



Esa Hongell & Matti Romppainen

ENERGIANKULUTUKSEN MITTAUS VOIMAHARJOITTELUSSA TAPAHTUVAN NOSTOTYÖN AVULLA

ENERGIANKULUTUKSEN MITTAUS
VOIMAHARJOITTELUSSA TAPAHTUVAN
NOSTOTYÖN AVULLA

Esa Hongell ja Matti Romppainen
Opinnäytetyö
7.5.2011
Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma Hyvinvointiteknologia	Opinnäytetyö Opinnäytetyö	Sivuja + Liitteitä 57 + 3
Suuntautumisvaihtoehto Sairaalateknologia	Aika Kevät 2011	
Työn tilaaja Jukka Jauhiainen	Työn tekijät Esa Hongell ja Matti Romppainen	
Työn nimi Energiankulutuksen mittaus voimaharjoittelussa tapahtuvan nostotyön avulla		
Asiasanat Energiankulutus, kalori, MST-mittari, nostotyö, voimaharjoittelu		

Opinnäytetyössä tutkittiin voimaharjoittelussa tapahtuvaa kalorinkulutusta nostotyön avulla ja suunniteltiin toimiva ohjelmisto kalorinkulutuksen laskemiseen nostotyössä. Ohjelmisto kehitettiin liitettäväksi Oulun seudun ammattikorkeakoulun Hyvinvointiteknologian tuote- ja kehityskeskukseen kehittämään MST-mittariin.

Opinnäytetyössä käsiteltiin nostotyön fysikaalisia ilmiöitä, fyysisen aktiivisuuden mittaustapoja ja voimaharjoitteluun liittyviä muuttujia. Ohjelmiston perusajatuksena oli laskea energiankulutusta nostotyössä fysiikan peruslakien avulla. Ohjelmiston suunnittelussa otettiin huomioon ihmisen fysiologisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat energiankulutuksen määrään. Ohjelmiston koodi on tuotettu Matlab-ohjelmistolla.

Energiankulutusohjelmiston antamia tuloksia verrattiin muilla menetelmillä hankittuihin vastaaviin tuloksiin. Saatuja tuloksia voidaan pitää positiivisina ja ne pystyvät antamaan suuntaa voimaharjoittelussa tapahtuneesta energiankulutuksesta. Pelkän fysikaalisen lähestymisen avulla ei voida ottaa kuitenkaan huomioon kaikkia energiankulutukseen liittyviä muuttujia, joten tulokset ovat todellisuutta alhaisempia.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin Hyvinvointiteknologian tuote- ja kehityskeskukseen (HYTKE) toimeksiannosta Oulun seudun ammattikorkeakouluun syksyn 2010 ja kevään 2011 aikana. Haluamme kiittää opinnäytetyömme ohjaajaa lehtori Jaakko Kaskea joustavuudesta ja hänen antamastaan mahdollisuudestaan työstää opinnäytetyötä hieman poikkeuksellisissa olosuhteissa.

Haluamme myös osoittaa kiitokset yliopettaja Jukka Jauhiaiselle hänen kärsivällisyydestään ja opastuksestaan ohjelmoinnin osalta. Hyvinvointiteknologian opiskelija Arto Tiitto ansaitsee erityiskiitokset ohjelmointiavusta ja meidän ystävällisestä perehdyttämisestä MST-mittarin toimintoihin. Lehtori Tuula Hopeavuorelle kiitokset kielenhuollollisesta avusta, joka onnistui välimatkasta huolimatta.

Olemme tyytyväisiä meille tarjotusta mahdollisuudesta suorittaa opinnäytetyö etänä. Kuluva aika on ollut kiireistä jatko-opintojen vuoksi, ja siksi opinnäytetyön aikataulu hieman venyi.

Jyväskylässä 7.5.2011

Esa Hongell ja Matti Romppainen

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ALKUSANAT

1 JOHDANTO	7
2 FYSIKAALINEN LÄHESTYMINEN NOSTOTYÖHÖN	9
2.1 Työ	9
2.2 Mekaanisen energian muotoja	10
2.2.1 Potentiaalienergia	10
2.2.2 Liike-energia	10
2.2.3 Energian säilyminen	11
2.3 Lihastyön hyötysuhde ihmisellä	11
2.4 Ihmisen tekemä työ	13
2.5 Energian yksiköt	13
3 ENERGIA-AINEENVAIHDUNTA	15
4 FYYSISEN AKTIIVISUUDEN JA LIIKUNNAN ARVIOINTI	17
4.1 Fyysisen aktiivisuuden arvioinnin tarve	17
4.2 Omaan arviointiin perustuvat menetelmät	18
4.3 Fyysisen aktiivisuuden mittaustapoja	19
4.3.1 Askelmittari	20
4.3.2 Sykkeen mittaus	21
4.3.3 Akselometri	22
4.3.4 Hengityskaasut	23
4.3.5 Aineenvaihduntakammio	25
4.3.6 Kaksoismerkitty vesi	26
5 MAKSIMIVOIMAMITTARI JA VOIMAHARJOITTELU	28
5.1 MST-mittari	28
5.2 Voimaharjoittelu	28
5.2.1 Lihastyötavat	29
5.2.2 Lihassolutyypit	31
5.2.3 Nopeusvoima	32
5.2.4 Maksimivoima	33
5.2.5 Kestovoima	34
5.3 Voimaharjoittelun arviointi hengityskaasujen avulla	34

6 KALORINKULUTUSOHJELMISTO	38
6.1 Tavoite ja suunnitelma	38
6.2 Lopullinen ohjelmisto.....	39
7 TULOSTEN VERTAILU	44
7.1 Energiankulutusohjelmisto	44
7.2 Sykemittari.....	45
7.3 Hapenkulutus	46
7.4 MET-taulukot.....	47
7.5 Vertailutulokset.....	48
8 POHDINTA	51
LIITE 1. MET-taulukko	
LIITE 2. Kalorinkulutusaliohjelmistokoodi	
LIITE 3. Vuokaavio	

1 JOHDANTO

Voimaharjoittelun suosio on kasvanut viime vuosina, etenkin nuorten aikuisten keskuudessa. Ihmisten tietoisuus ja halu saada välitöntä palautetta harjoittelusta on noussut keskeiseksi osatekijäksi kuntoliikunnassa. Kalorien ja niiden kulutuksen seuranta on yksi päällimmäisistä muuttujista mitattaessa liikuntasuorituksen laatua ja rasittavuutta.

