud uuringutest on leitud, et tõmbesagedus mõjutab ujumistulemust (Potdevin *et al.*, 2006).

Antud uurimistööst leiti, et tõmbepikkus ja tõmbeindeks olid seotud maksimaalse hapnikutarbimisega. Koos tõmbepikkuse suurenemisega, mis mõjutas ujumiskiirust, suurenes ka maksimaalne hapnikutarbimine. See on vastavuses kirjandusest leitud andmetega (Vorontsov *et al.*, 1999).

Statistiliselt olulist seost ei leitud tõmbeparameetrite ja energiakulu vahel. Kuigi kirjanduses on leitud seosed ujumiskiiruse ja energiakulu, tõmbesageduse ja energiakulu ning tõmbepikkuse ja energiakulu vahel (Zamparo *et al.*, 2000; Poujade *et al.*, 2002; Brooks *et al.*, 2004). Ujumiskiiruse suurenemisega, mis on põhjustatud kas siis tõmbepikkuse või tõmbesageduse suurenemisest, peaks suurenema ka energiakulu, antud töös seda ei leitud. Kuigi just noorte puhul peaks kiiruse suurenemisega kaasnev energiakulu suurenemine eriti hästi kajastuma, kuna lastel kulub sama töö sooritamiseks rohem energiat kui täiskasvanutel (Costill *et al.*, 1992).

Tõmbepikkus, tõmbeindeks ja ujumiskiirus olid seotud kõikide antropomeetriliste näitajatega peale keha rasvaprotsendi ja keha rasvamassi. Samas ei olnud tõmbesagedus seotud ühegi antropomeetrilise näitajaga. Hea ujumistulemuse saavutamisel on eelduseks suurem kehapikkus ja suurem käte siruulatus (Dunman *et al.*, 2006). Käesolevas uuringus olid käte siruulatus ja kehapikkus statistiliselt oluliselt seotud tõmbepikkusega ja tõmbeindeksiga. Järelikult uuritavatel, kellel olid kehapikkuse ja käte siruulatuse näitajad paremad oli ka tõmbepikkus ja tõmbeideks suuremad. Seega uujad, kes on pikemad, saavutavad läbi pikema tõmbepikkuse suurema ujumiskiiruse ja seega ka parema ujumistulemuse. Tõmbeparameetrite ja kehamassi vahel leiti samuti statistiliselt oluline seos, kuid olulisemaks ujumistulemuse mõjutajaks on rasvavaba mass (Wilmore & Costill, 1994; Brooks *et al.*, 2004).

Tõmbeparameetreid ja seeläbi ka ujumistulemust mõjutab ujumisel ka bioloogiline vanus (Malina, 1994). Ka antud uuringus oli statistiliselt oluline seos Tanneri skaala ja biomehaaniliste näitajate vahel. Tanneri skaala oli statistiliselt oluliselt seotud keha pikkuse ja käte siruulatusega. Järelikult saab öelda, et bioloogiliselt küpsemad uuritavad olid pikemad ja neil oli suurem käte siruulatus ning seega olid neil ka paremad biomehaanilised näitajad ja parem ujumistulemus. Puberteediealistel poistel olid biomehaanilised näitajad, peale tõmbesageduse, statistiliselt oluliselt suuremad kui prepuberteediealistel poistel. Puberteediealised poisid olid pikemad ja suurema käte siruulatusega kui prepuberteediealised poisid, seega oli neil ka suurem tõmbepikkus ning nad läbisid ühe tõmbega pikema distantsi. Samuti oli puberteediealistel suurem tõmbeindeks, mis eeldab, et nad läbisid 400 meetri suurema kiirusega ning nende ujumistulemus oli parem kui prepuberteediealistel poistel. Noorujujate küpsemisega kaasneb ujumistehnika täiustumine ja paranemine. Nii võib arvata, et puberteediealiste ujujate tehnikatunnetus on parem ja nad suudavad säilitada suurema tõmbepikkuse ka väsimuse tekkides.

Samas ei leitud seost tõmbesageduse ja määratud näitajate vahel, kuigi kirjandusest on teada, et tihti kasutatakse just tõmbesagedust ujumiskiiruse tõstmiseks. Üheks põhjuseks, miks ei olnud seost tõmbesageduse ja ujumistulemuse vahel võib olla see, et tõmbesageduse tõustes ei suutnud uuritavad säilitada tõmbepikkust ning seega langes ujumiskiirus ja ujumistulemus ei paranenud. Kirjandusest on teada, et tõmbesageduse tõstmist kiiruse suurendamiseks kasutatakse pigem lühematel distantsidel ja kuna 400 meetrit on pikk distants, eriti noorujujatele, siis on soodsam suurendada tõmbepikkust ja püüda säilitada ühtlast tõmbesagedust.

