

TARTU ÜLIKOOL

Spordipedagoogika ja treeningõpetuse instituut

**Priit Lehisemets**

**KAHE ERINEVA MAKSIMAALSE RASVADE  
OKSÜDATSIOONI MÄÄRAMISE MEETODI VÕRDLUS  
KEHALISELT AKTIIVSETEL NOORMEESTEL**

Magistritöö

Kehalise kasvatuse ja spordi õppekava

Juhendaja: PhD Priit Purge

**Tartu 2014**

## TÖÖS KASUTATUD LÜHENDID

Fat<sub>max</sub>- harjutuse intensiivsus, mis kutsub esile maksimaalse rasvade oksüdatsiooni

BMI – *Body Mass Index*, kehamassiindeks

RER – *Respiratory Exchange Ratio*, sisse-ja väljahingatava õhu suhe

VO<sub>2max</sub> (ml/min/kg) – maksimaalne hapniku tarbimine

VCO (L/min) – väljahingatavas õhus olev süsihappegaasi sisaldus

AeL – aeroobne lävi

AnL – anaeroobne lävi

SD – standardhälve

l/min – lööki minutis

L/min – liitrit minutis

VE – ventilatsioon

VO (L/min) – väljahingatavas õhus olev hapniku sisaldus

VCO (L/min) – väljahingatavas õhus olev süsihappegaasi sisaldus

WR - harjutuse koormus

SLS – südamelöögisagedus

FAT (g/h) – rasvade oksüdatsioon

# SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	5
1.1 Rasvad ja nende tähtsus.....	5
1.2 Rasvade oksüdatsioon ja kehaline aktiivsus.....	6
1.3 $Fat_{max}$ ja seda mõjutavad faktorid.....	8
1.3.1 $Fat_{max}$ ja harjutuse intensiivsus.....	9
1.3.2 $Fat_{max}$ ja harjutuse kestvus.....	12
1.3.3 $Fat_{max}$ ja ülekaalulisus .....	13
1.3.4 $Fat_{max}$ ja vanus .....	14
1.3.5 $Fat_{max}$ ja treenitus.....	15
1.3.6 $Fat_{max}$ ja harjutuse tüüp.....	16
1.3.7 $Fat_{max}$ ja sugu.....	17
1.4 $Fat_{max}$ 'i määramise meetoodika.....	19
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED .....	23
3. TÖÖ METOODIKA .....	24
3.1 Vaatlusalused.....	24
3.2 Meetodid.....	24
3.3 Keha koostise määramine.....	24
3.4 I test veloergomeetril .....	24
3.5 II test veloergomeetril.....	25
3.6 Andmete statistiline töötlus .....	25
4. TÖÖ TULEMUSED .....	26
5. TULEMUSTE ARUTELU .....	29
6. JÄRELDUSED .....	32
7. KASUTATUD KIRJANDUS .....	33
8. SUMMARY .....	41

## SISSEJUHATUS

Rasva ainevahetus on oluline tegur nii sportliku saavutusvõime kui ka üldise tervise seisukohalt. Kuigi rasvad kannavad mitmeid olulisi rolle inimorganismis, võib nende mõju olla ka negatiivne, suurendades tõenäosust haigestuda südame- ja vereringehaigustesse (Jalak & Ööpik, 2005). Lisaks erinevatele töövõime testidele on üha rohkem hakatud hindama ka rasvade ainevahetust. Paljud teadlased on uurinud treeningu intensiivsuse ja rasvade oksüdatsiooni vahelist seost – nad on leidnud, et teatud koormuseni rasvade lõhustumise tase tõuseb, kuid kõrgemal intensiivsusel hakkab see hoopis langema. Sellise intensiivsuse iseloomustamiseks, mille korral rasvade oksüdatsioon on maksimaalsel tasemel, kasutatakse kirjanduses terminit  $Fat_{max}$ .  $Fat_{max}$ 'i määramisel võib olla oluline roll kaalulangetus- ja vastupidavustreeningu programmide koostamisel (Jeukendrup & Achten, 2001). Uurimustöö annab ülevaate rasva ainevahetuse ja  $Fat_{max}$ 'i seostest ning nende määramise meetodikast. Töö eesmärk on hinnata, kas meie poolt välja pakutud töövõime testi protokoll on sobilik ka rasva ainevahetuse ja  $Fat_{max}$ 'i määramiseks.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1 Rasvad ja nende tähtsus

Lipiidid ehk rasvad moodustavad keskmiselt 10-20% inimese kehakaalust, rasvumise korral enam kui 50%. Keskmise lipiidide ööpäevane vajadus täiskasvanud inimesel on 80-90 g. Inimene omastab toiduga saadud lipiididest kuni 95%. Eristatakse rakustruktuuri kuuluvat-ja depoorasva. Esimese hulk organismis on suhteliselt püsiv, viimane sõltub aga õigest toitumis- ja elurežiimist, lisaks ka pärilikest faktoritest. Lipiidide täielikul oksüdatsioonil on lõpp-produktideks süsinikdioksiid ja vesi, mittetäielikul oksüdatsioonil moodustuvad ketokehad, mis viiakse organismist välja uriiniga. (Kingisepp, 2006) Toiduga saadud rasvu lagundatakse peamiselt peensooles koostöös kõhunäärme, soolenäärmete nõre ja sapiga. Rasvade lagundamisel tekivad nende peamised koostisosad – rasvhapped ja glütserool. Glütserool imendub soolestikust otse verre, rasvhapped suunatakse esmalt lümfi, mille vahendusel nad lõpuks verre jõuavad. Rasvapped jaotatakse nende keemilise struktuuri alusel kolme põhilisse rühma: küllastunud rasvhapped (nt palmithape), monoküllastumata rasvhapped (nt olehape) ning polüküllastumata rasvhapped (nt linoolhape) (Jalak & Ööpik, 2005).

Rasvad moodustavad mahtvuselt oluliseima energiereservi inimese organismis ning kõigest 1 gramm rasvu annab 9.3 kcal energiat (Zimkin, 1974) ning vähemalt 80% inimese energiavarudest peitub keha rasvades (Jalak & Ööpik, 2005). Rasvade suured energiavarud ei ole aga nii kergesti kasutatavad. Rasvhapete kasutamine tuleb kõne alla vaid aeroobsel tööel ehk töötavate lihaste hapnikuvajaduse rahuldamise korral. Organism suudab aeroobsel tööel rasvhappeid efektiivselt põletada vaid süsivesikute juuresolekul, viimaste ressursi ammendumisel langeb oluliselt organismi aeroobne töövõime. Rasvade kasutamise teeb keeruliseks ka see, et iga liitri hapniku kasutamisel rasvhapete põletamiseks vabaneb vähem energiat kui sama mahu hapniku kulutamisel süsivesikute oksüdeerimiseks. Lisaks sellele asuvad rasvad inimese organismis lihastest anatoomilises mõttes kaugel ning nende energeetilisel eesmärgil kasutamine on mitmeastmeline ja aeglane protsess. (Jalak & Ööpik, 2005)

Lisaks lipiidide energeetilisele funktsioonile, kuuluvad nad ka rakustruktuuride koostisesse, mistõttu nad on vajalikud rakkude moodustumisel. Rasv võib ka deponeeruda rasvkoena, mis teeb võimalikuks selle kasutamise nälgimisel. Rasv on paljude organite kattedeks, kaitstes neid mehhaaniliste mõjutuste eest. Lisaks sellele aitab selle kuhjumine kõhuõõnde fikseerida siseelundeid. Peale selle kaitseb nahaalune rasvkude halva soojusjuhina organismi liigsete

soojakadude eest. Rasv on ka rasunäärmete sekreedi komponent, mis hoiab ära naha kuivamise ning veega kokkupuutel liigse märgumise. Toidurasv sisaldab mõningaid eluliselt tähtsaid vitamiine, mistõttu ei piisa ainult rasvadest, mida organism saab ka süsivesikutest sünteesida (Zimkin, 1974). Lipiidide üheks oluliseks funktsiooniks on veel rasvlahustuvate vitamiinide viimine organismi (Kingisepp, 2006).

Rasvade ainevahetust reguleerib kesknärvisüsteem. Rasva ainevahetuse neuraalne regulatsioon toimub kas otsese mõju läbi koele või hormoonide kaudu. Rasvade ainevahetust reguleerivad hüpofüüsi, kilpnäärme, kõhunäärme ja sugunäärmete hormoonid (Zimkin, 1974).

## **1.2 Rasvade oksüdatsioon ja kehaline aktiivsus**

Pika ahelaga rasvhapped on peamised energiaallikad puhkusel ja madala kuni keskmise intensiivsusega kehalisel tööl. Rasvhapete kättesaadavus sõltub lipolüüsi ja re-esterfitseerimise aktiivsusest ning verevoolust rasvkoos. Kehalisel aktiivsusel mobiliseeritud rasvhapete varud (plasma triglütseriidid või lihase triglütseriidid) võivad vastavalt konditsioonile varieeruda (Achten & Jeukendrup, 2004). Puhkuse ajal saadakse peamine energia rasvhapetest, mis on pärit rasvkoest (Klein jt, 1986). Rasvkoe lipolüütilist aktiivsust ja selle tasakaalu reguleerivad seda stimuleerivad (peamiselt katehoolamiinid) ja inhibeerivad hormoonid (peamiselt kõhunäärme hormoon insuliin), millest esimesed soodustavad ja teised pärsvivad triglütseriide rasvhapeteks ja glütserooliks hüdrolüüsimeist (Horowitz & Klein, 2000). Puhkuse ajal rasvkoest vabanenud rasvhapped ületavad tavaliselt hulga, mis ainevahetuse käigus oksüdeeritakse – rasvhapete kontsentratsioon vereplasmas on umbes 2 korda suurem kui oksüdeerimisele kuulub (Klein jt, 1989). Seega, suur osa rasvhappeid, mida rasvkoe lipolüüsi käigus ei oksüdeerita, re-esterfitseeritakse peamiselt maksa abil tagasi triglütseriidideks (Horowitz & Klein, 2000).

Kerge või mõõduka intensiivsusega harjutamist (25-65%  $VO_{2max}$ ) on seostatud 5-10 kordse rasvade oksüdatsioonitaseme tõusuga võrreldes puhkeolekuga (Krogh & Lindhard, 1920), mis on tingitud suurenenud lihaste energiavajadusest ning vabade rasvhapete kättesaadavusest. Suur osa vabu rasvhappeid tekib rasvkoos paiknevate triglütseriidide lipolüüsi tulemusena (Klein jt, 1994), mille kutsab esile kasvanud  $\beta$ -adrenergiliste retseptorite aktiivsus (Arner jt, 1990). Keskmise intensiivsusega treening kahekordistab verevoolu rasvkoos (Bulow & Madsen, 1976) ning võib seda rohkem kui 10-kordistada lihases (McArdle jt, 1991).

Kiirenenud verevoolul, mis kutsub esile ulatuslikuma rasvhapete eemaldamise rasvkoest võib olla oluline roll ka potentsiaalsete mürgiste rasvhapete kogunemise takistamisel (Hodgetts jt, 1991).

On leitud, et lisaks rasvkoele on rasvade allikaks ka lihasesisesed triglütseriidivarud (Horowitz & Klein, 2000). Mitmed uuringud on leidnud, et ka nendel võib olla tähtis roll vastupidavustreeningul (Romijn jt; Martin jt, 1993). Lihasesiseste rasvavarude uurimisel on saadud aga erinevaid tulemusi. Mõned uurijad (Phillips jt, 1996) on leidnud, et suurem lihasesiseste triglütseriidide vähenemine toimub pigem pärast treeningut kui enne treeningut. Samas on töid, mis selliseid tulemusi pole saanud (Dyck & Bonen, 1998). Erinevad tulemused lihasesiseste triglütseriidide uurimisel võivad tuleneda selle protsessi tehnilisest keerukusest (Horowitz & Klein, 2000). Samuti jääb ebaselgeks see, kuidas vastupidavustreening võib tõsta lihasesiseste triglütseriidide lipolüüsi, sest treeningu käigus väheneb katehoolamiinide stimulatsioon ning skeletilihase  $\beta$ -adrenergiliste retsptorite tihedus jääb samaks. Sellest võib järeldada, et kui vastupidavustreening tõepoolest tõstab lihasesiseste triglütseriidide rolli kehalisel tööl, siis peavad seda mõjutama mingid veel tundmata faktorid, mis viimaste lipolüüsi reguleerivad (Horowitz & Klein, 2000).

Vastupidavustreening submaksimaalsel harjutamisel soodustab rasvade oksüdatsiooni. Selle adaptiivse protsessi põhjuseid on mitmeid: suurem mitokondrite tihedus skeletilihases, mis tõstab rasvade oksüdeerimisvõimet (Holloszy, 1967); kapillaarvõrgustiku tihenemine skeletilihases, mis soodustab rasvhapete transporti lihasesse (Saltin & Gollnick, 1983); karnitiintransferaasi suurenemine, mis hõlpsustab rasvhapete transporti mitokondri membraanil (Mole jt, 1971); ning rasvhappeid siduvate proteiinide suurenemine, mis reguleerivad lihasesisest rasvhapete transporti (Turcotte jt, 1999).