Kalorinkulutusta voidaan mitata useilla eri tavoilla, mutta tällä hetkellä tarkkoja tuloksia saadaan vain laboratorio-olosuhteissa. Anaerobiseen voimaharjoitteluun ei ole vielä kehitetty mitään tarkkaa mittaamenetelmää. Tämä opinnäytetyö lähestyy asiaa fysiikan peruslakien avulla. Tärkeimpänä yhtälönä käytetään nostotyön kaavaa $W = mgh$, jonka avulla pystytään määrittämään teoreettinen arvio kalorinkulutuksesta voimaharjoittelun aikana (1, s. 521). Fyysisen aktiivisuuden mittaamiseen ja arviointiin on kehitetty monia erilaisia menetelmiä ja valmiita sovelluksia. Niiden avulla voidaan mitata omaa aktiivisuutta, kuormittavuutta ja energiankulutusta. Tällaisia menetelmiä voivat olla muun muassa harjoituspäiväkirja ja sykemittari. (2, s. 77.)

Tämä opinnäytetyö koostuu selvitys- ja tutkimusosuudesta sekä ohjelmistosuunnittelusta ja sen antamien tulosten vertailusta vastaaviin energiankulutusmittauksiin. Työ on tehty kaksivaiheisesti. Tavoitteena oli tutkia ja selvittää kalorienkulutukseen liittyviä erilaisia menetelmiä ja soveltaa oppimaamme tietoa Oulun seudun ammattikorkeakoulun hyvinvointiteknologian tutkimus- ja kehityskeskukseen kehittämään maksimivoimamittariin.

Ohjelmistosuunnittelussa käytettiin Matlab-ohjelmistoa. Suunnittelu aloitettiin muodostamalla yksinkertainen versio nostotyössä kulutetusta energiasta. Ohjelmaan lisättiin ominaisuuksia, joiden tarkoituksena oli saada entistä tarkempia tuloksia. Valmis kalorinkulutuskoodi lisättiin jo valmiiseen maksimivoimamittarin ohjelmistoon.

Kalorinkulutuksen mittaaminen ei ole koskaan tarkkaa normaaleissa olosuhteissa, etenkin hetkellisessä anaerobisessa vastustyössä. Kalorinkulutusohjelmiston tuloksien luotettavuutta nostaa se, että niitä verrattiin vastaaviin kalorinkulutusta mittaaviin menetelmiin ja tutkimuksiin. Tavoitteena oli saada johdonmukaisia tuloksia, joita pystyttiin vertailemaan muilla menetelmillä hankittuihin vastaaviin tuloksiin.

Tämä opinnäytetyö on laadittu kahden Oulun seudun ammattikorkeakoulun hyvinvointiteknologian opiskelijan voimin. Työn vastualueet jakaantuivat tasan kummallekin osapuolelle. Molemmat työn suorittajat jatko-opiskelivat opinnäytetyön teon aikana Jyväskylän yliopistossa ja työ tehtiin pääosin Jyväskylässä. Ohjelmointiosuus ja ohjelmistotestaus suoritettiin Oulun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön tiloissa.

2 FYSIKAALINEN LÄHESTYMINEN NOSTOTYÖHÖN

2.1 Työ

Työllä tarkoitetaan fysiikassa tietyn voiman tekemää työtä tai tiettyä voimaa vastaan tehtyä työtä. Kun kappaleeseen kohdistuu voima, joka saa sen liikkeelle ja liikkumaan jonkin matkaa, sanotaan, että voima on tehnyt työtä. Tämän työn tekeminen vaatii aina tietyn määrän energiaa. Kun kappaletta siirretään, tehty työ on sitä suurempi, mitä pitempi matka kappaletta siirretään tai mitä suurempi voima siirtämiseen tarvitaan. (3, s. 21.)

Koska työ ja energia ovat toisiinsa rinnastettavia suureita, on joule sekä työn että energian yksikkö. Siirtotyössä työ tehdään vastusvoimien (esimerkiksi kitkavoimien) voittamiseksi. Siirtotyö W määritellään kaavan 1 avulla.

$$W = Fs,$$

KAAVA 1

jossa F on vaikuttava voima ja s on sen matka, jolla voima vaikuttaa. Yksiköt ovat $[F] = 1 \text{ N} = 1 \text{ kgm/s}^2$ (newton), $[s] = 1 \text{ m}$ ja $[W] = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$ (joule). (1, s. 521.)

Nostotyöksi sanotaan työtä silloin, kun voima nostaa kappaleen sen lähtötasoa ylemmälle tasolle. Nyt työtä tehdään maan vetovoiman voittamiseksi eli työkennellään voiman $G = mg$ voittamiseksi. Usein kun siirros tapahtuu pystysuorassa suunnassa, käytetään matkasta symbolin s sijasta symbolia h . Silloin kun käytetty voima on tarkalleen $G:n$ suuruinen mutta vastakkaisuuntainen, voidaan tehty työ kirjoittaa kaavan 2 muodossa. (1, s. 521.)

$$W = Fs = mgh$$

KAAVA 2

Painovoiman tekemä työ riippuu painovoiman lisäksi vain lähtö- ja loppupisteen korkeuserosta. Painovoiman tekemä työ ei riipu siitä tiestä, jota pitkin siirtyminen tapahtuu. Voiman sanotaan olevan konservatiivinen, jos voiman tekemä työ ei riipu tiestä. Esimerkiksi gravitaation aiheuttama painovoima, jousen kimmoisuuteen liittyvä harmoninen voima sekä sähkökentässä varattuun hiukkaan vaikuttava voima ovat konservatiivisia. (4, s.125, 139.)

2.2 Mekaanisen energian muotoja

2.2.1 Potentiaalienergia

Nostossa tehty työ varastoituu nostetun kappaleen potentiaali- eli asemaenergiaksi E_p , ja kappaleella on asemansa vuoksi potentiaalienergiaa kaavan 3 osoittamalla määrällä.

$$E_p = mgh$$

KAAVA 3

Yleensä, kun tarkastellaan potentiaalienergiaa, tarkastellaan nimenomaan muutoksia potentiaalienergiassa eikä potentiaalienergian absoluuttisia arvoja. Tätä varten tehtävissä tulee erikseen valita potentiaalienergian nollataso, jonka suhteen muutoksia lasketaan. Usein sopiva vertailutaso on maan pinta. (1, s. 521; 4, s. 139.)