Seega võib väita, et käesolevas uuringus mõjutasid ujumise biomehaanilistest näitajatest ujumistulemust tõmbepikkus ja tõmbeindeks ning nendest näitajatest lähtuvalt ka ujumiskiirus. Biomehaanilised näitajad olid seotud bioloogilise küpsuse astmega, seega olid puberteediealiste poiste tõmbeparameetrid paremad ja seeläbi ka ujumistulemus parem kui prepuberteediealistel poistel. Tõmbeparameetrid mõjutasid maksimaalset hapnikutarbimist, kuid samas ei leitud seost energiakulu ja tõmbeparameetrite vahel. Ujumisel on oluline leida kõige ökonoomsem ja efektiivsem viis edasiliikumiseks ja veetaksituse ületamiseks.

6.4 Antropomeetriliste, funktsionaalsete ja biomehaaniliste näitajate seos ujumistulemusega

Antud uuringu tulemused näitasid, et nii erinevad antropomeetrilised ja keha koostise kui ka ujumise biomehaanilised ja funktsionaalsed näitajad mõjutavad maksimaalse 400 meetri rinnulikrooli tulemust nii prepuberteediealistel kui ka puberteediealistel poistel (vt. tabel 4). Lisaks sellele huvitas meid, millised nendest määratud parameetritest mõjutavad kõige enam 400 meetri ujumistulemust poistel. Selle selgitamiseks teostati regressioonanalüüs, kus kasutati ainult neid määratud antropomeetrilisi, keha koostise, ujumise biomehaanilisi ja bioenergeetilisi parameetreid, mis korrelatsioonanalüüsil olid statistiliselt oluliselt seotud 400 meetri ujumise võistlustulemusega. Vastavalt saadud tulemustele mõjutavad kõige enam noorte ujujate võistlustulemust ujumise biomehaanilised näitajad (89,8%; $R^2 \times 100$), millele järgnesid antropomeetrilised ja keha koostise parameetrid (45,4%) ning ujumise funktsionaalsed näitajad (35,8%). Ka mitmed teised uuringud on näidanud, et ujumise biomehaanilised faktorid mõjutavad oluliselt ujumistulemust (Costill *et al.*, 1992; Chollet *et al.*, 2000; Millet *et al.*, 2002; Seifert *et al.*, 2004 a, b). Negatiivset seost ujumistulemuse ja ülajäsemete pikkuse vahel saab vaadelda kui fakti, et edasiviiv jõud ja seeläbi ka ujumistulemus on positiivselt mõjutatud pikematest ülajäsemetest (Geladas *et al.*, 2005). Sealjuures sarnaselt täiskasvanud ujujatele (Costill *et al.*, 1985) oli määratud tõmbeindeks parimaks biomehaaniliseks näitajaks ning käte siruulatus ja peale ujumist määratud maksimaalne hapnikutarbimine olid parimad ujumistulemust iseloomustavad antropomeetrilised ja funktsionaalsed parameetrid noorujujatel. On selge, et igaks tõmbeks rakendatud jõud on oluliseks teguriks ujumises, mis seletab ka määratud tõmbeindeksi, käte siruulatuse ja maksimaalse hapnikutarbimise näitajate olulisust hea ujumistulemuse saavutamisel. Sarnaselt antud uurimistulemustega on leitud täiskasvanud ujujatel statistiliselt oluline seos ujumistulemuse ja käte siruulatuse (Smith *et al.*, 1988) ning ujumistulemuse ja peale 400 meetri ujumisdistsantsi läbimist määratud maksimaalse hapnikutarbimise näitajate vahel täiskasvanud ujujatel (Montpetit *et al.*, 1981; Costill *et al.*, 1985). Saadud uurimistulemuste põhjal võib väita, et hea võistlustulemuse saavutamisel on väga oluline arvestada spetsiifilisi ujumise tõmbeparameetreid.

Kokkuvõtteks võib öelda, et tõmbeindeks, käte siruulatus ja maksimaalne hapnikutarbimine on peamised 400 meetri võistlustulemust määravad näitajad noorujujatel.