Paljud erinevad uuringud on aga leidnud, et rasvkoes toimuv triglütseriidide lipolüüsi taseme tõus ei ole seotud treeningust põhjustatud keha täieliku rasvade oksüdatsiooni kasvuga (Horowitz & Klein, 2000). Kuigi on leitud, et maksimaalselt stimuleeritud lipolüütiline aktiivsus (adrenaliini kontsentratsioon vahemikus  $10^{-7} - 10^{-4}$  mol/L) on võrreldes treenimata vaatlusalustega suurem vastupidavustrenni harrastavate rasvarakkudes (Despres jt, 1984), on täheldatud ka seda, et rasvarakkude lipolüütiline aktiivsus on treenitud vaatlusalustel sama või pisut madalam, kui epinefriini kontsentratsioon jäi vahemikku  $10^{-10} - 10^{-8}$  mol/l (Crampes jt, 1989). Martin jt (1993) leidsid, et pärast 12 nädalast vastupidavustreeningut (samal absoluutsel intensiivsusel) vähenes rasvhapete kontsentratsioon plasmas 30% ning rasvade

oksüdatsiooni tase tõusis 45%. Rasvhapete vähenemist plasmas seostatakse lihasesiseste triglütseriidiallikate kasutamisega kehalisel tööl (Martin jt, 1993; Jansson jt, 1987).

Vaatamata kõrgele energiakulule kõrge intensiivsusega treeningu ajal (üle 70%  $VO_{2max}$ ) on rasvade oksüdatsiooninäitajad madalamad kui keskmise intensiivsusega treeningul (Horowitz & Klein, 2000). Rasvade piiratud kasutamine kõrge intensiivsusega tööl tuleneb osaliselt rasvhapete ringluse langusest, mis on põhjustatud vähenenud rasvhapete vabanemisel rasvkoest (Romijn jt, 1995). Rasvhapete kontsentratsiooni langus veres ei ole põhjustatud lipolüüsi vähenemisest, mida iseloomustab glütserooli kontsentratsioon veres. Viimane püsib sarnane intensiivsustel 65% ja 85% maksimaalsest hapniku tarbimisest (Romijn jt, 1993).

Rasvade oksüdatsioonitaseme langus kõrge intensiivsusega tööl võib olla seotud suurenenud glükogeeni ainevahetusega lihases (Horowitz & Klein, 2000). Kõrgetasemeline glükogenees lihases kõrge intensiivsusega tööl suurendab atsetüül-CoA (atsetüül-koeensüüm-A) kontsentratsiooni, mis omakorda võib suurendada malonüül-CoA kontsentratsiooni lihases (Saddik jt, 1993). Malonüül-CoA inhibeerib aga ensüümi (CPT-I), mis reguleerib pika ahelaga rasvhapete sisenemist mitokondrisse. Seega võib ulatuslik glükogenees kõrge intensiivsusega tööl piirata rasvade oksüdatsioonitaset, takistades pika ahelaga rasvhapete transporti mitokondrisse (Sideosis jt, 1997).

### **1.3 Fat<sub>max</sub> ja seda mõjutavad faktorid**

Rasva ainevahetus on tihedalt seotud harjutuse intensiivsusega. Juba varasemad uuringud (Romijn jt, 1993) on leidnud, et rasvade oksüdatsiooni tase on madal väiksemal treeningintensiivsusel (25%  $VO_{2max}$ 'st), tõuseb tunduvalt keskmisel intensiivsusel (65%  $VO_{2max}$ 'st) ning langeb taas kõrgel intensiivsusel (85%  $VO_{2max}$ 'st). Viimasel ajal on aga üha rohkem tähelepanu pööratud intensiivsuse määramisele, mis kutsub esile maksimaalse rasvade oksüdatsiooni ning selle väärtuse iseloomustamiseks kasutatakse enamasti terminit Fat<sub>max</sub> (Jeukendrup & Achten, 2001). Pärast seda, kui Achten jt (2002) uurisid Fat<sub>max</sub>'i erinevatel intensiivsustel, on avaldatud mitmeid töid, kus sarnaseid või mingil määral kohaldatud meetoteid kasutatades on püütud erinevates populatsioonides määrata Fat<sub>max</sub>'i ja rasvade oksüdatsiooni ulatust. Lisaks sellele määratleti selles uuringus ka Fat<sub>max</sub> tsoon, mis kirjeldas intensiivsuste ulatust, kus rasvade oksüdatsiooni tase erineb maksimaalsest punktist kuni 10%.

$Fat_{max}$ 'i põhiliseks mõjutajaks on harjutuse intensiivsus (Achten & Jeukendrup, 2003), kuid lisaks sellele on leitud, et see võib sõltuda ka vanusest (Riddell jt, 2008), soost (Venables jt, 2005), kehakoostisest (Zunquin jt, 2009a), treenitusest (Nordby jt, 2006), harjutuse tüübist (Zakrzewski & Tolfrey, 2012), harjutuse kestvusest (Chenevière jt, 2009).

### 1.3.1 $Fat_{max}$ ja harjutuse intensiivsus

Paljud teadlased on uurinud harjutuse intensiivsuse ja maksimaalse rasvade oksüdatsiooni vahelist seost (Riddell jt, 2008; Venables jt, 2005). Harjutuse intensiivsust peetakse üheks olulisemaks rasvade oksüdatsiooni mõjutajaks. Absoluutne rasvade oksüdatsioon kasvab madalast kuni keskmise intensiivuseni ning langeb kõrgematel intensiivustel. (Zakrzewski & Tolfrey, 2012). Intensiivsustel, kus glükolüüsi tase oluliselt suureneb, ehk siis ülevalpool anaeroobset läve, väheneb vastavalt rasvhapete kasutamine osakaal energia saamiseks. Energiakulu küll suureneb, kuid siiski väheneb absoluutne rasvade oksüdatsioon. Enamasti jääb  $Fat_{max}$  väärtus natuke alla selle punkti, kus hakkab toimuma ulatuslikum süsivesikute lõhustumine. Teadlased on leidnud, et suurendades glükolüüsi taset vaatlusalustele kõrge süsivesikusisaldusega toitu manustades või harjutuse intensiivsust tõstes (40%-lt 70%-le maksimaalsest hapnikutarbimisest) väheneb küll pika ahelaga rasvhapete lõhustumine, kuid mitte keskmise ahelaga rasvhapete oksüdatsioon. See näitab, et süsivesikute lõhustumise tõus pärsib rasvade oksüdatsiooni takistades karnitiini palmitoültransferaas 1 (CPT-1) ja karnitiini vahendatavat rasvhapete transporti mitokondrisse. Lisaks sellele on leitud, et harjutuse ajal on vähenenud rasvhapete osakaal vereringluses, mis viitab rasvhapete mobilisatsiooni vähenemisele. Selle põhjuseks võib olla vähenenud lipolüüs või vähenenud verevool rasvkoes. (Jeukendrup & Achten, 2001)

Varasemalt mõõdeti rasvade oksüdatsiooni piiratud arvuga intensiivsustel, näiteks kahel (Arnos jt, 1997) või kolmel (Romijn jt, 1993). Sellise arvu intensiivsuste põhjal on aga keeruline täpselt määrata punkti, mille korral rasvade oksüdatsioon on maksimaalne. Inglismaal uuriti aga teadaolevalt esmakordselt rasvade oksüdatsiooni maksimaalset punkti paljudel erinevatel intensiivsustel. Leiti, et rasvade lõhustumine on kõrge paljudel intensiivsustel, kuid langeb märgatavalt ületades  $Fat_{max}$  punkti (Achten jt, 2002). Tabelis 1 on iseloomustatud erinevate allikate poolt välja pakutud  $Fat_{max}$  väärtusi.

Tabel 1. Erinevates allikates leitud  $Fat_{max}$  väärtused (Zakrzewski & Tolfrey, 2011 järgi)

Autor	Vaatlusaluste arv	NO/ÜL	Puberteedi faas	Sugu	Vanus	Max. rasvade oksüdatsioon	$Fat_{max}$
Brandou jt (2003)	7	ÜL	Erinevad faasid	M + N	13.7	Pole öeldud	32% $W_{max}$ (enne treeningut) 45% $W_{max}$ (peale treeningut)
Brandou jt (2005)	7	ÜL	Erinevad faasid	M	11.8	Pole öeldud	51% $W_{max}$
Maeffis jt (2005)	24	ÜL	Puberteedi eelne	M	10	0.15 g · min <sup>-1</sup>	~50% $V \cdot O_{2max}$
Brandou jt (2006)	7	ÜL	Puberteedi eelne	M	10.6	6.9 mg · min <sup>-1</sup> · FFM <sup>-1</sup>	~50% $W_{max}$
	8	ÜL	Puberteedi järgne	M	13.5	5.4 mg · min <sup>-1</sup> · FFM <sup>-1</sup>	~47% $W_{max}$
Stephens jt (2006)	9	NO	Varajane puberteet	M	10.3	4.0 mg · kg <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup>	40% $V \cdot O_{2max}$
	12	NO	Kesk puberteet	M	12.3	5.0 mg · kg <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup>	40% $V \cdot O_{2max}$
	11	NO	Hiline puberteet	M	15.0	2.6 mg · kg <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup>	30% $V \cdot O_{2max}$
Lazzer jt (2007)	15	ÜL	Puberteet ja peale puberteeti	M	15.9	0.32 g · min <sup>-1</sup>	40% $V \cdot O_{2max}$
	15	ÜL		N	15.6	0.25 g · min <sup>-1</sup>	38% $V \cdot O_{2max}$
	15	NO		M	15.0	0.32 g · min <sup>-1</sup>	45% $V \cdot O_{2max}$
	15	NO		N	15.0	0.25 g · min <sup>-1</sup>	42% $V \cdot O_{2max}$
Lazzer jt (2008)	19	ÜL	Erinevad faasid	M+N	8-12	0.28 g · min <sup>-1</sup> (enne treeningut) 0.34 g · min <sup>-1</sup> (peale treeningut)	48% $V \cdot O_{2max}$ (Enne ja peale treeningut)
Riddell jt (2008)	5	NO	T1	M	12.0	8.6 mg · kgFFM <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup>	56% $V \cdot O_{2max}$
	3	NO	T2/3	M	13.2	min <sup>-1</sup>	55% $V \cdot O_{2max}$
	5	NO	T4	M	14.7	7.6 mg · kgFFM <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup>	45% $V \cdot O_{2max}$
	9	NO	Puberteedi järgne	M	23.8	5.4 mg · kgFFM <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup>	31% $V \cdot O_{2max}$
						4.2 mg · kgFFM <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup>	

Tabel 1. Erinevates allikates leitud  $Fat_{max}$  väärtused (Zakrzewski & Tolfrey, 2011 järgi)

Autor	Vaatlusaluste arv	NO/ÜL	Puberteedi faas	Sugu	Vanus	Max. rasvade oksüdatsioon	$Fat_{max}$
Aucouturier jt (2009)	20	ÜL	Pole öeldud	M+N	13.0	Pole öeldud	53% $V \cdot O_{2max}$ 47% $V \cdot O_{2max}$ 38% $V \cdot O_{2max}$ W 38% $W_{max}$ 36% $W_{max}$
Zunquin jt (2009b)	16 16 14	ÜL ÜL ÜL	Enne puberteeti Puberteet Peale puberteeti	M M M	9.7 11.9 14.6	7.4 mg · kgFFM <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup> 6.5 mg · kgFFM <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup> 5.5 mg · kgFFM <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup>	49% $V \cdot O_{2max}$ 47% $V \cdot O_{2max}$ 45% $V \cdot O_{2max}$
Lazzer jt (2010)	20	ÜL	Puberteet ja peale puberteeti	M	14-16	0.45 g · min <sup>-1</sup>	42% $V \cdot O_{2max}$

NO- normaalkaal; ÜL – ülekaal; M- meessugu; N- naissugu; T1 – Tanner'i I faas; T2 – Tanner'i II faas; T3 – Tanner'i III faas; T4 – Tanner'i IV faas.

Mitmed noorte seas läbiviidud uuringud näitavad, et  $Fat_{max}$  'i tase võib individuaalselt oluliselt varieeruda ning jääb enamasti vahemikku 30-60% maksimaalsest hapniku tarbimisest (Zunquin jt, 2009; Crisp jt, 2012; Riddell jt, 2008). Mõne allika järgi võib  $Fat_{max}$  küündida isegi kõrgema tasemeni, keskmiselt 64%-ni maksimaalsest hapniku tarbimisest (Achten & Jeukendrup, 2002).

### 1.3.2 $Fat_{max}$ ja harjutuse kestvus

Mitmed uuringud on püüdnud välja selgitada, kas ja kuidas mõjutab rasvade oksüdatsiooni ja  $Fat_{max}$  'i harjutuse kestvus (Chenevière jt, 2009; Meyer jt, 2007; Pillard jt, 2007).

Achten jt (2002), kes testisid kahel meetodil treenitud meeste rasvade oksüdatsiooni ja määrasid nende  $Fat_{max}$  väärtuse, võrdlesid rasvade oksüdatsiooni määra kasvava koormusega testil ja erinevatel päevadel sooritatud pikema kestvusega muutumatu intensiivsusega testil (35-80 min). Selles testis aga ei hinnatud, kas pikema kestvusega testides muutus aja jooksul rasvade oksüdatsiooni ulatus (Crisp jt, 2012), vaid võrreldi keskmisi rasvade oksüdatsiooni näitajaid esimeses testis saadud tulemustega.