2.2.2 Liike-energia

Liike-energia eli kineettinen energia on kappaleen liikkeeseen varastoitunutta energiaa. Kappaletta kiihdytettäessä sen kiihdyttämiseen käytetty energia varastoituu kappaleen liike-energiaksi. Eräissä tilanteissa kappaleen liike-energia muuttuu, vaikka kappaleeseen ei ole vaikuttamassa sellaista ulkoista voimaa, joka tekisi kappaleeseen työtä. Ulkoisia voimia ovat mm. kappaleiden kosketuksen kautta välittyvät voimat. Esimerkiksi hypättäessä ilmaan jalkapohjiin kohdistuvan normaalivoima ei tee työtä. Sen sijaan ponnistukseen käytettävät lihakset tekevät työtä. Osa sisäisten voimien tekemästä työstä muuttaa kappaleen liike-energiaa. (4, s. 137; 5.)

Liike-energian kokonaismäärä voidaan laskea yhdistämällä ulkoinen työ W_u sekä sisäinen työ W_s kaavan 4 tavoin. W_u on kaikkien ulkoisten voimien tekemien töiden summa ja se sisältää myös mahdollisen kitkatyön eri muodoissaan. W_s on systeemin sisäisten voimien luovuttama työ, josta käytetään myös nimitystä sisäinen työ. (4, s. 137, 141.)

$$\Delta E_k = W_u + W_s \quad \text{KAAVA 4}$$

2.2.3 Energian säilyminen

Liike-energia E_k ja potentiaalienergia E_p ovat mekaanisen energian E_{mek} muotoja. Potentiaalienergian ja liike-energian summa pysyy vakiona eli säilyy, kun systeemiin työtä tekevät voimat ovat konservatiivisia. Kitkavoimia ei tällöin esiinny. Systeemin mekaaninen energia voi muuttua vain jos ulkoiset voimat tekevät työtä systeemiin tai systeemi itse tekee työtä. Mekaaninen energia on systeemin liike-energian ja potentiaalienergian summa (kaava 5).

$$E_{mek} = E_k + E_p \quad \text{KAAVA 5}$$

Kitkavoiman tekemä työ on etumerkiltään negatiivinen. Se muuttaa mekaanista energiaa lämpöenergian muotoon. Laajempi tarkastelu osoittaa, että systeemin energia voi muuttua muodosta toiseen, mutta se ei häviä eikä sitä synny tyhjästä. Tämä on kokonaisenergian säilymisen periaate. (4, s. 142.)

2.3 Lihastyön hyötysuhde ihmisellä

Perinteisesti mekaaninen hyötysuhde määritellään joko tehtynä työnä W_{output} jaettuna energian kulutuksella W_{input} tai vaihtoehtoisesti sisään menevän P_{input} ja ulostulevan tehon P_{output} suhteena kaavan 6 mukaisesti.

$$\eta_{mek} = 100\% * \frac{W_{output}}{W_{input}} = 100\% * \frac{P_{output}}{P_{input}} \quad \text{KAAVA 6}$$

Mekaanisen tai sähköisen systeemin sisään menevä ja ulostuleva työ tai teho on suhteellisen helppo mitata. Esimerkiksi sähkömoottorin kuluttama energia voidaan mitata ja samoin sen ulkoisesti tuottama työ. Mikään laite ei voi kuitenkaan saavuttaa täydellistä hyötysuhdetta, vaan aina osa energiasta muuttuu lämmöksi tai välittyy systeemin muihin osiin. Tyypillinen mekaaninen systeemi harvoin saavuttaa parempaa hyötysuhdetta kuin 30 % ja elektroninen systeemi 40 %. (6, s. 142.)

Biologisissa systeemeissä hyötysuhde on määritelty tehdyn mekaanisen tehon P_{mek} suhteena aineenvaihdunnan tehon P_m ja perusaineenvaihdunnan tehon P_b erotukseen (kaava 7). Yleisesti ottaen mekaaninen työ ymmärretään kehon tekemänä ulkoisena työnä sen ympäristöön. Biologisen systeemin hyötysuhdetta laskiessa täytyy kuitenkin ottaa huomioon myös sisäinen työ, jotta nollatyön paradoksi (zero-work paradox) pystytään eliminoimaan. Nollatyön paradoksia esiintyy ihmisen liikkuaessa, kuten juostessa tai meloessa tasaisella nopeudella tasaisella pinnalla. Tällöisissä tapauksissa mekaaninen työ on nolla, koska kehon mekaanisessa energiassa ei tapahdu muutoksia, sillä keho liikkuu pinnan suuntaisesti, jolloin potentiaalienergiassa ei tapahdu muutoksia, ja lisäksi keho liikkuu tasaisella nopeudella, joten kineettisessä energiassa ei tapahdu muutoksia (kitkaa ei huomioida). Matkan voi kuitenkin tehdä hyötysuhteeltaan eri tavoilla, kuten kävellä rauhallisesti tai ontua kipeän jalan kanssa. Joka tapauksessa, jos henkilö on lähtenyt ja saapunut samalla nopeudella, niin voidaan sanoa, että mekaanista työtä ei ole tehty, jos mitataan vain pelkästään ulkoista työtä. Tämän vuoksi biologisen systeemin hyötysuhteen laskemisessa kaavan 7 tavoin on otettu myös huomioon sisäinen työ. (4, s. 146; 6, s. 142.)

$$\eta_{bio} = 100\% * \frac{P_{mek}}{P_m - P_b} = 100\% * \frac{\frac{W_{ulkoinen} + W_{sisäinen}}{\Delta t}}{P_m - P_b} \quad \text{KAAVA 7}$$

Fysiologinen kulutus määritellään aineenvaihdunnan tehon ja perusaineenvaihdunnan tehon erotuksella ($P_m - P_b$). Täytyy kuitenkin huomioida, että biologisen hyötysuhteen määrittäminen ei ole koskaan täysin tarkkaa, sillä fysiologi-

sen kulutuksen tarkka määrittäminen on haastavaa nykyisillä menetelmillä. Kulutusta voidaan arvioida suorasti energialähteiden käyttönä tai epäsuorasti hapenkulutuksena. Pääosin epätarkkuustekijöiden vuoksi ihmisen lihastyön hyötysuhteista annetaan eri lähteissä erilaisia arvioita. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että alaraajoilla on ihmisen kehossa parempi hyötysuhde kuin yläraajoilla. Karkeasti arvioiden tavanomaisessa työskentelytilanteissa vain noin 20–30 % käytetystä energiasta muuttuu mekaaniseksi työksi. Pääosa käytetystä energiasta vapautuu lämpönä. (3, s. 22; 4, s. 146; 6, s. 142–143.)