7 JÄRELDUSED

1. Tõmbeindeks, käte siruulatus ja maksimaalne hapnikutarbimine on peamised 400 meetri võistlustulemust määravad näitajad noorujutel, sellest tuleneb vajadus parandada noorujate valikut, aga ka osutada piisavalt tähelepanu käte ja õlavöö jõuomaduste arendamisele ning aeroobse võimsuse tootmisele.
2. Prepuberteedialiste poiste energiakulu võistluskiirusel 400 meetri ujumisdistantsi läbimisel on statistiliselt oluliselt väiksem võrreldes puberteedialiste poiste energiakuluga, mis on põhjustatud erinevustest antropomeetrilistes ja biomehaanilistes näitajates.
3. Pärast võistluskiirusel 400 meetri rinnulikrooli distantsi läbimist määratud maksimaalne hapnikutarbimine on sobilik meetod noorujate funktsionaalse võimekuse hindamisel spordiala spetsiifilistes tingimustes, seda nii prepuberteedialistel kui ka puberteedialistel poistel, kuna see on sarnane sama kontingendi laboratoorses tingimustes määratud maksimaalse hapnikutarbimise näitajaga.

8 KASUTATUD KIRJANDUS

1. Alberty, M., Sidney, M., Huot-Marchand, F., Hespel, J. M., Pelayo, P. Intracyclic velocity variations and arm coordination during exhaustive exercise in front crawl stroke. *Int J Sports Med* 2004; 25: 1-5.
2. Alberty, M., Sidney, M., Huot-Marchand, F., Dekerle, J., Bosquet, L., Gorce, P., Lensele, G. Reproducibility of performance in three types of training test in swimming. *Int J Sports Med* 2006; 27: 623-628.
3. Arellano, R. Evaluating the technical race components during the training season. In: Sanders, R., Hong, Y. (eds). *Proceedings of XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports*. The Chinese University of Hong Kong 2000; 15-22.
4. Arellano, R., Cossor, J., Wilson, B., Chatard, J. C. Modelling Competitive swimming in different strokes and distances upon regression analysis: a study of the female participants of Sydney 2000 Olympic Games. *XIXth International Symposium on Biomechanics in Sports*. San Francisco: University of California 2001; 53-56.
5. Armstrong, N., Welsman, J. R., Kirby, B. J. Peak oxygen uptake and maturation in 12-yr olds. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30: 165-169.
6. Barden, J. M., Rorke, S. C. Stroke parameters relationship in a repeated swim interval training set. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31 (5), Supplement abstract 375.
7. Bassett, D. R., Howley, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Exerc Sports* 2000; 32: 70-84.
8. Baxter-Jones, A., Goldstein, H., and Helms, P. The development of aerobic power in young athletes. *J Appl Physiol* 1993; 75(3): 1160-1167.
9. Beunen, G., Malina, R. M. Growth and biological maturation: relevance to athletic performance. In: *The Encyclopedia of Sport Medicine: The Child and Adolescent Athlete*. Bar-Or, O. (ed) Blackwell Scientific Publications, Oxford 1996; 1-24.
10. Bland, J. M., Altman, D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 1: 307- 310.
11. Bogin, B. *Patterns of Human Growth*. 2th ed. Cambridge Studies in Biological and Evolutionary Anthropology 23. Cambridge, Cambridge University Press 1999.
12. Brooks, G. A., Fahey, T. D., Baldwin, K. M. *Exercise physiology. Human Bioenergetics and Its Applications*. 4th Ed. 2004; 809-833.