Austraalias püüti välja selgitada, kas ülekaaluliste poiste 30 minutilisel konstantse intensiivsusega treeningul jääb  $Fat_{max}$  stabiilseks (Crisp jt, 2012). Kõigepealt läbisid vaatlusalused muutuvate koormustega testi veloergomeetril, kus läbiti 7 astet (35, 40, 45, 50, 55, 60, 65%  $VO_{2max}$ ), kusjuures iga astme pikkuseks oli 3 minutit. Teistel kordadel läbisid nad testi, mille pikkuseks oli 30 minutit ning intensiivsus konstantne. Need viimased 5 testi läbiti erinevatel kordadel 5 intensiivsusel (40, 45, 50, 55, 60%  $VO_{2max}$ ). Tulemused näitasid, et rasvade oksüdatsiooni määr jäi 30 minuti jooksul stabiilseks ning  $Fat_{max}$  oli sarnane 3-, 10-, 20- ja 30-ndal harjutusminutil. Järeldati, et harjutus mis kestab 30 minutit või alla selle, ei mõjuta  $Fat_{max}$  'i. Selle põhjuseks võib aga olla see, et laste ja täiskasvanute ainevahetuses (ka rasvade oksüdatsioonil) on erinevusi.

Chenevière ja ta kolleegid (2009) uurisid aga keskmiselt treenitud mehi ja naisi, kes läbisid kasvava koormusega testi (3 minutilised astmed) jooksulindil, et arvutada nende  $Fat_{max}$ . Test lõpetati, kui RER jõudis 1.0 väärtusele. Järgmisel korral läbisid nad 1 tunnise testi jooksulindil eelmisel korral arvatud  $Fat_{max}$  intensiivsusel ( $57\% \pm 3\%$ ), millele järgnes 10 minutilise puhkuse järel samasugune kasvava koormusega test, nagu esimesel korral. Pärast 1 tunnisele keskmise intensiivsusega testile järgnenud kasvava koormusega testis oli RER

madalam igas astmes võrreldes esimesel korral läbi viidud analoogs testiga. Lisaks sellele oli kõrgem  $Fat_{max}$  ( $56.4\% \pm 2.3\%$  vs  $51.5\% \pm 2.4\%$ ) ning rasvade oksüdatsiooni määr (vahemikus 35-70%  $VO_{2max}$ ).

Selles uuringus leiti, et tavapärasele kasvava koormusega testile eelnev 1 tunnine keskmise intensiivsusega treening mõjutab rasvade oksüdatsiooni määra ja  $Fat_{max}$ 'i, mis viitab sellele, et harjutuse piisav kestvus võib mõjutada rasvade oksüdeerimise ulatust.

### 1.3.3 $Fat_{max}$ ja ülekaalulisus

Ülekaalulistel on leitud olevat madalam rasvade oksüdatsiooni tase (Colberg jt, 1995) ning seda protsessi inhibeerivate retseptorite stimulatsioon (Blaak jt, 1994a, 1994b). Kaalu juurdevõttu madala rasvade oksüdatsiooni ulatuse tõttu on täheldatud erinevates populatsioonides (Zurlo jt, 1990; Marra jt, 2004). On leitud, et nendel, kes on olnud ülekaalulised, on madalam rasvade oksüdatsiooni tase võrreldes indiviididega, kes pole kunagi olnud ülekaalulised (Zakrzewski & Tolfrey, 2011). Lisaks sellele ei too ülekaaluliste puhul kaalu vähenemine kaasa paranenud võimet rasvu oksüdeerida (Berggren jt, 2008; Kelley jt, 1999). Ezell jt (1999) uurisid rasvade ainevahetust veloergomeetril harjutades kolmes erinevas naiste grupis. Esimesse gruppi kuulusid naised, kes ei olnud kunagi olnud ülekaalulised, teise gruppi need, kes olid ülekaalulised ning kolmandasse naised, kes olid varem olnud ülekaalulised. Nad sõitsid 60 minutit intensiivsusel 60-65%  $VO_{2max}$ 'st ning leiti, et võrdsel suhtelisel intensiivsusel treenides ei muutunud oluliselt rasvade oksüdatsiooni ulatust. Naiste grupis, kes olid varem olnud ülekaalulised, täheldati aga kõrgemat vabade rasvhapete konsentratsiooni harjutamise ajal. Hüpotiseeriti, et selles grupis esinenud püsivalt madalam insuliini ning kõrgem kasvuhormooni tase võis suurendada vabade rasvhapete kättesaadavust. Sellised leiud viitavad aga selle, et madal rasvade oksüdatsioonivõime võib olla eelsoodumuseks ülekaalulisusele (Zakrzewski & Tolfrey 2011).

Ülekaaluliste  $Fat_{max}$ 'i on uuritud suhteliselt palju ning enamasti jääb viimase väärtus vahemikku 40-55% maksimaalsest hapniku tarbimisest (Aucouturier jt; Zunquin jt, 2009). Zunquin (2009a) leidis, et nii  $Fat_{max}$ 'i kui ka rasvade oksüdatsiooni tase oli langes ülekaalulistel poistel koos puberteedi arenguga, oluline erinevus puudus vaid madalatel intensiivsustel (20 ja 30%  $VO_{2max}$ 'st).

Lazzer (2007) uuris normaal-ja ülekaalulisi noori ning leidis, et  $Fat_{max}$  väärtused olid ülekaaluliste seas ainult natukene madalamad ning rasvade oksüdatsiooni tase 5 erineval

intensiivsusel oluliselt ei erinenud. Lisaks sellele leiti, et intensiivsustel, mis jäid alla 40% maksimaalsest hapniku tarbimisest, oli absoluutne rasvade oksüdatsiooni tase kõrgem hoopiski ülekaalulistel kui normaalkaalus noortel. Keskmise intensiivsusega treening (40-60%  $VO_{2max}$ ) võib seega vähendada nii suhtelist (Zunquin jt, 2009a) ja absoluutset (Lazzer jt, 2007) rasvade oksüdatsiooni taset. Seoses sellega, et ülekaaluliste  $Fat_{max}$  väärtus esineb madalamatel intensiivsustel, soovitatakse neil treenida natuke madalamatel intensiivsustel (Zakrzewski & Tolfrey, 2011).

### 1.3.4 $Fat_{max}$ ja vanus

Mitmete allikate põhjal võib järeldada, et rasvade oksüdatsiooni mõjutab ka vanus, eriti puberteediiga. Juba üle 70 aasta tagasi leiti, et lastel on kehalise aktiivsuse ajal võrreldes täiskasvanutega madalam gaasivahetuse suhe (Robinson, 1938). Seda on täheldatud submaksimaalsel treeningul, mis on sooritatud samal absoluutsetel (Robinson, 1983) ja suhtelisel (Foricher jt, 2003) intensiivsusel, mis viitab sellele, et lastel on täiskasvanutega kõrgem rasvade oksüdatsiooni määr (Zakrzewski & Tolfrey, 2011). Lisaks sellele on leitud, et rasvade oksüdatsioon kõrgem nooremate laste seas (Timmons, 2007a), mis võib seotud olla puberteedieaga.

Pranustusmaal uuriti 46 puberteedieas ülekaalulist poissi (Zunquin jt, 2009a), kes jaotati 3 gruppi, vastavalt nende sugulisele küpsusele Tanneri skaala järgi. Esimeses grupis 16 poissi, kes kuulusid Tanneri I astmele (vanus 10 aastat või nooremad), teises samuti 16, kes kuulusid Tanneri III astmele (11-12.5) ning kolmandas grupis 14 poissi, kes kuulusid Tanneri V astmele (14+). Neil kõigil mõõdeti ja võrreldi rasvade oksüdatsiooni erinevatel intensiivsustel (20%, 30%, 40% ja 50% maksimaalsest hapniku tarbimisest). Lisaks sellele arutati kaudse kalorimeetria meetodil kõigi osalenute  $Fat_{max}$ . Leiti, et kõigil nendel intensiivsustel langeb rasvade oksüdatsiooni määr koos puberteedilise arenguga ning  $Fat_{max}$  osutus kõrgemaks just nooremate grupis.  $Fat_{max}$ i keskmised väärtused olid vastavalt kõige nooremate grupis  $49.47 \pm 1.62\%$ , keskmises grupis  $47.43 \pm 1.26\%$  ning vanemate poiste grupis  $45.00 \pm 0.97\%$  maksimaalsest hapniku tarbimisest.

Riddell jt (2008) uurisid noorte poiste rasvade oksüdatsiooni läbi puberteedi ning võrdlesid seda meestega. Poisse testiti 3 korda erinevates puberteediasmetes (Tanner I, Tanner II/III, Tanner IV). Sarnaselt eelnevalt mainitud Zunquin'i uuringule, leiti ka selles töös, et kõige nooremate grupis oli kõrgeim suhteline rasvade oksüdatsiooni tase ning  $Fat_{max}$  ( $56 \pm 6\%$

$VO_{2\max}$ ) ning madalaim meeste seas ( $31 \pm 4\% VO_{2\max}$ ), kusjuures see langes märgatavalt just puberteedia hilisemas staadiumis (Tanner IV).

Ülekaaluliste laste puhul on aga puberteedieelsete ja puberteedijärgsete laste  $Fat_{\max}$ i erinevus suhteliselt väike (umbes 4%) ning võib seetõttu olla praktiliselt väheoluline. Puberteedi olulisus rasvade oksüdatsiooni mõjutamisel võib olla tunduvalt suurem. Puberteeti seostatakse küll absoluutse maksimaalse rasvade oksüdatsiooni kasvuga, kuid samas langetab see maksimaalset rasvade oksüdatsiooni, mis on väljendatud kilogrammi kohta rasvavabast massist. See viitab sellele, et läbi puberteedi väheneb treeningu ajal rasvavaba massi võime oksüdeerida rasvu (Zakrzewski & Tolfrey, 2011).  $Fat_{\max}$  väärtused olid nendes uuringutes tunduvalt kõrgemad igas puberteediastmes võrreldes meestega ning  $Fat_{\max}$  väärtused langesid vastavalt hilisemasse puberteeti jõudmisega ning selliseid tulemusi toetab ka varasem ristlääbilõikeuuring (Stephens jt, 2006).

### **1.3.5 $Fat_{\max}$ ja treenitus**

Vastupidavustreening toob kaasa mitmeid ainevahetuslikke adapttsioone töötavas lihases. Pole aga päris selge, kui suurel määral mõjutab aeroobse iseloomuga vastupidavustreening  $Fat_{\max}$ i (Lima-Silva jt, 2010). Nordby (2006) uuris  $Fat_{\max}$ 'i tervetel treenimata ja treenitud meestel. Selgus, et maksimaalne rasva ainevahetuse tase oli kõrgem treenitud meestel ( $250 \pm 25$  vs  $462 \pm 33$  mg/min) ning ka nende  $Fat_{\max}$  väärtus esines kõrgemal suhtelisel intensiivsusel ( $43.5 \pm 1.8\%$  vs  $49.9 \pm 1.2\% VO_{2\max}$ ).

Inglismaal (Lima-Silva jt, 2010) võrreldi keskmise ja madala tasemega jooksjaid. Esimesel testimisel läbisid vaatlusalused kasvava koormusega testi jooksulindil ning arvutati kaudset kalorimeetriat kasutades nende  $Fat_{\max}$ . Umbes 14 päeva hiljem läbisid nad 10 km pikkuse distantsi jooksulindil, mille alusel jaotati nad kahte erinevasse gruppi. Jooksjad, kes läbisid distantsi kiiremini 37.8 minutit, kuulusid keskmise tasemega jooksjate gruppi ning need, kellel läks kauem, kuulusid madala taseme gruppi. Lisaks sellele jaotati nad veel gruppidesse maksimaalse hapniku tarbimise alusel, kus vastavalt madalamate näitajatega kui 62.4 ml/kgmin kuulusid madala  $VO_{2\max}$  gruppi ning sellest kõrgemate väärtustega kõrge  $VO_{2\max}$  gruppi. Sooritus-põhises võrdluses leiti, et rasvade oksüdatsiooni ulatus ja  $Fat_{\max}$  väärtus oluliselt ei erinenud. Maksimaalse hapniku tarbimise jaotuse järgi aga ilmnes, et maksimaalne rasvade oksüdatsioon on tunduvalt madalam grupis, kuhu kuulusid madala  $VO_{2\max}$  näitajatega

vaatlusalused. Sealjuures ei olnud aga suuri erinevusi intensiivsusel, mis kutsus esile maksimaalse rasvade oksüdatsiooni.

Sarnaseid parameetreid uuriti ka treenitud ja treenimata naiste seas (Stisen jt, 2006) ning leiti, et treenitud naistel olid võrreldes treenimata vaatlusalustega nii keskmisel kui ka kõrgel treeningintensiivsusel kõrgemad rasvade oksüdatsiooni taseme näitajad, kuid huvitaval kombel ei täheldatud erinevusi  $Fat_{max}$  väärtustel.

### 1.3.6 $Fat_{max}$ ja harjutuse tüüp

Olemasoleva kirjanduse andmeil kasutatakse  $Fat_{max}$ 'i arvutamiseks labori tingimustes tavaliselt koormustesti jooksulindil (Venables jt, 2005; Zakrzewski & Tolfrey, 2012) või veloergomeetril (Crisp jt, 2012; Achten & Jeukendrup, 2003). Harjutuse intensiivsuse kõrval on  $Fat_{max}$ 'i mõjutamisel oluline koht ka harjutuse tüübil (Achten jt 2002). On leitud, et  $VO_{2max}$  on 7-10% võrra suurem jooksulindil kui veloergomeetril (Mázek jt 1976; Millet jt 2009), seega kõrgem absoluutne  $VO_{2max}$  jooksulindil võib seletada erinevusi rasvade oksüdatsiooni kohapealt erinevate harjutustüüpide vahel. Seega tuleks rasvade oksüdatsiooni võrrelda paljudel erinevatel intensiivsustel, nii suhtelise (% harjutus-spetsiifilisest  $VO_{2max}$ 'st) kui ka absoluutse maksimaalse hapnikutarbimise järgi.