2.4 Ihmisen tekemä työ

Lihassoima saa aikaan liikettä, jolloin se tekee työtä. Kehossa esimerkiksi sydänlihas tekee työtä, ja ihmisen liikkeessä lihasvoimat tekevät työtä. Ihminen on kuitenkin nivelten, luiden ja lihasten muodostama kokonaisuus, jossa liikera-toihin sisältyy kiertymistä. Työn tekee tarkkaan ottaen voiman momentti eikä voima. Tällöin tarvittavan työn suuruuteen vaikuttaa voiman lisäksi sen etäisyys kiertoakselista. (3, s. 22.)

Mitä enemmän ihminen tekee työtä, käyttää lihasvoimaansa ja liikkuu, sitä enemmän hän kuluttaa energiaa. Energiantarpeeseen ja -kulutukseen vaikuttavat ihmisen massa ja ympäristön lämpötila. (3, s. 22.)

2.5 Energian yksiköt

SI-järjestelmässä joulea (J) käytetään kaikkien energianmuotojen yksikkönä. Joulen lisäksi käytetään sen kerrannaisyksiköitä kilojoulea (kJ) ja megajoulea (MJ). Usein elintarvikkeiden ravintosisältöjen yhteydessä käytetään vielä vanhaa energian yksikköä kalori (cal). Yleiskielessä kalorilla tarkoitetaan usein kilokaloria (1 kcal eli 1000 cal). Kalori on vanha energian yksikkö, jonka nimi tulee latinan lämpöä tarkoittavasta sanasta calor. (3, s. 32; 5.)

Alkuperäisen määritelmän mukaan yksi kalori on lämpömäärä, joka kasvattaa yhden vesigramman lämpötilaa yhdellä celsiusasteella normaalipaineessa. Kalorin suuruus riippuu siten hieman veden alkulämpötilasta. Eräissä kalorin

määritelmässä gramma vettä lämmitetään 14,5 °C:sta 15,5 °C:seen. Tällöin 1 kalori on 4,1855 joulea. Jotta kalorien ja joulen suhde ei riippuisi mahdollisista epätarkkuuksista, määriteltiin vuonna 1956, että 1 kalori on tarkalleen 4,1868 joulea. (5.)

3 ENERGIA-AINEENVAIHDUNTA

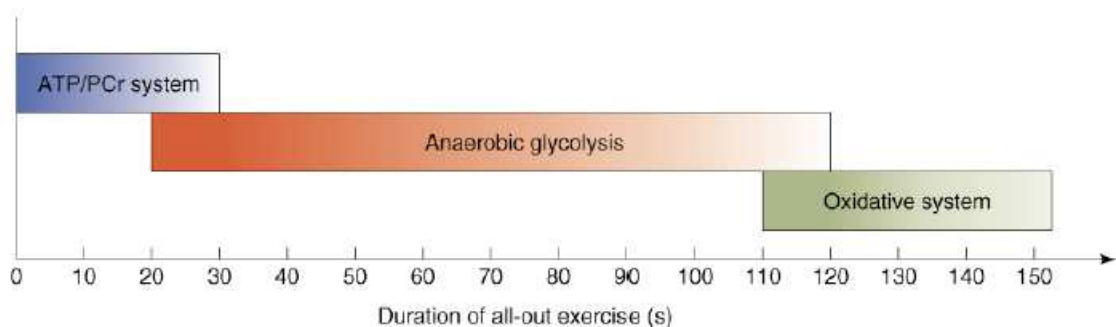
Aineenvaihdunnan ominaisteho on energiankulutuksen nopeus jaettuna henkilön massalla. Valveilla levossa olevan 20-vuotiaan miehen perusaineenvaihdunnan ominaisteho on noin 1,2 W/kg. Osa ravintoaineiden energiasta, joka aineenvaihdunnan kautta vapautuu lihasten käyttöön, voidaan saada hyödyksi mekaanisena työnä. (4, s. 146.)

Solujen tarvitsema polttoaine on ATP (adenosiinitrifosfaatti), joka on korkea-energistä fosfaattiyhdistettä. Energiaa saadaan hiilihydraateista (glukoosi), rasvasta ja proteiineista. Hiilihydraateista ja proteiineista saadaan kummastakin noin 4,1 kcal/g energiaa, kun taas rasvasta saadaan noin 9,4 kcal/g. Hiilihydraateista saatava energia on nopeimmin saatavilla kehon käyttöön. Käytännössä ATP saadaan liikkumiseen hiilihydraateista ja rasvasta. Proteiineja voidaan hyödyntää energianlähteenä vasta, kun ne ensin muutetaan glukoosiksi glukosin uudismuodostuksen avulla (glukogeneesi). (7, s. 121–122.)

Energiaa lihassupistuksiin sekä solujen biologiseen työhön saadaan pilkkomalla ATP:tä. Elimistössä ei ole paljoa varastoituna ATP:tä, joten sitä täytyy tuottaa jatkuvasti. Elimistö voi tuottaa ATP:tä kolmella eri tavalla: ATP-kreatiinifosfaattisysteemin, glykolyyttisen systeemin tai hapellisen systeemin avulla. ATP-kreatiinifosfaattisysteemi ja glykolyyttinen systeemi ovat solulimassa tapahtuvia anaerobisia energiantuottomuotoja, jotka eivät vaadi happea. Hapellisessa systeemissä energiantuottomekanismi on hapen avulla solujen mitokondrioissa tapahtuvaa ravintoaineiden pilkkomista aerobisessa muodossa. (7, s. 123–125.)