13. Capelli, C., Zamparo, P., Cigalotto, A., Francescato, M. P., Soule, R. G., Termin, B., Pendergast, D. R., di Prampero, P. E. Bioenergetics and biomechanics of front crawl swimming. *J Appl Physiol* 1995; 78: 674-679.
14. Capelli, C., Pendergast, D. R., Termin, B. Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *Eur J Appl Physiol* 1998; 78: 385-393.
15. Capelli, C. Physiological determinants of best performances in human locomotion. *Eur J Appl Physiol* 1999; 80: 298-307.
16. Capelli, C., Zamparo, P., Cautero, M., Tam, E. The energetics of competitive swimming. In : Hellard, P., Sidney, M., Fauquet, C., Lehenaff, D. (eds). *First International Symposium Sciences and Practices in Swimming*. 2006; 103-108.
17. Chatard, J. C., Padilla, S., Cazorla, G., Lacour, J. R. Influence of body height, weight, hydrostatic lift and training on the energy cost of the front crawl. *NZ Sports Med* 1985; 13: 82-84.
18. Chatard, J. C., Collomp, C., Maglischo, E., Maglischo, C. Swimming skill and stroking characteristics of crawl swimmers. *Int J Sports Med* 1990; 11: 156-161.
19. Chollet, D., Pelayo, P., Deleplace, C., Tourny, C., Sidney, M. Stroking characteristics variations in the 100-m freestyle for male swimmers of different skills. *Percept Motor Skills* 1997; 85: 167-177.
20. Chollet, D., Chalies, S., Chatard, J. C. A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. *Int J Sports Med* 2000; 21: 54-59.
21. Costill, D. L. *Biomechanics and medicine in swimming VIII*. Jyväskylä 1998.
22. Costill, D. L., Kovalski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R., King, D. Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med* 1985; 6: 266-270.
23. Costill, D. L., Maglischo, E. W., Richardson, A. B. *Swimming*. Blackwell Scientific Publications 1992.
24. Damsgaard, R., Bencke, J., Matthiesen, G., Petersen, J. H., Müller, J. Body proportions, body composition and pubertal development of children in competitive sports. *Scand J Med Sci Sports* 2001; 11: 54-60.
25. Dekerle, J., Sidney, M., Hespel, J. M., Pelayo, P. Validity and reliability of critical speed, critical stroke rate, and anaerobic capacity in relation to front crawl swimming performances. *Int J Sports Med* 2002; 23: 93-98.

26. Dekerle, J., Nesi, X., Lefevre, T., Depretz, S., Sidney, M., Hout Marchand, F., Pelayo, P. Stroking Parameters in Front Crawl Swimming and Maximal Lactate Steady state Speed. *Int J Sports Med* 2005; 26: 53-58.
27. Di Prampero, P. E. The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int J Sports Med* 1986; 7: 55-72.
28. Dunman, N., Morris, J., Nevill, M., Peyrebrune, M. Characteristics for success in elite junior and senior swimmers. Xth International Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming (Porto, Portugal) 21.-24. Juuni 2006.
29. Fernandes, R., Cardoso, C., Silva, J. A., Vilar, S., Colaco, P., Barbosa, T., Keskinen, K. L., Vilas-Boas, J. P. Assessment of time at lowest speed corresponding to maximal oxygen consumption in the four competitive swimming strokes. . Xth International Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming. Porto, Portugal 21.-24. Juuni 2006.
30. Geladas, N. D., Nassis, G. P., Pavlicevic, S. Somatic and physical traits affecting sprint swimming performance in young swimmers. *Int J Sports Med* 2005; 26: 139-144.
31. Goldsmith, W., Pyne, D., Maw, G. Physiological Test of Elite Athletes: Laboratory Environment/ Subject Preparation, Equipment Checklist, Blood Testing and Anthropometry. *Human Kinetics* 2000; 27: 372-382.
32. Grant, J. A., Joseph, A. N., Campagna, P. D. The prediction of VO_{2max} : Comparison of 7 indirect tests of aerobic power. *J Strenght Cond Res* 1999; 13: 346-352.
33. Greenhalgh, H. A., George, J. D., Hager, R. L. Cross-validation of a quarter-mile walk test using two VO_{2max} models. *Meas Phys Ed Exerc Sci* 2001; 5: 139-151.
34. Harries, M., Williams, C., Stanish, W. D., Micheli, L. J. *Oxford Textbook of Sports Medicine*. Oxford Univercity Press 1994.
35. Heyward. V. H. Practical body composition assessment for children. Adults and older adults. *Int J Sports Nutr* 1998; 8: 285-307.
36. Hoare, D. Talent Idebtification and Selection manual: Swimming. Sports Information and Science Agency 2001.
37. Hoffman, J. *Physiological aspects of sports training and performance*. Human Kinetics Publishers 2002.
38. Hue, O., Galy, O., Blanc, S., Hertogh, C. Anthropometrical and physiological determinants of performance in French West Indian monofin swimmers: a first approach. *Int J Sport Med* 2006; 27: 605-609.