Rasvade oksüdatsioon täiskasvanutel on võrreldes veloergomeetriga kõrgem jooksulindil (Achten jt 2003; Capostagno & Bosch 2010; Glass jt 1999). Achten ja kolleegid (2003) leidsid, et rasvade oksüdatsiooni tase täiskasvanutel on võrreldes veloergomeetriga märgatavalt kõrgem (28%) jooksulindil treenides, kuid samas ei leitud olulist erinevust  $Fat_{max}$  väärtuste võrdlemisel ( $62.1 \pm 3.1$  vs  $59.2 \pm 2.8\%$   $VO_{2max}$ ). Capostagno & Bosch (2010) uurisid harjutustüübi erinevusi meessoost triatleetidel, kelle rasva ainevahetuse ja  $Fat_{max}$  väärtused määrati nii maksimaalse töökoormuse- ( $WL_{max}$ ) kui hapniku tarbimise järgi ( $VO_{2max}$ ). Isegi, kui vaatlusalused olid kogenud jooksjad ja ratturid, leiti sarnaselt Achteni (2003) allikale, et samal suhtelisel intensiivsusel oli rasva ainevahetuse tase kõrgem jooksutesti läbimisel. Glass jt (1999) töö kinnitas seda hüpoteesti samuti, leides et jooksulindil treenides oli rasvade oksüdatsiooni tase 11% kõrgem kui veloergomeetril. Veel hilisemates uuringutes (Mendelson jt, 2012) on aga täheldatud, et harjutuse tüübist ei tulene olulisi erinevusi maksimaalse rasvade oksüdeerimisel, kuid need tulemused saadi grupiviisilisel võrdlusel. Individuaalsel tasemel leiti hoopis, et 6 vaatlusalusel 10'st esines kõrgem rasvade oksüdatsioon just rattaergomeetril.

Olemasoleva kirjanduse põhjal võib järeldada, et rasvade oksüdeerimise ulatus on võrreldes rattasõiduga tunduvalt kõrgem jooksuharjutuse sooritamise ajal. Need tulemused on aga saadud täiskasvanute uurimisel ning sarnast infot laste kohta on vähe (Zakrzewski & Tolfrey, 2012) või mõõdetud ainult 2 intensiivsusel (Mázek jt 1976).

Zakrzewski & Tolfrey (2012) uurisid harjutustüübist tulenevaid muutusi rasva ainevahetuses noortel lastel. Vaatlusaluste hulka kuulus 25 noort (puberteedieelses ja varases puberteedistaadiumis) poissi ja tüdrukut. Tulemused näitasid, et rasvade oksüdatsioon on ka lastel ulatuslikum just jooksulindil harjutades. Selles töös selgus ka, et jooksulindil püsib rasvade oksüdatsioon kõrgem ka paljudel intensiivsustel.

Lafortuna jt (2010) uuris veloergomeetril ja jooksulindil 13-18 aastaseid ülekaalulisi noori, et uurida välja, millisel treeningtüübil on ülekaalulistel võimalik enam rasvu kulutada. Selgus, et sarnaselt täiskasvanutega, toimub ulatuslikum rasvade oksüdatsioon just kõndimisel või jooksmisel.

Põhjuseks, miks jooksulindil harjutamisel esineb kõrgem rasvade oksüdatsioon, pakutakse seda, et veloergomeetril treenides osaleb töös väiksem lihasmass. See võib põhjustada suurema suhtelise energiakulu rattasõidus osalevatele lihastele ning kaasatakse rohkem II tüüpi lihaskiude, mis kutsuvad esile suurema süsivesikute tarbimise ning mille tagajärjel väheneb rasvade osakaal energia saamiseks. Mõned allikad viitavad aga ka sellele, et kattehoolumiinide vabastamine toimub vastavalt töötavate lihaste massile. Kuna kattehoolumiinid on olulised lipolüüsi stimuleerijad, siis arvatakse, et jooksulindil töötav suurem lihasmass kutsub esile ulatuslikuma kattehoolumiinide vabastamise, mis omakorda viib rasvhapete mobilisatsiooni ja nende oksüdeerimise suurenemisele. Enamgi veel on spekulieritud, et võrreldes samal suhtelisel intensiivsusel rattasõiduga võib jooksmisel toimuv ekstsentriline lihastöö aeglustada perifeerset väsimust ning vähendada II tüüpi lihaskiudude mootorsete ühikute kaasamist. Seoses sellega esineb veloergomeetril harjutamisel kõrgem vere laktaadi tase ning arteriaalne pH ja vesinikkarbonaadi kontsentratsioon. Vesinikioonide kogunemine sarkoplasmasse võib aga inhibeerida CPT-I aktiivsust, mille tulemuseks on madalam rasvade oksüdatsioon (Zakrzewski & Tolfrey 2012).

### **1.3.7 Fat<sub>max</sub> ja sugu**

Uuringud on näidanud, et võrreldes rasvade oksüdatsiooni erinevate sugupoolte vahel, on see enne puberteeti sarnane ning erinevused ilmnevad just täiskasvanu ikka jõudmisel ja on

tõenäoliselt seotud suguhormoonidega (Zakrzewski & Tolfrey, 2011). Erinevatel testimistel on ilmnenud, et naised kasutavad treeningu ajal rasvu energiaallikana enam kui mehed (Devries jt, 2007; Tarnopolsky jt, 2007), kuid on ka töid, mis pole erinevust täheldanud (Mittendorfer jt, 2002). Suurenenud östrogeeni kontsentratsioon suurendab meestel rasvade oksüdatsiooni taset ning vähendab süsivesikute lõhustamist (Hamadeh jt, 2005), kuigi poiste rasvade oksüdatsiooni tase, mis on väljendatud protsendina kogu energiakulust korreleerub pöördvõrdeliselt testosterooniga (Timmons jt, 2007). Lisaks sellele kutsuvad naistel östrogeeni ja progesterooni kontsentratsioonide muutused esile menstruaaltsükli ajal muutusi substraadi oksüdatsioonis. See viitab sellele, et hormonaalsed muutused puberteedieas võivad tuua esile muutusi rasvade oksüdatsiooni regulatsioonis ning see omakorda on põhjustab rasva ainevahetuse erinevusi sugude vahel (Zakrzewski & Tolfrey, 2011).

Venables jt (2005) viisid läbi ristlabilõikeuuringu, milles osales kokku 300 meest ja naist. Ka selles töös kasutati  $Fat_{max}$  väärtuse leidmiseks 3 minutiliste astmetega kasvava koormusega testi ning kaudset kalorimeetriat. Selgus, et meeste rasvade oksüdatsiooni tase ning  $Fat_{max}$  olid võrreldes naistega madalamad. Lisaks sellele hakkasid mehed intensiivsuse kasvamisel energia saamiseks varem kasutama süsivesikuid. Märkimisväärne oli ka see, et vaatamata naiste madalamale maksimaalse hapniku tarbimise võimele, olid nende rasva ainevahetuse näitajad kõrgemad kui meestel. Vastupidiseid tulemusi on aga leitud Ameerikas ülekaaluliste täiskasvanute uurimisel (Bogdanis jt, 2008). Sealne uuring näitas, et maksimaalne rasvade oksüdatsiooni tase oli kõrgem meestel.  $Fat_{max}$  väärtuses aga olulisi erinevusi ei täheldatud.

Valdav osa allikaid, mis hindavad  $Fat_{max}$ 'i noorte seas, on vaatlusalusteks valinud ainult poisid (Brandou jt, 2005; Riddell jt, 2008; Stephens jt, 2006). Lazzer jt (2007) võrdlesid aga puberteedi- ja puberteedijärgses eas olevate poiste ja tüdrukute rasva ainevahetust ja  $Fat_{max}$ 'i. Testimisel osales 30 ülekaalulist ja 30 normaalkaalus noort.  $Fat_{max}$  oli sarnane ülekaaluliste poiste ja tüdrukute seas (vastavalt 40% ja 38%  $VO_{2peak}$ ) ning normaalkaalus poiste ja tüdrukute puhul (45% ja 42%  $VO_{2max}$ ). Rasvade oksüdatsiooni tase oli erinevatel intensiivsustel märkimisväärselt suurem poistel, kuid seda võis mõjutada poiste kõrgem maksimaalse hapniku tarbimise tase (Zakrzewski & Tolfrey, 2011).

## 1.4 $Fat_{max}$ 'i määramise meetodika

$Fat_{max}$ i arvutamiseks kasutatakse tavaliselt mitteinvasiivset kaudset kalorimeetriat. Kaudne kalorimeetria tugineb eeldusel, et hapniku tarbimine ja süsihappegaasi produktsioon peegeldavad gaasivahetust kudede tasandil ning et on saavutatud füsioloogiline püsikontsentratsioon (Frayn, 1983).  $Fat_{max}$ 'i arvutamiseks kasutavad erinevad allikad järgmist valemit:

$$\text{Rasvade oksüdatsioon} = 1.67 \text{ VO}_2 - 1.67 \text{ VCO}_2,$$

kus  $\text{VO}_2$  ja  $\text{VCO}_2$  on väljendatud l/min ja rasvade oksüdatsioon g/min. (Lima-Silva jt, 2010; Zakrzewski & Tolfrey, 2012)

Kõrge intensiivsusega treeningul tõuseb  $\text{VCO}_2$  aga  $\text{H}^+$  ionide puhverdamise tagajärjel, millega kaasneb mitteoksüdatiivse  $\text{VCO}_2$  produktsioon (Wasserman, 1984) ning gaasivahetuse suhe (RER) võib seetõttu peegeldada hüper-ja hüpoventilisatsioonil toimuvat hingamise seisundit, mitte gaasivahetust. Kaudne kalorimeetria eeldab muuhulgas, et teised ainevahetuslikud protsessid (glükoneogenees, lipogenees, ketogenees), mis on seotud hapniku tarbimise ja süsinikdioksiidi produktsiooniga, on antud kontekstis väheolulised (Frayn, 1983).

Vaatamata nendele probleemidele sobib see meetod kontrollitud püsikonditsioonil hästi iseloomustamiseks gaasivahetust koe tasemel (Jansson & Kaijser, 1987) ning on sobilik substraadi oksüdatsiooni määramiseks. Erinevad uuringud on leidnud, et kaudset kalorimeetriat võib pidada valiidses intensiivsustel kuni 80-85% (Romijn jt, 1992) või 75% (Rowlands & Jeukendrup, 2004) maksimaalsest hapniku tarbimisest.  $Fat_{max}$  väärtus esineb tavaliselt aga madalal või keskmisel intensiivsusel ning on vähetõenäoline, et see võiks olla kõrgem kui 75%, seega võib kaudset kalorimeetriat pidada sobivaks  $Fat_{max}$  hindamise meetodiks (Zakrzewski & Tolfrey 2011).

Alates 2002 aastast on välja pakutud erinevaid meetodeid  $Fat_{max}$ i leidmiseks. Enamus sellekohaseid uuringuid on kasutanud kasvava koormusega teste jooksulindil (Venables jt, 2005) või veloergomeetril (Achten & Jeukendrup, 2003), et saadud tulemuste järgi vastavalt iga vaatlusaluse  $Fat_{max}$  väärtus arvutada. Tabelis 2 on kirjeldatud erinevaid teste  $Fat_{max}$  väärtuse leidmiseks erinevates populatsioonides. Vastavad koormusastmete pikkused jäävad tavaliselt 3-6 minuti piiresse (Riddell jt, 2008; Lazzer jt, 2007; Brandou jt, 2006) - lühemate tasemete kasutamine on jõukohasem ja suurendab vaatlusaluste arvu, kes testis kaugemale jõuavad või lõpetada suudavad, mis omakorda suurendab  $Fat_{max}$  väärtuse määramise täpsust (Zakrzewski & Tolfrey, 2011). Siiski arvatakse, et ajaliselt pikemad testimisastmed

suurendavad tõenäosust, et vaatlusalune jõuab füsioloogilisse püsikonsentratsiooni, mis on eelduseks kaudse kalorimeetria kasutamisele (Frayn, 1983). Hapniku tarbimist uurinud tööd on näidanud, et lapsed saavutavad selle staadiumi varem kui täiskasvanud (Fawkner jt, 2002) ning sellest võib järeldada, et kaudne kalorimeetria on laste puhul täpsem harjutuse varasemas staadiumis ning seetõttu on mõistlikum kasutada lühemaid testimisastmeid (Zakrzewski & Tolfrey., 2011). Kasvava koormusega testide probleemiks võib olla aga see, et hilisemad astmed võivad olla mõjutatud varasematest (Brooks & Mercier., 1994).