Elimistö tarvitsee energiaa elintoimintoihinsa. Fyysinen aktiivisuus aiheuttaa suuren muutoksen energiantarpeeseen. Käytettävät energiantuottomekanismit riippuvat fyysisen aktiivisuuden intensiteetistä, kestosta sekä kuormittavuudesta (kuva 1). Anaerobisen ATP-kreatiinifosfaattisysteemin avulla saadaan nopeasti energiaa käyttöön välittömästi lihaksien varastoista, mutta hyvin lyhyeksi ajaksi, vain noin 3–15 sekunniksi. ATP-kreatiinifosfaattisysteemi on pääasialli-

nen energiantuottomuoto, kun kyseessä on lyhyt maksimaalinen suoritus. Anaerobisessa glykolyttisessä systeemissä energia saadaan glukoosista, joka on varastoitunut lihaksiin ja maksaan. Anaerobisessa glykolyttisessä systeemissä energiaa saadaan tuotettua suhteellisen nopeasti noin 1–2 minuutin kestoisiin maksimisuorituksiin. Anaerobisiin energiantuottomekanismeihin turvautuminen aiheuttaa elimistössä happivajeen, jonka korvaaminen ilmenee suorituksen jälkeen kohonneena aineenvaihduntana (EPOC, Excess Postexercise Oxygen Consumption). Hapen avulla tuotettaessa voidaan energiaa tuottaa lähes rajattomasti, mutta hitaalla tahdilla. Tämä sopii hyvin kestävyysuorituksiin. Hapellisessa systeemissä voidaan tuottaa energiaa aerobisen glykolyttisen systeemin avulla tai hajottamalla rasvaa vapaiksi rasvahapoiksi, joista mitokondrioissa tuotetaan ATP:tä. Hapen avulla energiaa tuotetaan anaerobisesti silloin kun työteho ylittää maksimaalisen aerobisen energiantuottomekanismin tason. (7, s. 123–125.)



KUVA 1. Keskeiset energiantuottotavat eri mittaisissa maksimisuorituksessa (7, s. 131)

4 FYYSISEN AKTIIVISUUDEN JA LIIKUNNAN ARVIOINTI

Fyysistä aktiivisuutta ja energiankulutusta voidaan mitata ja arvioida monilla eri menetelmillä sen mukaan, minkälaista fyysistä aktiivisuutta harjoitetaan. Fyysinen aktiivisuus voidaan muuttaa energiankulutukseksi erilaisten kaavojen avulla, joilla voidaan arvioida erilaisten liikuntamuotojen energiankulutusta. Aktiivisuutta voidaan myös mitata suoraan erilaisten ohjelmistojen ja laitteistojen avulla.

4.1 Fyysisen aktiivisuuden arvioinnin tarve

Fyysisen aktiivisuuden mittaaminen ja arviointi on tärkeä osa nykypäivän kunto- ja kilpaurheilua. Mittaamalla voidaan seurata entistä paremmin omaa kuntoa ja sen kehitystä ja voidaan asettaa tarkempia kuntopäämääriä. Arvioidessa voidaan seurata liikunnan kokonaismäärää ja kuormittavuutta sekä liikunnan tiheyden, määrän ja kuormittavuuden muutoksia. Jotta liikunta olisi hyödyllistä ja terveyden kannalta positiivista, tulee sen olla laadultaan ja määrältään oikeanlaista. Liikunnan seurannalla voidaan helposti pysyä yksilön oman fyysisen kunnon sallimissa rajoissa niin, ettei liikunnasta synny haittoja. (2, s. 77.)

Liikunnan määrä ilmaistaan usein minuutteina päivässä, tunteina tai kertoina viikossa tai mahdollisesti kilometreinä tai askelten lukumääränä. Nykyään entistä enemmän puhutaan myös suorituksen aiheuttamasta energiankulutuksesta. Energiankulutuksen seuraaminen on helpottunut erilaisten suoritusta mittaavien laitteiden avulla niin, että jokainen pystyy seuraamaan omaa energiankulutustaan. Laadun arviointi liittyy yleensä kuormittavuuteen, jota voidaan seurata joko hengitys- ja verenkiertoelimistön tai lihasvoiman kannalta. Laatuun liittyvät myös liikunnan eri muodot ja toteuttamistavat. Kattava arviointi koostuu kaikista mainituista osa-alueista. (2, s. 78.)

Liikunnan ja fyysisen aktiivisuuden arviointimenetelmät voidaan jakaa subjektiivisiin ja objektiivisiin menetelmiin. Subjektiivisessa menetelmässä yksilö arvioi oman aktiivisuutensa ja sen laadun. Objektiivinen menetelmä perustuu erilais-

ten laitteiden antamiin palautteisiin. Molemmat menetelmät ovat hyvin toisia tukevia aktiivisuuden arviointimenetelmiä ja niillä saadaan tarkka kuva liikunnasta, sen määrästä, kuormittavuudesta ja laadusta. (2, s. 78.)

Fyysisen aktiivisuuden arviointimenetelmät voidaan jakaa myös fysiologiaan ja yksilön käyttäytymiseen perustuviin menetelmiin. Fysiologiaan perustuvissa menetelmissä tulos saadaan mittaamalla jotain kehon fysiologista suuretta, joka on yhteydessä aineenvaihduntaan. Käyttäytymiseen perustuvissa menetelmissä tulos saadaan seuraamalla ja arvioimalla yksilön aktiivisuutta ja aktiivisuuden laatua. Menetelmät ovat hyvin toisia tukevia aktiivisuuden arviointimenetelmiä ja niillä saadaan hyvin tarkka kuva liikunnasta, sen määrästä, kuormittavuudesta ja laadusta. Osalla menetelmistä voidaan mitata energiankulutusta tietylle ajanjaksolle, jolloin saadaan tarkempaa tietoa juuri sen hetkisestä energiankulutuksesta. Osalla menetelmistä seurataan aktiivisuustasoa pitkällä aikavälillä, jolloin saadaan kokonaiskuva energiankulutustasosta. On myös menetelmiä, jotka soveltuvat vain käytettäväksi laboratorio-olosuhteissa, jolloin saadaan tarkin mahdollinen energiankulutustaso. (2, s. 81–82.)