39. Huot-Marchand, F., Nesi, X., Sidney, M., Alberty, M., Pelayo, P. Variations of stroking parameters associated with 200 m competitive performance improvement in top-standard front crawl swimmers. *Sports Biomech* 2005; 4: 89-99.
40. Kent, M. *Oxford Dictionary of Sport Science and Medicine*. 2th edition. Oxford University Press 1998.
41. Keskinen, K. L. Stroking characteristics of front crawl swimming. *Studies in sport, physical education and health*. University of Jyväskylä: thesis 1993.
42. Keskinen, K. L. Measurement of technique in front crawl swimming. In: Mihiyashita, M., Mutoh, Y., Richardson, A. B. (eds). *Medicine and Science in Aquatic Sports*, Basel: Karger 1994; 117-125.
43. Keskinen, K. L., Kovalski, J., Porter, D., Kirwana, J., Fielding, R., King, D. Energy expenditure during front crawl swimming: Predicting success in middle-distance events. *Int J Sports med* 1985; 6: 266-270.
44. Keskinen, K. L., Komi, P. V. Stroking characteristics of crawl swimming during exercise. *J Appl Biomech* 1993; 9: 219-226.
45. Klentrou, P., Montpetit, R. Physiologic and physical correlates of swimming performance. *J Swimming Res* 1991; 7: 13-18.
46. Kolmogorov, S. V., Duplisheva, A. Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *J Biomech* 1992; 25: 311-318.
47. Kolmogorov, S. V., Rumyantseva, O. A., Gordon, B. J., Cappaert, J. M. Hydrodynamic characteristics of competitive swimmers of different genders and performance level. *J Appl Biomech* 1997; 13: 88-97.
48. Larsen, G. E., George, J. D., Alexander, J. L., Fellingham, G. W., Aldana, S. G., Parcell, A. C. Prediction of maximum oxygen consumption from walking, jogging, or running. *Res Q Exrec Sport* 2002; 73: 66-72.
49. Latin, R. W., Elias, B. A. Predictions of maximum oxygen uptake from treadmill walking and running. *J Sports Med Phys Fit* 1993; 33: 34-39.
50. Leblanc, H., Seifert, L., Baudry, L., Chollet, D. Arm-leg coordination in flat breaststroke: a comparative study between elite and non-elite swimmers. *Int J Sports Med* 2005; 26: 1-11.
51. Leonard, J. *Science of Coaching Swimming*. Human Kinetics 1992; 48-49.

52. Lerda, R., Cardelli, C., Chollet, D. Analysis of the interactions between breathing and arm actions in the front crawl. *J Hum Mov Stud* 2001; 40: 129-144.
53. Maglischo, E.W. *Swimming fastest*. Human Kinetics 2003.
54. Malina, R. Physical growth and biological maturation of young athletes. In: Holloszy, J. (ed). *Exercise and Sports Science Reviews*. Baltimore: Williams & Wilkins 1994; 389-433.
55. Malina, R. M., Bouchard, C., Bar-Or, O. *Growth, maturation, and physical activity*. 2th ed. Human Kinetics 2004.
56. Mason, B. *World swimming championships, biomechanical analysis (Australian format)*. Prepared by the biomechanical department. Australian Institute of Sport. OMEGA Official Timekeeper 1998.
57. McArdle, W. D., Katch, F., Katch, W. *Exercise Physiology. Energy, Nutrition and Human Performance*. Philadelphia: Lea and Febiger 1991.
58. Millet, G. P., Chollet, D., Chaliès, S., Chatard, J. C. Coordination in front crawl in elite triathletes and elite swimmers. *Int J Sports Med* 2002; 23: 99-104.
59. Montpetit, R., Leger, L. A., Lavoie, J. M., Cazorla, G. VO_{2peak} during free swimming using the backward extrapolation of the O_2 recovery curve. *Eur J Appl Physiol* 1981; 47: 385-391.
60. Montpetit, R., Lavoie, J. M., Cazorla, G. Energy expenditure during front crawl swimming: a comparison between males and females. In: Ungerechts, B.E., Wilke, K., Reisschle, K (eds). *Swimming science V*. Human Kinetics, Champaign III 1988; 229-236.
61. Norton, K., Olds, T. *Anthropometrica*. Sydney UNSWV Press 1996.
62. Ogita, F. Energetics of competitive swimming and its application for training. In: Vilas-Boas, J. P., Alves, F., Marques, A. (eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming X*. Book of Abstracts. Porto, Portugal 2006; 14-15.
63. Pelayo, P., Sidney, M., Weissland, T. Effects of variations spontaneously chosen rate during crank upper-body and swimming exercise. *J Hum Movem Stud* 1998; 33: 171-180.
64. Potdevin, F., Bril, B., Sidney, M., Pelayo, P. Stroke frequency and arm coordination in front crawl swimming. *Int J Sports Med* 2006; 27: 193-198.
65. Poujade, B., Hautier, C. A., Rouard, A. Determinants of the energy cost of front crawl swimming in children. *Eur J Appl Physiol* 2002; 87: 1-6.