Tabel 2. Testid, mida on kasutatud noorte Fatmax'i hindamiseks (Zakrzewski & Tolfrey, 2011 järgi)

<b>Autor</b>	<b>Harjutuse tüüp</b>	<b>Kasvava koormusega või isoleeritud harjutusega test</b>	<b>Astme kestvus (min)</b>	<b>Intensiivsuste arv</b>
Ben Ounis jt, 2008	Veloergomeeter	Kasvav	6	5
Ben Ounis jt, 2009	Veloergomeeter	Kasvav	6	5
Brandou jt, 2003	Veloergomeeter	Kasvav	6	5
Brandou jt, 2005	Veloergomeeter	Kasvav	6	5
Maeffis jt, 2005	Jooksulint	Isoleeritud	8-10	3
Brandou jt, 2006	Veloergomeeter	Kasvav	6	5
Stephens jt, 2006	Veloergomeeter	Isoleeritud	5-6	5
Lazzer jt, 2007	Veloergomeeter	Kasvav	5	4
Aucouturier jt, 2009	Veloergomeeter	Kasvav	4	5
Lazzer jt, 2008	Veloergomeeter	Kasvav	4	-
Riddell jt, 2008	Veloergomeeter	Kasvav	3	-
Zunquin jt, 2009a	Veloergomeeter	Kasvav	3.5	-
Zunquin jt, 2009b	Veloergomeeter	Kasvav	3.5	-
Lazzer jt, 2010	Jooksulint	Kasvav	4	-

Achten jt (2002) testisid erinevatel päevadel täiskasvanud mehi ning kasutasid 3 minutiliste astmetega kasvava koormusega testi, leides, et varasemad astmed ei mõjuta hilisemaid. Vastupidiselt sellele, on leitud, et võrreldes ühe pikaajalise astmega, kasvavate koormustega testis võivad eelnevad astmed tõsta hilisemates astmetes rasvade oksüdatsiooni (Goto jt, 2007) ja lipolüüsi rasvkoes (Stich jt, 2000). Samuti võivad järgnevate astmete ainevahetust

mõjutada soojendus, mille tagajärjel kiireneb verevool ja hapniku transport töötavatesse lihastesse (Robergs jt, 1991). Lisaks sellele ka lihase temperatuur (Starkie jt, 1999) ning aktiivsest soojendusest põhjustatud madalam vere ja laktaadi kogunemine harjutuse ajal (Gray jt, 2002). Eelnev keskmise või kõrge intensiivsusega töö ei mõjuta täiskasvanute seas hapniku tarbimist hilisemates staadiumites keskmise intensiivsusega harjutamisel (Burnley jt, 2000) ning eelnev kõrge intensiivsusega töö võib isegi kiirendada hapniku tarbimist, kui selle järgneb kõrge intensiivsusega treening (Gerbino jt, 1996). See viitab sellele, et varasemad astmed ei mõjuta aega, mis kulub füsioloogilise püsikonsentratsiooni jõudmisele järgnevatel astmetes.

Achteni jt (2002) uuringus ei leitud küll ülekandefekti, mille kohaselt eelnevad treeningastmed võiksid mõjutada järgnevatel astmetel stabiilsesse seisundisse jõudmiseks kuluvat aega, kuid kuna tegemist oli treenitud täiskasvanud meessoost ratturitega, ei pruugi sarnane uurimismeetod olla sobilik noortele või füüsiliselt mitte nii võimekatele.

On kasutatud ka traditsioonilisemaid lähenemisi, kus astmed on 6 (Stephens jt, 2006) või 8-10 minuti (Maffeis jt, 2005) pikkused ja omavahel isoleeritud puhkeperioodidega, et hinnata rasvade oksüdatsiooni erinevatel intensiivsustel nooremate seas. Ajaliselt pikemad harjutusastmed kindlustavad selle, et igal astmel jõutakse eelnevalt mainitud püsiseisundisse ning lisaks võib selline lähenemine vähendada mõjutusi eelnevatelt astmetelt. Sellise lähenemise miinuseks peetakse aga seda, et see võimaldab hinnata tulemusi rasvade oksüdatsiooni kohta vaid vähestel intensiivsustel, mis omakorda ei pruugi olla piisav, et arvutada täpset  $Fat_{max}$  väärtust (Zakrzewski & Tolfrey, 2011).

Täiskasvanute ja laste rasvade oksüdatsiooni hindamiseks treeningu ajal on tavaliselt kasutatud üksikute astmetega pikemaajalist testi, et kindlustada valiidsed tulemused kaudset kalorimeetriat kasutades (Friedlander jt, 1998; Romijn jt, 1993; Rowland & Rimany, 1995). Seda meetodit kasutades on laste puhul leitud, et  $Fat_{max}$ i võivad mõjutada vanus (Martinez & Haymes, 1992), harjutuse tüüp (Rowland & Rimany, 1995) ja treenituse tase (Duncan & Howley, 1998). Väike intensiivsuste arv rasva ainevahetuse hindamisel ei võimalda aga täpselt mõõta  $Fat_{max}$  väärtust.

Teadaolevalt esimestena uurisid Achten jt (2002) rasvade oksüdatsiooni paljudel erinevatel intensiivsustel, et leida võimalikult täpne  $Fat_{max}$  väärtus. Nad testisid treenitud mehi ning kasutasid 3-minutlist kasvava koormusega testi, mis kestis väsimuse tekkeni. Test algas koormusega 95 W ning tõusis 35 W võrra iga 3 minuti tagant. Rasvade oksüdatsioon määrati

keskmiste  $VO_2$  ja  $VCO_2$  väärtuste järgi viimase iga astme viimase 2 minuti sees. Testi usaldusväärsuse mõõtmiseks läbisid vaatlusalused ka pikema kestusega testid 4-6 intensiivsusel, mille korral  $RER < 1$ , kusjuures peale igat intensiivsust oli vähemalt 2 päevane paus. Leiti, et 3 minutiline kasvava koormusega test sobib treenitud meeste  $Fat_{max}$  väärtuse leidmiseks, kuid tuleks ka arvestada, et kõik vaatlusalused ei pruukinud igal astmel jõuda püsikonditsiooni, kuna täiskasvanud jõuavad sinna tavaliselt 2-3 minutiga (Gaesser & Poole, 1996) ning lisaks sellele võrreldi rasvade oksüdatsiooni määra kahe erineva protokolliga vahel grupi tasandil, mis võis omakorda tulemusi mõjutada (Ludbrook, 1997).

Kasvava koormusega 3-minutiliste astmetega test on praktiline ja võimaldab rasvade oksüdatsiooni mõõta paljudel erinevatel intensiivsustel võrreldes pikaajaliste isoleeritud testiga. Seetõttu on sarnast protokolliga kasutatud ka teistes töödes täiskasvanutega (Venables jt, 2005) ning proovitud ka laste testimisel (Riddell jt, 2008). Achten jt (2002) välja pakutud kasvava koormusega test ei pruugi aga sobida noorema populatsiooni  $Fat_{max}$  hindamiseks (Zakrzewski & Tolfrey) ning on leitud, et võib jääda liiga lühikeseks ka kehaliselt mitte aktiivsete täiskasvanute maksimaalse rasva ainevahetuse mõõtmiseks (Bordenave jt, 2007).

Alternatiividena on noorte rasva ainevahetuse hindamiseks proovitud kasutada ka traditsioonilisemaid lähenemisi, kus on tegemist isoleeritud astmetega ning mille pikkusteks on näiteks 6 minutit (Stephens jt, 2006) või 8-10 minutit (Maffeis jt, 2005). Pikema kestusega astmed tagavad suurema tõenäosusega püsikonditsiooni jõudmise ning võivad vähendada potentsiaalset rasva ainevahetuslikku ülekandefekti eelmistelt astmetelt. Sellised meetodid on aga võimaldanud rasvade oksüdatsiooni mõõta ainult 3 (Maffeis jt, 2005) ja 5 (Stephens jt, 2006) harjutuse intensiivsusel ning seetõttu võib  $Fat_{max}$ i määramine olla ebatäpne.

## 2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Töö eesmärgiks oli hinnata, kas TÜ Treeninguteaduste laboris kasutatavat koormustesti protokollile oleks võimalik kasutada kehaliselt aktiivsete meeste rasva ainevahetuse määramiseks. Selleks püstitasime järgmised konkreetset ülesanded:

1. Määrata meessoost harrastussportlase rasva ainevahetuse väärtused kasutades kahte erinevat astmeliselt tõusvate koormustega testi
2. Võrrelda kahe erineva astmeliselt tõusvate koormustega testi saadud  $Fat_{max}$  väärtusi omavahel
3. Määrata harrastussportlase keha koostise näitajad ja võrrelda tulemusi töövõime ja rasva ainevahetuse väärtustega
4. Võrrelda saadud tulemusi teistes rahvusvahelises ajakirjades saadud tulemustega

## **3. TÖÖ METOODIKA**

### **3.1 Vaatlusalused**

Käesolevas uuringus osales kokku 13 meessoost vaatlusalust, vanuses 18-30 eluaastat. Valimi moodustasid terved noored mehed, kes osalevad regulaarselt (3 korral nädalas) jalgpallitreeningul ning mängivad Eesti Meistrivõistlustel madalamates liigades, suuremalt jaolt jalgpalliklubi FC Otepää ridades. Uuritavad värvati vabatahtlikuse alusel Otepää ja Tartu piirkonnast.

Vaatlusalustele selgitati uuringu korraldust enne testide sooritamist nii kirjalikult kui suuliselt. Vaatlusalusel oli õigus loobuda mistahes hetkel uuringus osalemisest. Enne uuringut täitsid ja allkirjastasid vaatlusalused nõusolekulehe. Uuringule on heakskiidu andnud Tartu Ülikooli Inimuuringute eetika komitee.

### **3.2 Meetodid**

Uuring viidi läbi Tartus Tartu Ülikooli treeninguteaduste laboris. Uuring viidi läbi kahel testimise päeval, kus esimesel testimisel mõõdeti uuritavate keha koostis kasutades DEXA meetodit ja koormustest astmeliselt tõusvate koormustega suutlikuseni veloergomeetril. Teisel testimisel sooritasid uuritavad koormustesti astmeliselt tõusvate koormusteni kuni RER ületas 1.0 väärtuse. Kahe testimise vahe oli minimaalselt 7 päeva.

### **3.3 Keha koostise määramine**

Uuritavatel määrati lihasmass, luumass ja keha rasva mass, kasutades kaheageduslikku X-ray luudensitomeetrit (DEXA) (Hologic, Discovery, USA).

### **3.4 I test veloergomeetril**

Esimesel testimisel sooritasid mehed koormustesti veloergomeetril astmeliselt tõusvate koormustega. Enne testimist said vaatlusalused proovida sõiduinvertari (veloergomeeter, Lode, Holland) ning kohandada see enda kasvule sobivaks. Sellele järgnes 5 minutline soojendus. Sportlased sooritasid astmeliselt tõusvate koormustega testi, kus esimene koormus

oli 60W ja iga minuti järel tõusis koormus 20W võrra. Vändapöörete arvu pidi uuritav hoidma terve testi vältel üle 60 rpm/min. Test kestis vaatlusaluse väsimuse tekkeni või hetkeni, mil ta ei suutnud enam hoida ettenähtud kiirust. Testi käigus määrati sportlase väljahingatavast õhust  $VO_{2max}$ ,  $VO_{2max/kg}$ , VE, SLS, FAT, CHO, kasutades aparati Cortex Metamax 3B (Saksamaa).

### **3.5 II test veloergomeetril**

Teisel uuringul sooritati sarnaselt esimesele testile astmeliselt tõusvate koormustega test. Enne testimist said vaatlusalused proovida sõiduinvertari (veloergomeeter, Lode, Holland) ning kohandada see enda kasvule sobivaks. Sellele järgnes 5 minutline soojendus. Sportlased sooritasid astmeliselt tõusvate koormustega testi, kus esimene koormus oli 95W ja iga 3 minuti järel tõusis koormus 20W võrra. Test kestis, kuni  $RER > 1.0$ . Testi käigus määrati sportlase väljahingatavast õhust  $VO_{2max}$ ,  $VO_{2max/kg}$ , VE, SLS, FAT, CHO, kasutades aparati Cortex Metamax 3B (Saksamaa).

### **3.6 Andmete statistiline töötlus**

Uuringu tulemusel saadud andmete analüüsimisel kasutati andmetöötlusprogrammi SPSS 14.0 (IBM) tarkvara. Tunnuste normaaljaotuse kontrollimiseks kasutati *Kolmagorov-Smirnov* testi. Kõigi tunnuste osas määrati aritmeetiline keskmine ( $X$ ) ja standardviga ( $\pm SD$ ). Erinevate testide vahelise muutuse olulisuse hindamisel kasutati *Paired Sample T-testi*, võttes väiksemaks olulisuse nivooks  $p < 0.05$ . Uuritud tunnuste vahelise seose selgitamiseks kasutati Pearsoni korrelatsioonanalüüsi.

## 4. TÖÖ TULEMUSED

Tabelis 3 on välja toodud uuritavate antropomeetrilised ja funktsionaalsed näitajad. Vaatlusaluste vanus jäi vahemikku 21-30 aastat ning rasvaprotsent jäi vahemikku 14-24 % . maksimaalne hapniku tarbimine ( $VO_{2max}$ ) jäi uuritavatel vahemikku 34.0 kuni 58.0 ml/min/kg.