4.2 Omaan arviointiin perustuvat menetelmät

Itsearviointi perustuu käyttäjän omaan arviointiin, jossa käyttäjä itse seuraa omaa aktiivisuuttaan ja merkitsee liikuntakerrat ylös. Menetelmällä on helppo seurata ja saada arvio liikuntaan käytetystä ajasta, sen kuormittavuudesta, liikunnan tyypistä sekä toteuttamistavasta. Erilaisilla päiväkirjoilla tai kyselyillä päästään arvioimaan muun muassa kokonaisenergiankulutusta tai aktiivisuustasoa. Tietojen avulla voidaan tehdä päätelmiä liikunnan riittävydestä. Kuormittavuudeltaan erilaiset liikuntamuodot ja niihin käytetty aika muutetaan kokonaiskuormittavuutta kuvaaviksi indekseiksi ja energiankulutukseksi. Yhdistämällä harjoituspäiväkirja ruokailupäiväkirjaan saadaan hyvä kuva energiankulutuksen tarpeesta. (2, s. 84–86.)

Aineenvaihdunnan tason arviointi perustuu usein MET-arvojen käyttöön. MET-arvo ilmaisee liikunnan kuormittavuutta verrattuna perusaineenvaihduntaan.

Barbara Ainsworthin vuonna 2006 laatimasta perusaineenvaihduntataulukossa on kattavasti kuvattu eri liikuntamuotojen MET-arvoja (liite 1). (2, s. 80.)

Aktiivisuutta arvioitaessa tulee selvittää sekä perusliikunnan että erillisen harasteliikunnan määrä. Arvioitaessa fyysistä aktiivisuutta voidaan apuna käyttää takenevaa kyselyä, haastattelua tai päiväkirjaa. Tarkoituksena on saada arvio päivittäisen liikunnan määrästä ja sen kuormittavuudesta. Kyselyissä arvioidaan kaikkea olennaista liikuntaan tai lepoon liittyvää, jotta saataisiin mahdollisimman kattava kuva henkilön energiankulutuksesta. Yleensä kyselyiden ja viikkopäiväkirjojen toistattavuus on hyvä. Kohtalaisen kuormittavan fyysisen aktiivisuuden arviointi on osoittautunut kaikista epävarmimmaksi arvioinnin kohteeksi, kun taas passiivisuuden arviointi on yleensä arvioitu tarkimmin. (2, s. 81–82.)

4.3 Fyysisen aktiivisuuden mittaustapoja

Fyysisen aktiivisuuden mittaamisessa kiinnostuksen kohteita ovat liikunnan kokonaismäärä, toteuttamisen muodot ja kuormittavuus, liikunnan useus, liikunnan määrän ja kuormittavuuden muutokset sekä mahdollisesti liikunnan suhde muuhun fyysiseen aktiivisuuteen. Näitä mittauseräparametreja varten on kehitetty useita erityyppisiä laitteistoja, jotka soveltuvat erilaisten liikuntamuotojen seurantaan. (2, s. 77.)

Fyysistä aktiivisuutta voidaan mitata useiden eri fysiologisten suureiden avulla. Usein energiankulutuksen arvioimiseen käytettyjä fysikaalisia suureita ovat esimerkiksi ydinlämpötila, ventilaatio tai syke. Energiankulutusta voidaan mitata joko suoralla tai epäsuoralla tavalla. Suora tapa mittaa kehon lämmöntuottoa. Kehon aineenvaihdunta tuottaa lämpöä ja tämä lämmöntuotto on suoraan verrannollinen kulutettuun energiaan. Epäsuora tapa puolestaan mittaa hengityskaasuja. Kaikki energiaa tarvitsevat toiminnot tarvitsevat happea, jonka johdosta hapenkulutus on verrannollinen energiankulutukseen. Kaikki energiankulutuksen arviointi- ja mittauslaitteet perustuvat näihin kahteen menetelmään. (8, s. 1.)

4.3.1 Askelmittari

Askelmittari on yksinkertainen tapa mitata fyysistä aktiivisuutta laskemalla otetut askeleet. Pieni laite kiinnitetään esimerkiksi vyötärölle, jossa se reagoi riittävän suuriin kävelyssä tapahtuviin kiihtyvyyksien muutoksiin. Askelmittari kalibroidaan yksilöllisesti fyysisten ominaisuuksien mukaan. Mittariin voidaan asettaa yhden askeleen keskimääräinen pituus, jolloin askelmittarin avulla voidaan askelten lisäksi mitata kuljettu matka. (2, s. 86–87.)

Kehittyneimpiin askelmittareihin voidaan myös syöttää käyttäjän sukupuoli ja paino, jolloin laite arvioi energiankulutuksen. Energiankulutus ja matkan pituuden arviot ovat kuitenkin askelmittarissa karkeita arvioita. Askelmittari on helppo keino arvioida fyysisen aktiivisuuden määrää ja hyvä tapa saavuttaa päivittäiset askeltavoitteet. (2, s. 87.)

Tudor-Locken ym. (2004) tutkimuksessa tutkittiin ihmisen aktiivisuutta päivittäisten askelmäärän mukaan. Tutkimuksessa asetettiin askelmäärien rajat erilaisille aktiivisuusasteille. Aikuisen ihmisen päivittäisen askelmäärän suositus on noin 10000 askelta. Normaalisissa päivittäisissä toiminnoissa tulee 6000–7000 askelta ja noin 30 minuutin reippaan kävelyn aikana otetaan noin 3000–4000 askelta, jolloin päivittäiseksi suositus askelmääräksi saataisiin noin 10000 askelta. Aktiivisuusaste on luokiteltu askelmäärän mukaan taulukon 1 tavoin. (9, s. 1.)

TAULUKKO 1. Aktiivisuusaste askelmäärien mukaan

Askeleet/päivä	Aktiivisuustaso
<5000	liikkumattomuus
5000–7499	alhainen
7500–9999	jokseenkin aktiivinen
10000	aktiivinen
>12500	erittäin aktiivinen

Tasot ovat suosituksia aikuiselle ihmiselle. Lapsille nämä suositusmäärät ovat liian alhaisia ja vanhuksille suositusmäärät ovat liian korkeita. (9, s. 1.)