66. Pyne, D., Goldsmith, W., Maw, G. Physiological test of Elite Athletes: Stroke Mechanics. *Human Kinetics* 2000; 27: 372-282.
67. Pyne, D., Trewin, C. Analysis of stroke rates in freestyle at 2000 Olympics. *Swimming in Australia* 2001.
68. Roche, A. F. , Heymsfield, S. B., Lohman, T. G. *Human Body Composition*. Champaign: Human Kinetics 1996.
69. Rodriguez, F. A. Cardiorespiratory and metabolic field testing in swimming and water polo: from physiological concepts to practical methods. In: Keskinen, K. L., Komi, P V., Hollander, A. P. (eds) *Biomechanics and medicine in swimming VIII*. Gummerus printing, Jyväskylä 1999; 219-226.
70. Rodriguez, F. A., Keskinen, K., Malvela, M., Keskinen, O. Oxygen uptake kinetics during free swimming: a pilot study. In: Chatard, J. C. (ed) *Biomechanics and medicine in swimming IX*. University Press, Saint-Etienne 2003; 379-390.
71. Roemmich, J. N., Rogel, A. D. Physiology of growth and development. Its relationship to performance in the young athlete. *Clin Nutr Sports Med* 1995; 14: 483-502.
72. Rowland, T. W. *Developmental Exercise Physiology*. Champaign: Human Kinetics 1996.
73. Sanders, R. H. New analysis procedure for giving feedback to swimming coaches and swimmers. In: Sanders, R. (eds). *ISBS Swimming online*. University of Edinburgh, Edinburgh 2002.
74. Seifert, L., Chollet, D., Bardy, B. Effect of swimming velocity and arm coordination in front crawl: a dynamical analysis. *J Sports Sci* 2004 a; 22: 651-660.
75. Seifert, L., Boulesteix, L., Chollet, D. Effect of gender on the adaptation of arm coordination in front crawl. *Int J Sports Med* 2004 b; 25: 217-223.
76. Siders, W., Lukaski, H., Bolonchuk, W. Relationship among swimming performance, body composition and somatotype in competitive collegiate swimmers. *J Sports Med Phys Fitness* 1993; 33: 166-171.
77. Smith, D. J., Norris, S. R., Hogg, J. M. Performance evaluation of swimmers. *Sports Med* 2002; 32(9): 539-544.
78. Smith, H.K., Montpetit, R. R., Perrault, H. The aerobic demand of backstroke swimming, and its relation to body size, stroke technique, and performance. *Eur J Appl Physiol* 1988; 58: 182-188.
79. Stager, J. M., Tanner, D. A. *Swimming*. 2th ed. *Handbook of sports medicine and science*. Blackwell Scientific Publications 2005.