**Tabel 3.** Uuritavate antropomeetrilised ja funktsionaalsed näitajad

N=13	$\bar{X} \pm SD$
Vanus	23.77 $\pm$ 2.74
Pikkus (cm)	184.54 $\pm$ 7.20
Kehakaal (kg)	85.82 $\pm$ 12.05
AeL (l/min)	139.92 $\pm$ 6.85
AeL (w)	186.72 $\pm$ 21.75
AnL (l/min)	170.62 $\pm$ 6.95
AnL (w)	275.96 $\pm$ 27.65
$VO_{max/kg}$ (ml/min/kg)	48.85 $\pm$ 7.58
$VO_{max}$ (l/min)	4.13 $\pm$ 0.49
$VO_{max}$ (w)	338.90 $\pm$ 33.99
$VE_{max}$ (L/min)	149.19 $\pm$ 26.27
$WR_{max}$ (w)	351.62 $\pm$ 26.73
$WR_{max}$ (w/kg)	4.17 $\pm$ 0.66
$SLS_{max}$ (l/min)	190.85 $\pm$ 7.15
Rasvamass (kg)	15.88 $\pm$ 3.97
Lihasmass (kg)	68.17 $\pm$ 8.76
Rasva % (%)	18.73 $\pm$ 2.72

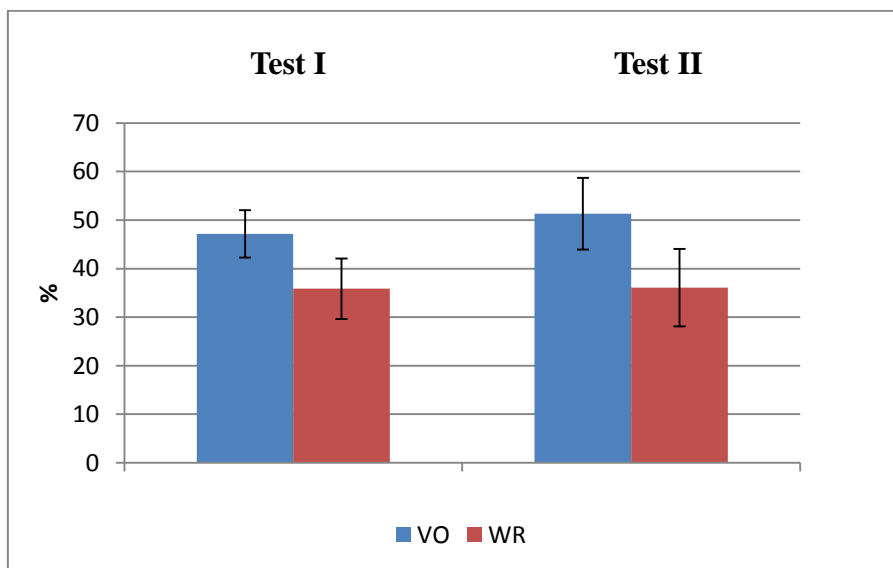
Tabelis 4 on iseloomustatud kahe testi rasva ainevahetusega seotud näitajaid. Esimeses testis saadud  $Fat_{max}$  väärtused ning rasva ainevahetuse ulatus olid matuken madalamad kui teises testis, samas aga testide vahel statistiliselt olulist erinevust ei esinenud ( $p < 0.05$ ). Samuti polnud võimalik tuvasta statistilist olulist erinevust südamelöögisagedusel (SLS) maksimaalsel rasva ainevahetuse ( $Fat_{max}$ ) hetkel ( $p > 0.05$ ) kahel erineval testimisel.

**Tabel 4.** Kahe erineva meetodikaga sooritatud rasva ainevahetuse näitajad kehaliselt aktiivsetel meestel.

N=13	Test I	Test II
Fat <sub>max</sub> (g/h)	31.78 ± 10.46	37.15 ± 7.16
CHO <sub>fatmax</sub> (g/h)	69.89 ± 24.17	68.64 ± 32.90
VO <sub>fatmax</sub> (L/min)	1.95 ± 0.29	2.11 ± 0.37
VCO <sub>fatmax</sub> (L/min)	1.63 ± 0.24	1.74 ± 0.37
RER <sub>fatmax</sub>	0.84 ± 0.05	0.82 ± 0.04
WR <sub>fatmax</sub> (W)	121.54 ± 25.12	121.92 ± 29.12
SLS <sub>fatmax</sub> (l/min)	122.00 ± 14.54	118.77 ± 14.21

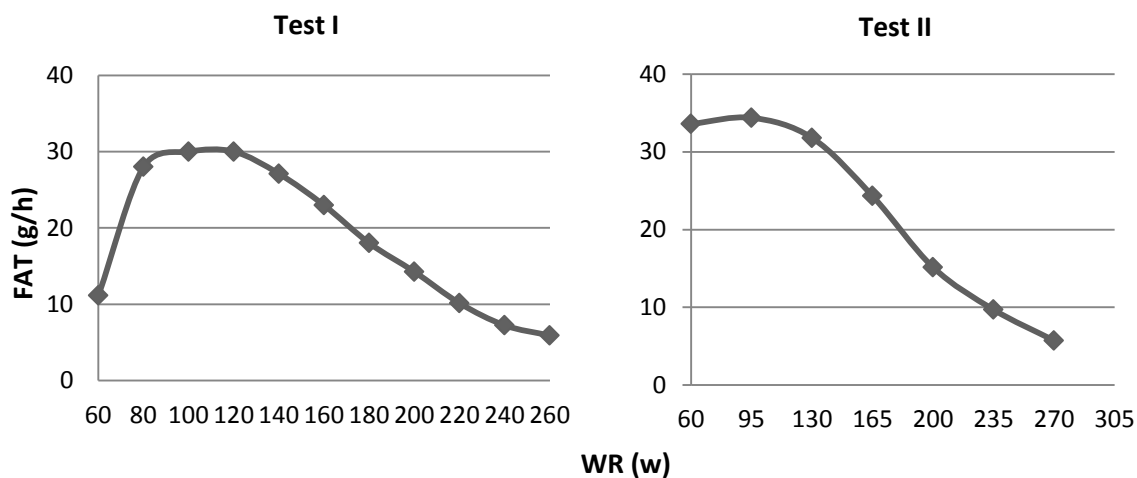
\*Statistiliselt oluliselt erinev Test I (p<0.05)

Joonisel 2 on välja toodud intensiivsus protsendina maksimaalsest hapnikutarbimisest (VO<sub>max</sub>) ja saavutatud koormusest (WR<sub>max</sub>) koormustestil, mis kutsus esile maksimaalse rasvade oksüdatsiooni (Fat<sub>max</sub>) nii esimesel (Test I) kui ka teisel (Test II) testimisel. Fatmax saavuti Test I puhul 47.16 ± 4.88 % juures VO<sub>max</sub> väärtustest ja 35.85 ± 6.26 % juures WR<sub>max</sub> väärtustest. Test II puhul saavutati Fat<sub>max</sub> 51.31 ± 7.37 % juures VO<sub>max</sub>-st ja 36.10 ± 7.99 % juures WR<sub>max</sub>-st. Antud tulemustes ei täheldatud statistiliselt olulist erinevust (p>0.05) mõlemal testimisel saadud tulemustes (Joonis 2).



**Joonis 2.** Intensiivsus protsendina maksimaalsest hapnikutarbimisest (VO<sub>max</sub>) ja maksimaalsest töövõimest (WR<sub>max</sub>) koormustestil kehaliselt aktiivsetel meestel.

Joonisel 3. On välja toodud rasva ainevahetuse väärtused mõõdetuna kahel erineval testimisel igal koormusel. Esimesel testil saavutati  $Fat_{max}$  32 g/h ja teisel testimisel 37 g/h, siis mõlemal testimisel saavutati  $Fat_{max}$  väärtused 120 W koormuse juures.



**Joonis 3.** Rasva ainevahetuse väärtused kahel erineval testimisel

Kasutades tulemuste analüüsil *Spearman* korrelatsioonanalüüsi, tuli välja, et  $Fat_{max}$  väärtused korreleerusid statistiliselt usutavalt ( $p < 0.05$ ) uuritavate vanusega ( $r = -0.60$ ) ja pikkusega ( $r = 0.65$ ). Nii keha rasva%, lihasmassi kui ka rasvamassi vahel ei esinenud statistiliselt usutavat seost  $Fat_{max}$  väärtustega ( $p > 0.05$ ).

## 5. TULEMUSTE ARUTELU

Erinevad allikad on mõõtnud rasva ainevahetust erinevates populatsioonides ning kasutanud valdavalt 3-6 minutiliste astmetega kasvava koormusega testiprotokolle (Zakrzewski & Tolfrey, 2011). Varasemalt on leitud, et täiskasvanud inimene jõuab rasva ainevahetus harjutuse koormuse tõstmisel püsiseisundisse 2-3 minutiga (Gaesser & Poole, 1996). Seega on arvatud, et  $Fat_{max}$  määramisel astmeliselt tõusvate koormustega võiks sobida 3 minutiliste astmetega test, mis võimaldab rasva ainevahetust ja  $Fat_{max}$ 'i hinnata erinevatel harjutuse intensiivsustel (Achten jt, 2002). Pikemad astmed suurendavad tõenäosust jõudmaks füsioloogilisse püsiseisundisse (Fraysn, 1983). Fawcner jt (2002) on leidnud, et lapsed jõuavad püsiseisundisse kiiremini kui täiskasvanud, millest võib järeldada, et laste puhul oleks mõistlik kasutada lühemaid astmeid. Lisaks sellele on kasvava koormusega testide puhul spekuleeritud selle üle, kas nendes võib esineda ülekande-effekti, mis tähendab seda, et koormusastmeid võivad mõjutada neile eelnenud astmed (Brooks & Mercier, 1994). Samas on tehtud ka uuringuid, mis väidavad vastupidist (Achten jt, 2002).

$Fat_{max}$  intensiivsus jääb paljude allikate järgi vahemikku 30-60% maksimaalsest hapniku tarbimisest (Zakrzewski & Tolfrey, 2011). Uuringutes, kus on uuritud rasva ainevahetust kehaliselt aktiivsetel meestel on leitud, et  $Fat_{max}$  ilmneb intensiivsusel 64% (Achten & Jeukendrup, 2002) ja 61-64%  $VO_{2max}$  (Lima-Silva jt, 2010). Meie poolt läbi viidud töös ilmnis  $Fat_{max}$  vastavalt esimeses testis  $47.16 \pm 4.88$  ja teises  $51.31 \pm 7.37\%$   $VO_{2max}$ . Teises testis kasutatud 35 W suurust koormuse kasvu on arvatud olevat liiga suureks, et määrata täpselt  $Fat_{max}$ 'i (Achten jt, 2002) siit tulenevalt võiks arvata, et 20 W suurune koormuse kasv võimaldab rasva ainevahetuse tulemusi täpsemalt mõõta. Achten jt (2002) leidsid, et madalam koormuse kasv pikendab aga soorituse aega, mis kulub testi läbimiseks. Kuna nad ei leidnud olulisi erinevusi kahe erineva koormusekasvu vahel, leidsid nad, et praktilisem on kasutada 35 W suurust harjutuse koormuse tõusu (Achten jt, 2002). Samas meie esimeses testis oli astme pikkuseks vaid üks minut, siis ei pikendanud 20 W koormuse valik testimisele kuluvat aega. Ühe-minutilise astmega koormustestil ei jõua aga vaatlusalused püsiseisundisse (Gaesser & Poole, 1996), mis võib tulemusi mõjutada. Kuna meie tulemused  $Fat_{max}$  väärtustes kahe testi vahel oluliselt ei erinenud, siis on võimalik, et vaatamata sellele on meie poolt välja pakutud protokoll järgi oleks võimalik adekvaatselt määrata nii maksimaalset rasvade oksüdatsiooni taset kui ka  $Fat_{max}$ 'i. On tõenäoline, et selle tegi võimalikuks vaatlusaluste kehaliselt aktiivne taust ning sarnane test ei pruugi olla sobilik näiteks ülekaaluliste või kehaliselt mitteaktiivsete vaatlusaluste rasva ainevahetuse hindamiseks.

Suurearvulise valimiga uuringus (Venables jt, 2005), milles osales 300 tervet meest ja naist, leiti  $Fat_{max}$  esinevat vastavalt intensiivsusel  $45 \pm 1\%$  ja  $52 \pm 1\%$   $VO_{2max}$ , mis sarnanevad märgatavalt rohkem meie uuringus leitud tulemustega. Siinkohal toetab meie uuring ka seda, et naiste  $Fat_{max}$  on kõrgem kui meeste oma, sest Venables'i ja teiste uuringus oli tegemist tavaliste, hea tervise juures olevate naistega – meie uuringus aga kehaliselt aktiivsete meestega. Peamist põhjust, miks naiste rasvade oksüdatsiooni näitajad on kõrgemad kui meestel, seostatakse suguhormoonidega – täpsemalt östrogeenide kontsentratsiooniga.

Võrreldes meie uuringus leitud  $Fat_{max}$ 'i väärtustega (Riddell jt, 2008), mis on uurinud puberteediealiste ja meeste erinevusi antud näitajas, võib järeldada, et vanuse kasvades  $Fat_{max}$  tase langeb. Riddell jt. (2008) leidsid, et poistel vanuses 11-12 aastat oli võrreldes vanemate poistega kõrgeim  $Fat_{max}$  (ligikaudu  $56\%$   $VO_{2max}$ ). Uuringus leiti, et kõige suurem erinevus  $Fat_{max}$  väärtuses esines eelnevalt mainitud noorte ja 22-26 aastaste meeste vahel, kelle  $Fat_{max}$  oli  $31\%$   $VO_{2max}$ . Kuna ka meie uuringus leitud  $Fat_{max}$  jääb alla Riddelli ja teiste (2008) poolt välja pakutud noorte poiste näitajatele, on tõenäoline, et vanus mõjutab oluliselt intensiivsust, mis kutsub esile maksimaalse rasvade oksüdatsiooni.  $Fat_{max}$ 'i erinevust (31% vs 47 või 51%) meeste vahel võib taaskord seletada treenitusega, kuna teiste uuringus osalenud mehed ei tegelenud treeninguga.