Askelmittarin ongelmana on, että se toimii lähinnä kävellessä. Juoksun aikana, jolloin askelpituus muuttuu, tulokset vääristyvät. Lisäksi ongelmia tai vääristymiä fyysisen aktiivisuuden tasosta voi syntyä, jos liikkumista vastustaa jokin voima esimerkiksi ylämäki. Askelmittari voi myös reagoida ylimääräiseen tärinään, jolloin askelmäärät vääristyvät. Kehittyneimmissä askelmittareissa ulkoinen tärinä pystytään eliminoimaan pääosin ja tällöin esimerkiksi tärisevässä bussissa istuminen ei lisää askelten määrää. Askelmittari on kuitenkin hyvä perusaktiivisuuden mittari. (2, s. 87.)

4.3.2 Sykkeen mittaus

Sydämen sykkeen ja energiankulutuksen välillä on epälineaarinen yhteys. Fyysisen aktiivisuuden kasvaessa sydämen syke nousee, jolloin veren mukana kulkevien ravinteiden ja kuona-aineiden kuljetus tehostuu. Hermosto ja hormonaaliset tekijät säätelevät sykettä ja veren virtausta. Veren virtauksen määrää sydämen läpi säädellään iskutilavuuden ja sykkeen avulla. Sydämen pumpaamaa veren määrää ilmaistaan minuuttitilavuutena. Iskutilavuuden muutos ja sykkeen nousu ovat hyvin yksilöllisiä ja riippuvat paljon henkilön harjoittelutautasta. Yleisesti voidaan sanoa, että hyvin harjoitelleella ihmisellä minuuttitilavuuden kasvu aluksi johtuu pääosin sydämen tilavuuden kasvusta ja syke alkaa nousta vasta rasituksen kasvaessa riittävän paljon, huomattavasti myöhemmin kuin vähemmän harjoitelleella. (2, s. 87–88.)

Sykkeen avulla voidaan arvioida fyysisen aktiivisuuden energiankulutusta monella tavalla. Yksinkertaisin tapa on käyttää sykemittaria, jonka avulla saadaan välittömästi kalorinkulutus. Sykemittarin avulla voidaan asettaa erilaisia sykerajoja, joiden avulla voidaan kontrolloida aktiivisuuden tasoa ja pysyä halutuissa rajoissa. Sykemittari ei ole kuitenkaan tarkin mahdollinen tapa tarkastella sydämen sykettä. Sykemittari käyttää kahden elektrodin sykevyötä, joka voi aiheuttaa suurta epätarkkuutta. (2, s. 88.)

Sykkeen avulla ei voida suoraan laskea energiankulutusta vaan jokaiselle täytyy tehdä henkilökohtainen syke-energiankulutusyhtälö. Nykyisissä sykemittareissa on yleistettyjä yhtälöitä, jotka laskevat sykkeen ja mittariin syötettyjen

henkilökohtaisten tietojen avulla energiankulutuksen. Luotettavimmillaan sykkeen käyttö fyysisen aktiivisuuden ja liikunnan arvioinnissa on kohtalaisella ja rasittavalla kuormitustasolla sekä pitkäkestoisissa suorituksissa. Levossa ja kevyessä aktiivisuudessa on paljon vääristäviä tekijöitä, jotka helposti saavat energiankulutuksen näyttämään suuremmalta. Lyhytkestoisissa suorituksissa tapahtuva sykkeen nousu ei korreloi hyvin suorituksen intensiteettitason kanssa ja tämän takia sykemittari ei sovellu näiden mittaamiseen. Virheitä aiheuttavat lisäksi yksilölliset erot maksimaalisissa sykkeissä kuin myös syketasojen vaihtelut samoilla rasiustasoilla. (2, s. 88.)

4.3.3 Akselometri

Akselometrit eli liikkeenilmaisimet ovat laitteita, jotka reagoivat kehon liikkeisiin yksi- tai kolmiulotteisessa avaruudessa. Laitetta pidetään yleensä vyötäröllä, jossa se mittaa henkilön fyysistä aktiivisuutta. Fyysisen aktiivisuuden mittaamisen periaate on hyvin samanlainen kuin askelmittarissa, mutta akselometri on kuitenkin toiminnaltaan huomattavasti monimutkaisempi. (2, s. 88–89.)

Liikkeenilmaisimet mittaavat kiihtyvyyttä sykäyksittäin. Kiihtyvyyden muutosten avulla voidaan arvioida käyttäjän energiankulutus ja vartalosegmenttien kiihtyvyyksiä. Kehittyneissä mittareissa on yleistetyt yhtälöt, jotka laskevat energiankulutuksen suoraan nähtäville. Energiankulutus liikkeenilmaisimittareilla voi kuitenkin olla harhaanjohtavaa. Suurimmat ongelmat ovat samat kuin askelmittareissa. Fyysisen aktiivisuuden muutosten ja yleisen aktiivisuuden seurantaan liikkeenilmaisimella soveltuu kuitenkin hyvin. (2, s. 89.)

Teoriassa liikkeenilmaisimien yhdistettynä sykkeen mittaamiseen toisi kattavan lopputuloksen energiankulutuksen arvioimiseksi. Sykkeen avulla voitaisiin arvioida energiankulutusta kohtalaisessa ja raskaassa fyysisessä aktiivisuudessa, kun taas liikkeenilmaisimella voitaisi mitata hyvin kevyttä fyysistä aktiivisuutta. (2, s. 89.)