80. Zamparo, P., Capelli, C., Cautero, M., di Nino, A. Energy cost of front crawl swimming at supra-maximal speeds and underwater torque characteristics in young swimmers. *Eur J Appl Physiol* 2000; 83: 487-491.
81. Zamparo, P., Bonifazi, M., Faina, M., Milan, A., Sardella, F., Schena, F., Capelli, C. Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. *Eur J Appl Physiol* 2005; 94: 697-704.
82. Tanner, J. M., Whitehouse, R. H. Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity and stages of puberty. *Arch Dis Child* 1976; 51: 170-179.
83. Thanopoulos, V., Dopsaj, M., Nikolopoulos, A. The relationship of atropomorphological characteristics of crawl sprint swimmers of both genders with critical speed at 50 and 100 m. Xth International Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming (Porto, Portugal) 21.-24. Juuni 2006.
84. Toussaint, H. M. Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 1990; 22: 409-415.
85. Toussaint, H. M., Knops, W., de Groot, G., Hollander, P. The mechanical efficiency of front crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc* 1990; 22: 402-408.
86. Toussaint, H. M., Bee, P. J. Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Med* 1992; 13: 8-24.
87. Tsekouras, Y. E., Kavouras, S. A., Campagna, A., Koutsis, Y. P., Syntosi, S. S., Papazoglou, K., Sidossis, L. S. The anthropometrical and physiological characteristics of elite water polo players. *Eur J Appl Physiol* 2005; 95(1): 35-41.
88. Van Praagh, E. Developmental aspects of anaerobic function. In: *Children and exercise*, Armstrong, N., Kirby, B., Welsman, J. (eds). London: Spon 1997; 269-290.
89. Vorontsov, A. R., Solomatin, V. R. Methodics of multi-year training of young swimmers, USSR State Comm for Phys. Culture and Sport. Moscow 1990; 49.
90. Vorontsov, A. R., Dyrco, V. V., Binevsky, D. A., Solomatin, V. R., Sidorov, N. N. Patterns of growth for some characteristics of physical development, functional and motor abilities in boy-swimmers 11-18 years. In: *Keskinen, K., Komi, P., Hollander, P (eds). Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*. Jyväskylä: University of Jyväskylä 1999; 6: 327-335.
91. Vorontsov, A., Binevsky, D., Filonov, A., Korobova, E. A. The impact of individuals' maturity upon strength in young swimmers. In: *Keskinen, K., Komi, P., Hollander, P.*

- (eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*. Jyväskylä: University of Jyväskylä 1999; 6: 273-280.
92. Vorontsov, A., Binevsky, D. Swimming speed, stroke rate and stroke length during maximal 100 m freestyle of boys 11-16 years of age. *Biomechanics and Medicine in Swimming IX 2003*; 195-199.
93. Wakayoshi, K., Nomura, T., Takahashi, G., Mutoh, Y., Miyashito, M. Analysis of swimming races in the 1989 Pan pacific swimming championships and 1988 Japanese Olympic Trials. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI*. Cambridge 1992; 135-141.
94. Wakayoshi, K., D'Acquisito, J., Cappert, J. M., Troup, J. P. Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. *Int J Sports Med* 1995; 16: 19-23.
95. Wakayoshi, K., D'Acquisto, L. J., Troup, J. P. Relationship between metabolic parameters and stroking technique characteristics in front crawl. In: Troup, J. P., Hollander, A. P., Strasse, D., Trappe, S. W., Cappaert, J. M., Trappe, T. A. (eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VII, International Series on Sport Sciences. Vol. 18*. London: E& FN Spon 1996; 285-293.
96. Wilmore, J. H., Costill, D. L. *Physiology of Sport and Exercise*. Human Kinetics 1994.
97. Wirtz, W., Wilke, K., Zimmermann, F. Velocity, distance per stroke and stroke frequency of highly skilled swimmers in 50 m freestyle sprint in a 50 and 25 m pool. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming. Swimming Science VI*. Cambridge 1992; 131-134.
98. Yanai, T. Stroke frequency in front crawl: its mechanical link to the fluid forces required in non-propulsive directions. *J Biomec* 2003; 36: 53-62.

9 SUMMARY

The purpose of this study was to examine the influence of energy cost of swimming, anthropometrical/body composition and technical parameters on swimming performance in young swimmers. Twenty nine swimmers, 15 prepubertal ($11,9 \pm 0,3$ yrs; Tanner stages 1-2) and 14 pubertal ($14,3 \pm 1,4$ yrs; Tanner stages 3-4) boys participated in the study. Energy cost of swimming (Cs) and stroking parameters were assessed over maximal 400 metre front crawl swimming in a 25 metre swimming pool. The backward extrapolation technique was used to evaluate maximal oxygen consumption (VO_{2max}). A stroke index (SI; $m^2/s/cycles$) was calculated by multiplying the swimming speed by the stroke length. VO_{2max} results were compared with VO_{2max} test in the laboratory (bicycle: $2,86 \pm 0,74$ $l \cdot min^{-1}$ vs on-water: $2,53 \pm 0,50$ $l \cdot min^{-1}$; $R^2=0,713$; $P=0,0001$). Stepwise regression analyses revealed that SI ($R^2=0,898$), on-water VO_{2max} ($R^2=0,358$) and arm span ($R^2=0,454$) were the best predictors of swimming performance. The backward extrapolation method could be used to assess VO_{2max} in young swimmers. The SI, arm span and VO_{2max} appear to be the major determinants of front crawl swimming performance in young swimmers.