Mitmed allikad on leidnud, et rasvade ainevahetust ja  $Fat_{max}$ 'i võib mõjutada ka harjutuse tüüp ehk see, kas testi viiakse läbi veloergomeetril või jooksulindil (Capostagno & Bosch 2010; Zakrzewski & Tolfrey 2012; Achten jt., 2003). Achten jt. (2003) leidsid, et jooksulindil on kõrgemad rasvade oksüdatsiooni näitajad, kuid ei täheldatud olulisi erinevusi  $Fat_{max}$  väärtustel. Zakrzewski & Tolfrey (2012) uurisid esmakordselt seda seost normaalkaalus lastel ning leidsid, et maksimaalne rasvade oksüdatsioon kui ka  $Fat_{max}$  on võrreldes veloergomeetriga kõrgemad jooksulindil. Samas on olemas ka töid, mis ei leidnud olulisi erinevusi kahe harjutustüübi vahel (Mendelson jt., 2012). Madalamaid rasva ainevahetuse näitajaid veloergomeetril seostatakse väiksema lihasmassi tööle rakendumisega ning kuna korraldasime oma testi veloergomeetril, võiks tulevikus meie poolt välja pakutud meetodika alusel hinnata uuritavate töövõimet ja rasvade ainevahetust ka jooksulindil.

Käesolevas uurimistöös püstitasime eesmärgiks hinnata, kas kehaliselt aktiivsete noorte meeste rasva ainevahetust oleks võimalik mõõta vaid 1-minutiliste astmetega kasvava koormusega testiga ning võrdlesime saadud tulemusi Achten'i jt (2002) poolt välja pakutud 3 minutiliste astmeliselt tõusvate koormusetega testiga. Esimesena nimetatud test võimaldaks lisaks kehalisele töövõimele määrata üheaegselt ka rasva ainevahetuse näitajad. Uuringu

tulemustest tuli välja, et kahe testi tulemused omavahel statistiliselt oluliselt ei erinenud ( $p > 0.05$ ) ning on tõenäoline, et sellises vanuses kehaliselt aktiivsete meeste rasva ainevahetuse mõõtmiseks võib olla sobilik ka meie poolt välja pakutud töövõime testi protokoll.

Põhjust, miks Achten jt (2002; 2003) töödes saavutati oluliselt kõrgemad  $Fat_{max}$  väärtused kui meie uuringus, võib seostada treenitusega, kuna nendes allikates olid vaatlusalusteks vastupidavustreeninguga tegelenud (ratturid ja pikamaajooksjad) sportlased, kelle  $VO_{2max}$  oli võrreldes meie vaatlusalustega tunduvalt kõrgem. Olgugi, et võrreldes Achten & Jeukendrup, (2002); Lima-Silva jt, (2010) uuringutega olid nendes töödes oluliselt kõrgemad  $Fat_{max}$  väärtused, leidsime maksimaalse rasvade oksüdatsiooni hindamisel ka teistsuguseid tulemusi. Meie uuringus oli keskmine maksimaalne rasva ainevahetus esimeses testis  $0.53 \pm 0.17$  g/min ning teises  $0.62 \pm 0.12$  g/min. Achten ja teiste (2002) töös oli sama väärtus  $0.60 \pm 0.07$  g/min, mis on suhteliselt sarnane meie teise testi tulemustega. Achten jt (2002) uurisid vastupidavustreeningu taustaga mehi ka aasta hiljem (Achten jt, 2003) ning leiti, et maksimaalne rasvade oksüdatsioon oli  $0.52 \pm 0.15$  g/min, mis sarnaneb tulemusega, mille leidsime oma uuringu esimeses testis. Mitmete allikate põhjal (Lima-Silva jt, 2010; Nordby jt, 2006) on järeldatud, et maksimaalne rasvade oksüdatsioon on kõrgem vastupidavustreeninguga tegelevatel uuritavatel, kuid võrreldes neid meie vaatlusalustega, on need sarnased (Achten jt, 2002;2003) või isegi madalamad (Lima-Silva jt, 2010).

Kokkuvõtteks saab öelda, et meie poolt väljapakutud ühe minutilise koormusastmega testi võib kasutada  $Fat_{max}$  määramiseks kehaliselt aktiivsetel meestel, sest tulemused ei erinenud oluliselt kirjanduses laialdaselt kasutatud meetodikast. Küll aga erinevad erinevates uuringutes rasva oksüdatsiooni väärtused. See tuleneb suuresti tõsiasiast, nagu ka kirjanduses on viidatud, et rasvade oksüdatsiooni mõjutavad lisaks vastupidavustreeningule ka sugu (Venables jt, 2005), vanus (Riddell jt, 2008), kehakoostis (Zunquin jt, 2009), harjutuse tüüp (Zakrzewski jt, 2012) ja harjutuse kestvus (Chenevière jt, 2009).

## 6. JÄRELDUSED

Töö tulemuste põhjal võib teha järgmised konkreetsed järeldused:

1. Meessoost harrastussportlaste  $Fat_{max}$  määramiseks sobib ühe minutilise astmega ja väikeste 20 W koormuse tõusuga astmeline tõusvate koormustega koormustest.
2. Kahe erineva astmeliselt tõusvate koormustega testi  $Fat_{max}$  tulemused ei erinenud üksteisest oluliselt, mõnevõrra suurem oli rasva ainevahetuse väärtused teisel kolme minutilise koormustega testil.
3. Keha koostise näitajates ei esinenud usutavat seost rasva ainevahetuse väärtustega meessoost harrastussportlaste seas. Statistiliselt olulised seosed esinesid uuritavate rasva ainevahetuse ning vanuse ja keha pikkusega.
4. Antud uuringus osalenud vaatlusaluste  $Fat_{max}$  väärtused olid võrreldavad teistes uuringutes osalenud jooksjate ja jalgratturite tulemustega, samas tulemustes esineb suur variatiivsus.

## 7. KASUTATUD KIRJANDUS

1. Achten J, Jeukendrup AE. Maximal Fat oxidation during exercise in trained men. *International Journal of Sports Medicine* 2003; 24: 603-608.
2. Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that facilitates maximal Fat oxidation. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2002; 34: 92-97.
3. Achten J, Jeukendrup AE. Optimizing fat oxidation through exercise and diet. *Nutrition* 2004; 20: 716-727.
4. Arner P, Kriegholm E, Engfeldt P, Bolinder J. Adrenergic regulation of lipolysis in situ at rest and during exercise. *The Journal of Clinical Investigation* 1990; 85: 893-898.
5. Arnos PM, Sowash J, Andres FF. Fat oxidation at varied work intensities using different exercise modes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1997; 29: 199.
6. Aucouturier J, Rance M, Meyer M, Isacco L, Thivel D, Fellmann N, Duclos M, Duché P. Determination of the maximal Fat oxidation point in obese children and adolescents: validity of methods to assess maximal aerobic power. *European Journal of Applied Physiology* 2009; 105: 325-331.
7. Ben Ounis O, Elloumi M, Amri M, Zbidi A, Tabka Z, Lac G. Impact of diet, exercise and diet combined with exercise programs on plasma lipoprotein and adiponectin levels in obese girls. *Journal of Sports Science and Metabolism* 2008; 7: 437-445.
8. Ben Ounis O, Elloumi M, Amri M, Trabelsi Y, Lac G, Tabka Z. Impact of training and hypocaloric diet on fat oxidation and body composition in obese adolescents. *Science and Sports* 2009; 24: 178-185.
9. Berggren JR, Boyle KE, Chapman WH, Houmard JA. Skeletal muscle lipid oxidation and obesity: Influence of weight loss and exercise. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism* 2008; 29: 726-732.
10. Bogdanis G, Vangelakoudi A, Maridaki M. Peak Fat oxidation rate during walking in sedentary overweight men and women. *Journal of Sports Science and Medicine* 2008; 7: 525-531.
11. Bordenave S, Flavier S, Fédou C, Brun JF, Mercier J. Exercise calorimetry in sedentary patients: procedures based on short 3 min steps underestimate carbohydrate oxidation and overestimate lipid oxidation. *Diabetes & Metabolism* 2007; 33: 379-384.

12. Brandou F, Dumortier M, Garandeu P, Mercier J, Brun JF. Effects of a two-month rehabilitation program on substrate utilization during exercise in obese adolescents. *Diabetes and Metabolism* 2003; 29: 20-27.
13. Brandou F, Savy-Pacaux AM, Marie J, Bauloz M, Maret-Fleuret I, Borrocoso S, Mercier J, Brun JF. Impact of high- and low-intensity targeted exercise training on the type of substrate utilization in obese boys submitted to a hypocaloric diet. *Diabetes & Metabolism* 2005; 31: 327-335.
14. Brandou F, Savy-Pacaux AM, Marie J, Brun JF, Mercier J. Comparison of the type of substrate oxidation during exercise between pre and post pubertal markedly obese boys. *International Journal of Sports Medicine* 2006; 27: 407-414.
15. Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: The „crossover“ concept. *Journal of Applied Physiology* 1994; 76: 2253-2261.
16. Bulow J, Madsen J. Adipose tissue blood flow during prolonged, heavy exercise. *Pflügers Archiv: European Journal of Physiology* 1976; 363: 231-234.
17. Burnley M, Jones AM, Carter H, Doust JH. Effects of prior heavy exercise on phase II oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *Journal of Applied Physiology* 2000; 89: 1387-1396.
18. Capostagno B, Bosch A. Higher Fat oxidation in running than cycling at the same exercise intensities. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2010; 20: 44-55.
19. Chenevière X, Borrani F, Ebenegger V, Gojanovic B, Malatesta D. Effect of a 1-hour single bout of moderate-intensity exercise on Fat oxidation kinetics. *Metabolism Clinical and Experimental* 2009; 58: 1778-1786.
20. Colberg SR, Simoneau JA, Thaete FL, Kelley DE. Skeletal muscle utilization of free Fatty acids in women with visceral obesity. *Journal of Clinical Investigation* 1995; 95: 1846-1853.
21. Crampes F, Riviere D, Beauville M, Marceron M, Garrigues M. Lipolytic response of adipocytes to epinephrine in sedentary and exercise trained subjects: sex-related differences. *European Journal of Applied Physiology* 1989; 59: 249-255.
22. Crisp NA, Guelfi KJ, Licari MK, Braham R, Fournier PA. Does exercise duration affect Fatmax in overweight boys? *European Journal of Applied Physiology* 2012; 112: 2557-2564.
23. Despres JP, Bouchard C, Savard R, Tremblay A, Marcotte M, Theriault G. Level of physical fitness and adipocyte lipolysis in humans. *Journal of Applied Physiology* 1984; 56: 1157-1161.

24. Devries MC, Lowther SA, Glover AW, Hamadeh MJ, Tarnopolsky MA. IMCL area density, but not IMCL utilization, is higher in women during moderate-intensity endurance exercise, compared with men. *American journal of physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 2007; 293: 2336–2342.
25. Duncan GE, Howley ET. Metabolic and perceptual responses to short-term cycle training in children. *Pediatric Exercise Science* 1998; 10: 110-122.
26. Dyck DJ, Bonen A. Muscle contraction increases palmitate esterification and oxidation and triacylglycerol oxidation. *American Journal of Physiology* 1998; 275: 888-896.
27. Ezell DM, Geiselman PJ, Anderson AM, Dowdy ML, Womble LG, Greenway FL, Zachwieja JJ. Substrate oxidation and availability during acute exercise in non-obese, obese, and post-obese sedentary females. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders* 1999; 23: 1047-1056.
28. Fawcner SG, Armstrong N, Potter C, Welsman JR. Oxygen uptake kinetics in children and adults after the onset of moderate-intensity exercise. *Journal of Sports Sciences* 2002; 20: 319-329.
29. Foricher JM, Ville N, Gratas-Delamarche A, Delamarche P. Effects of submaximal intensity cycle ergometry for one hour on substrate utilization in trained prepubertal boys versus trained adults. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2003; 43: 36-43.
30. Frayn KN. Calculation of substrate rates in vivo from gaseous exchange. *Journal of applied physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology* 1983; 55: 628-34.
31. Friedlander AL, Casazza GA, Homing MA, Buddinger TF, Brooks GA. Effects of exercise intensity and training on lipid metabolism in young women. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism* 1998; 276: 853-863.
32. Gaessar GA, Poole DC. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 1996; 24: 35-71.
33. Gerbino A, Ward SA, Whipp BJ. Effects of prior exercise on pulmonary gas-exchange kinetics during high-intensity exercise in humans. *Journal of Applied Physiology* 1996; 80: 99-107.
34. Glass S, Santos V, Armstrong D. The effect of mode of exercise on fat oxidation during exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research* 1999; 13: 29-34.
35. Goto K, Ishii N, Mizuno A, Takamatsu, K. Enhancement of Fat metabolism by repeated bouts of moderate endurance exercise. *Journal of Applied Physiology* 2007; 102: 2158-2164.

36. Gray SC, Devito G, Nimmo MA. Effect of active warm-up on metabolism prior to and during intense dynamic exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2002; 34: 2091-2096.
37. Hamadeh MJ, Devries MC, Tarnopolsky MA. Estrogen supplementation reduces whole body leucine and carbohydrate oxidation and increases lipid oxidation in men during endurance exercise. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 2005; 90: 3592–3599.
38. Hodgetts V, Coppack SW, Frayn KN, Hockaday TDR. Factors controlling Fat mobilization from human subcutaneous adipose tissue during exercise. *Journal of Applied Physiology* 1991; 71: 445-451.
39. Holloszy JO. Effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. *The Journal of Biological Chemistry* 1967; 242: 2278-2282.
40. Horowitz JF, Klein S. Lipid metabolism during endurance exercise. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2000; 72: 558-563.
41. Jalak R, Ööpik V. *Sportlase toitumine*. Tallinn: SpinPress, 2005.
42. Jansson E, Kaijser L. Substrate utilization and enzymes in skeletal muscle of extremely endurance-trained men. *Journal of Applied Physiology* 1987; 62: 999-1005.
43. Jeukendrup AE, Achten J. Fatmax: A new concept to optimize Fat oxidation during exercise? *European Journal of Sport Science* 2001; vol. 1, issue 5.
44. Kelley DE, Goodpaster B, Wing RR, Simoneau JA. Skeletal muscle Fatty acid metabolism in association with insulin resistance, obesity, and weight loss. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism* 1999; 277: 1130-1141.
45. Kingisepp PH. *Inimese füsioloogia*. Tartu: Atlex, 2006.
46. Klein S, Young VR, Blackburn GL, Bistrian BR, Wolfe RR. Palmitate and glycerol kinetics during brief starvation in normal weight young adult and elderly subjects. *The Journal of Clinical Investigation* 1986; 78: 928-933.
47. Klein S, Peters EJ, Holland OB, Wolfe RR. Effect of short-and long-term beta-adrenergic blockade on lipolysis during fasting in humans. *The American Journal of Physiology* 1989; 257: 65-73.
48. Klein S, Coyle EF, Wolfe RR. Fat metabolism during low-intensity exercise in endurance-trained and untrained men. *The American Journal of Physiology* 1994; 267: 934-40.
49. Krogh A, Lindhard J. The relative value of Fat and carbohydrate as sources of muscular energy. *The Biochemical Journal* 1920; 14: 290-363.

50. Lafortuna CL, Lazzer S, Agosti F, Busti C, Galli R, Mazzilli G, Sartorio A. Metabolic responses to submaximal treadmill walking and cycle ergometer pedalling in obese adolescents. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 2010; 20: 630-637.
51. Lazzer S, Busti C, Agosti F, De Col A, Pozzo R, Sartorio A. Optimizing Fat oxidation through exercise in severely obese Caucasian adolescents. *Clinical Endocrinology* 2007; 67: 528-588.
52. Lazzer S, Molin M, Stramare D, Facchini S, Francescato MP. Effects of an eight-month weight-control program on body composition and lipid oxidation rate during exercise in obese children. *Journal of Endocrinological Investigation* 2008; 31: 509-514.
53. Lazzer S, Lafortuna C, Busti C, Galli R, Tinozzi T, Agosti F. Fat oxidation during and after a low- or high-intensity exercise in severely obese Caucasian adolescents. *European Journal of Applied Physiology* 2010; 383-391.
54. Lima-Silva AE, Bertuzzi RC, Pires FO, Gagliardi JF, Barros RV, Hammond J, Kiss MA. Relationship between training status and maximal Fat oxidation rate. *Journal of Sports, Science & Medicine* 2010; 9: 31-35.
55. Ludbrook J. Comparing methods of measurements. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 1997; 24: 193-203.
56. Maffeis C, Zaffanello M, Pellegrino M, Banzato C, Bogoni G, Viviani E, Ferrari M, Tatò L. Nutrient oxidation during moderately intense exercise in obese prepubertal boys. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 2005; 90: 231-236.
57. Marra M, Scalfi L, Contaldo F, Pasanisi F. Fasting respiratory quotient as a predictor of long-term weight changes in non-obese women. *Annals of Nutrition and Metabolism* 2004; 48: 189-192.
58. Mázek M, Vavra J, Novosadova J. Prolonged exercise in prepubertal boys. 1. Cardiovascular exercise and metabolic adjustment. *European Journal of Occupational Physiology* 1976; 35: 291-298.
59. Martin WH 3rd, Dalsky GP, Hurley BF, Matthews DE, Bier DM, Hagberg JM, Rogers MA, King DS, Holloszy JO. Effect of endurance training on plasma free Fatty acid turnover and oxidation during exercise. *The American Journal of Physiology* 1993; 265: 708-714.
60. Martinez LR, Haymes EM. Substrate utilization during treadmill running in prepubertal girls and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1992; 24: 975-983.

61. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance. Philadelphia: Lea & Febiger 1991; 335.
62. Millet GP, Vleck VE, Bentley DJ. Physiological differences between cycling and running: Lessons from Triathletes. *Sports Medicine* 2009; 39: 179-206.
63. Mittendorfer B, Horowitz JF, Klein S. Effect on gender on lipid kinetics during endurance exercise of moderate intensity in untrained subjects. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism* 2002; 283: 58-65.
64. Mendelson M, Jinwala K, Wuyam B, Levy P, Flore P. Can crossover and maximal fat oxidation rate points be used equally for ergocycling and walking/running on a track? *Diabetes and Metabolism* 2012; 38: 264-270.
65. Meyer T, Gässler N, Kindermann W. Determination of Fatmax with 1 h cycling protocols of constant load. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 2007; 32: 249-256.
66. Mole PA, Oscai LB, Holloszy JO. Adaption of muscle to exercise. Increase in levels of palmityl CoA sythetase, carnitine palmityl-transferase, and palmityl CoA dehydrogenase and in the capacity to oxidize fatty acids. *Journal of Clinical Investigation* 1971; 50: 2323-2330.
67. Nordby P, Saltin B, Helge JW. Whole-body Fat oxidation determined by graded exercise and indirect calorimetry: a role for muscle oxidative capacity? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2006; 16: 209-214.
68. Phillips SM, Green HJ, Tarnopolsky MA, Heigenhauser GJ, Grant SM. Progressive effect of endurance training on metabolic adaptations in working skeletal muscle. *American Journal of Physiology* 1996; 270: 265-272.
69. Pillard F, Moro C, Harant I, Garrigue E, Lafontan M, Berlan M, Crampes F, de Glisezinski I, Riviére D. Lipid oxidation according to intensity and exercise duration in overweight men and women. *Obesity* 2007; 15: 2256-2262.
70. Riddell MC, Jamnik VK, Iscoe KE, Timmons BW, Gledhill N. Fat oxidation rate and the exercise intensity that elicits maximal Fat oxidation decreases with pubertal status in young male subjects. *Journal of Applied Physiology* 2008; 105: 742-748.
71. Robergs RA, Pascoe D, Costill D, Fink L, Chwalbinskamoneta J, Davis JA, Hickner R. Effects of warm-up on muscle glycogenolysis during intense exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1991; 23: 37-43.
72. Robinson S. Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Arbeitsphysiologie* 1938; 10: 251-323.

73. Romijn JA, Coyle EF, Hibbert, J, Wolfe RR. Comparison of indirect calorimetry and a new breath  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio method during strenuous exercise. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism* 1992; 263: 64-71.
74. Romijn JA, Coyle EF, Sideosis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Wolfe RR. Regulation of endogenous Fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism* 1993; 265: 380-391.
75. Romijn JA, Coyle EF, Zhang X-J, Sidosis LS, Wolfe RR. Fat oxidation is impaired somewhat during high-intensity exercise by limited plasma FFA mobilization. *Journal of Applied Physiology* 1995; 79: 1939-1945.
76. Rowland TW, Rimany TA. Physiological responses to prolonged exercise in premenarcheal and adult females. *Pediatric Exercise Science* 1995; 7: 183-191.
77. Rowlands DS, Jeukendrup AE. Fat-oxidation during exercise: Comparison of RER  $^{13}\text{C}$ -glycogen enrichment method. In E. Van Praagh, J.Coudert, N. Fellmann & P.Duché. *Proceeding of the 9th Annual Congress of the European College of Sport Science*.
78. Saddik M, Gamble J, Witters LA, Lopaschuk GD. Acetyl-CoA carboxylase regulation of Fatty acid oxidation in the heart. *The Journal of Biological Chemistry* 1993; 268: 25836-25845.
79. Saltin B, Gollnick PD. Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. *Handbook of Physiology – Skeletal muscle* 1983; 555-631.
80. Sideosis LS, Gastadelli A, Klein S, Wolfe RR. Regulation of plasma Fatty acid oxidation during low- and high-intensity exercise. *The American Journal of Physiology* 1997; 272: 1065-1070.
81. Starkie RL, Hargreaves M, Lambert DL, Proietto J, Febbraio MA. Effect of temperature on muscle metabolism during submaximal exercise in humans. *Experimental Physiology* 1999; 84: 775-784.
82. Stephens BR, Cole AS, Mahon AD. The influence of biological maturation on Fat and carbohydrate metabolism during exercise in males. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2006; 16: 166-179.
83. Stich V, de Glisezinski I, Berlan M, Bulow J, Galitzki J, Harant I, Suljkovicova H, Lafontan M, Rivière D, Crampes F. Adipose tissue lipolysis is increased during a repeated bout of aerobic exercise. *Journal of Applied Physiology* 2000; 88: 1277-1283.

84. Stisen AB, Stougaard O, Langfort J, Helge JW, Sahlin K, Madsen K. Maximal Fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. *European Journal of Applied Physiology* 2006; 98: 497-506.
85. Tarnopolsky MA, Rennie CD, Robertshaw HA, Fedak-Tarnopolsky SN, Devries MC, Hamadeh MJ. Influence of endurance exercise training and sex on intramyocellular lipid and mitochondrial ultrastructure, substrate use, and mitochondrial enzyme activity. *American journal of physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 2007; 292: 1271–1278.
86. Timmons BW, Bar-Or O, Riddell MC. Influence of age and pubertal status on substrate utilization during exercise with and without carbohydrate intake in healthy boys. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 2007; 32: 416-425.
87. Turcotte LP, Swenberger JR, Tucker MZ, Yee AJ. Training induced elevation in FABPpm is associated with increased palmitate use in contracting muscle. *Journal of Applied Physiology* 1999; 87: 285-293.
88. Venables CV, Achten J, Jeukendrup AE. Determinants of Fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *Journal of Applied Physiology* 2005; 98: 160-167.
89. Zakrzewski JK, Tolfrey K. Fatmax in children and adolescents: A review. *European Journal of Sport Science* 2011; 11: 1-18.
90. Zakrzewski JK, Tolfrey K. Comparison of Fat oxidation over a range of intensities during treadmill and cycling exercise in children. *European Journal of Applied Physiology* 2012; 112: 163-171.
91. Zimkin, N (toim). *Inimese füsioloogia*. Tallinn: Valgus, 1974.
92. Zunquin G, Theunynck D, Sesboue B, Arhan P, Bougle D. Comparison of fat oxidation during exercise between lean and obese pubertal boys: Clinical implications. *British Journal of Sports Medicine* 2009a; 43: 869-870.
93. Zunquin G, Theunynck D, Sesboue B, Arhan P, Bougle D. Evolution of fat oxidation during exercise in obese pubertal boys: Clinical implications. *Journal of Sports Sciences* 2009b; 27: 315-318.
94. Zurlo F, Lilioja S, Esposito-Del Puente A, Nyomba BL, Raz I, Saad MF, Swinburn BA, Knowler WC, Bogardus C, Ravussin E. Low ratio of Fat to carbohydrate oxidation as predictor of weight gain: study of 24-h RQ. *The American Journal of Physiology* 1990; 259: 650-657.
95. Wasserman K. The anaerobic threshold measurement to evaluate exercise performance. *American Review of Respiratory Disease* 1984; 129: 35-40.

# Comparing maximal fat oxidation in physically active men with two different methods

## 8. SUMMARY

Fat<sub>max</sub> is the exercise intensity that elicits the maximal fat oxidation rate. Available evidence suggest that this value can be influenced by many important factors such as exercise intensity, gender, age, body composition, exercise mode and – duration. There have been many different exercise protocols trying to assess Fat<sub>max</sub> in various populations.

The purpose of this study was to examine fat oxidation parameters in physically active young men with 2 different incremental tests and compare their results.

Participants (n=13; 23.77±2.74 yrs; 184.54±7.20 cm; 85.82±12.05 kg; body fat%: 18.7±2.7 %; VO<sub>peak</sub>: 48.85±7.58 ml/min/kg) completed two incremental bicycle tests.

Test 1: First step 40 W; Step 20 W; Step time: 1 minute

Test 2: First step 95 W; Step 35 W; Step time: 3 minute

Fat oxidation were calculated using stoichiometric equations:

$$\text{Fat oxidation} = 1.67 \times \text{VO}_2 - 1.67 \times \text{VCO}_2$$

Values for VO<sub>2</sub> and VCO<sub>2</sub> were calculated over the last 1 min of every stage.

Tests were performed after a one week and exercise regimen before both test were similar.

No differences were found in the calculated RER<sub>fatmax</sub> (0.84±0.05 v. 0.82±0.04, p=0.23), Fat<sub>max</sub> (31.78±10.46 g/h v. 37.15±7.16 g/h, p=0.08), WR<sub>fatmax</sub> (121.54±25.12 watt v. 121.92±29.12 watt, p=0.95) and SLS<sub>fatmax</sub> (122.00±14.54 st/min v. 188.77±14.21 st/min) during first and second graded exercise test.

The following conclusions were made:

1. Fat<sub>max</sub> can be assessed in physically active young males using incremental exercise protocol with 1 minute stages.
2. There were no significant differences in Fat<sub>max</sub> between 2 exercise protocols, although the maximal fat oxidation was slightly larger in second test.
3. There were no significant differences between body composition parameters and fat oxidation rate in physically active young men but there was statistical significance between fat oxidation and age/length.

4. In the following research,  $\text{Fat}_{\text{max}}$  parameters in participants were comparable with other studies that assessed those in cyclists and runners but there is a large variability in those results.

## Lihthitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina \_\_\_\_\_ Priit Lehisemets \_\_\_\_\_.

(*autori nimi*)

(sünnikuupäev: \_\_\_\_\_ 21.08.1988 \_\_\_\_\_).

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihthitsentsi) enda loodud teose  
Kahe erineva maksimaalse rasvade oksüdatsiooni meetodi võrdlus kehaliselt aktiivsetel noormeestel \_\_\_\_\_.

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on \_\_\_\_\_ Priit Purge \_\_\_\_\_.

(*juhendaja nimi*)

- 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihthitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus 20.05.2014