4.3.4 Hengityskaasut

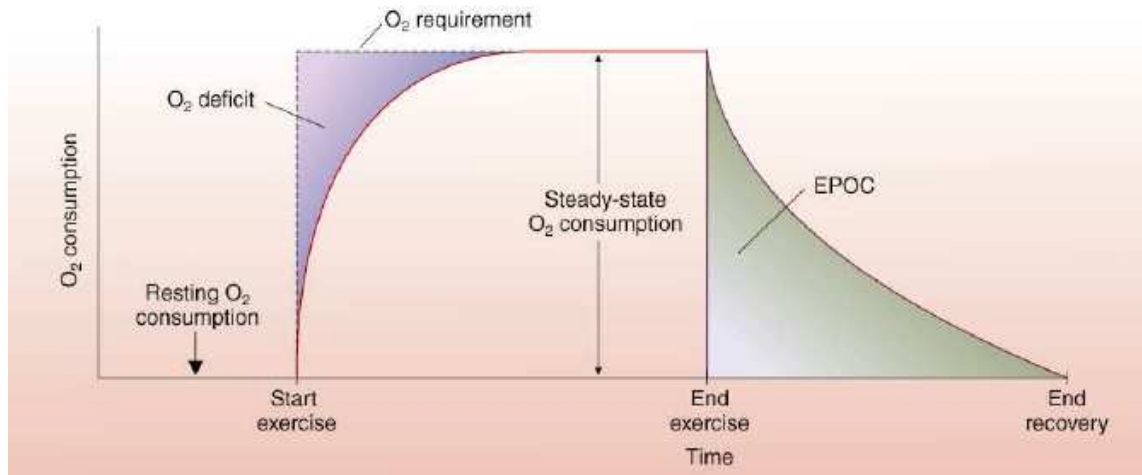
Hengityskaasuanalysoitsaattoreilla voidaan määrittää maksimaalinen hapenotto-
ky (VO_{2max}). Maksimaalinen hapenotto-
ky on urheilututkimuksien perusmitta-
reita ja erityisen tärkeä se on kestävyysurheilun suoritus-
tason arvioinnissa. Hapenotto-
kyä mittaamalla saadaan hyvä kuva keuhkojen ominaisuuksista,
sydämen ja verenkierron kyvystä toimittaa happea elimistöön ja kuljettaa hiilidi-
oksidia pois elimistöstä. (10, s. 14.)

Hapenkulutukseen vaikuttavat keuhkotuuletus, veren ominaisuudet, veren vir-
taus, kaasujen vaihto kudosten välillä ja solujen kapasiteetti toimia aerobisesti.
Voimaharjoittelussa suoritukseen tarvittava energia saadaan hapettomalla
energiantuotolla. Voimaharjoittelua seuraa lepotilaan nähden lisääntynyt ai-
neenvaihdunta (EPOC). Voimaharjoittelussa kulutetut energiavarastot palautu-
vat EPOCin aikana hapen avulla. (7, s. 143–144.)

EPOC on ylimääräistä hapenkulutusta perushapenkulutuksen lisäksi, ja sitä il-
menee rasittavan urheilusuorituksen jälkeen (kuva 2). Harjoituksen aikana
energiaa ei saada tarpeeksi hapen avulla, ja tällöin suoritukseen vaadittava
energia saadaan hapettomalla energiantuotolla. Urheilusuorituksen jälkeen ai-
neenvaihdunta on kiihtynyt ja happea kulutetaan normaalia enemmän. Suori-
tuksen aikana hemoglobiinilta ja myoglobiinilta lainattu happi maksetaan takai-
sin ja myös ATP- ja kreatiinifosfaattivarastot jälleen täytetään. EPOCiin liittyy
myös paljon muita vaikuttavia tekijöitä kuin pelkästään ATP-varastojen täyden-
täminen harjoittelua edeltäneelle tasolle. Näitä tekijöitä ovat anaerobisessa ai-
neenvaihdunnassa tuotetun laktaatin poistuminen, hemoglobiinista ja myoglo-
biinista lainattujen happivarastojen täydentyminen, kudoksiin kasautuneen
hapen poistuminen ja aineenvaihdunnan vilkastuminen kehon lämpötilan sekä
adrenaliinin ja nonadrenaliinin seurauksena. (7, s. 143–144.)

Benton ym. (2009) tutkivat voimaharjoittelun jälkeisen aineenvaihdunnan ko-
hoamista naisilla. Tutkimuksen tulokseksi saatiin, että korkeammilla vastuksilla
(70–80 % maksimista) harjoittelun jälkeinen aineenvaihdunta oli korkeimmil-

laan. Kohonnut energiankulutus oli testihenkilöillä keskimäärin 133 kcal 120 minuutin ajalta. (11, s. 1.)



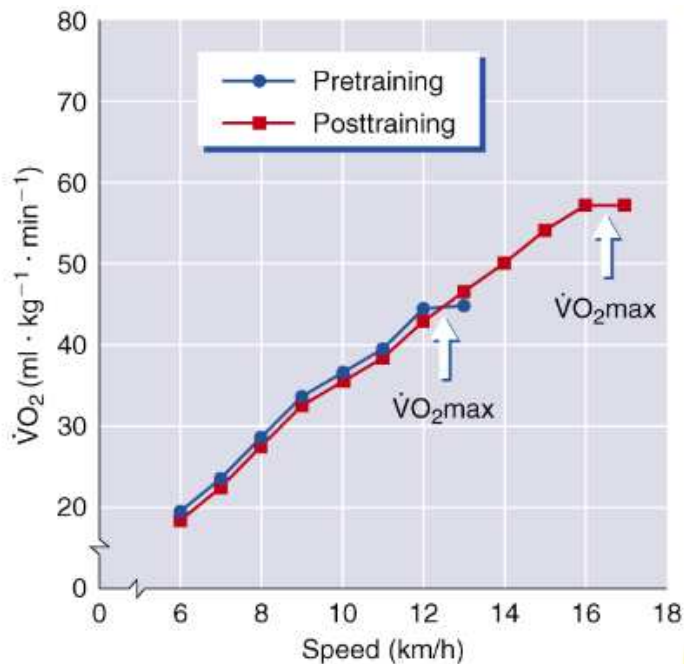
KUVA 2. Hapentarve ja happivelka suorituksen aikana sekä EPOC suorituksen jälkeen (7, s. 143)

Hapenottokyky on suoraan verrannollinen kestävyYTEEN. Se ei kuitenkaan suoraan korreloi tulosten kanssa, koska tuloksiin vaikuttaa monia muita tekijöitä, kuten tekniikka, hyötysuhde, psyyke tai olosuhteet. Hapenottokyvyn ja suorituskyvyn kanssa hyvin korreloivia tekijöitä ovat esimerkiksi juoksunopeus, kriittinen voima ja laktaattikynnys. (10, s. 13.)

Henkistyskaasuanalysaattorin avulla voidaan määrittää O_2 -kulutuksen ja CO_2 -tuoton avulla harjoittelun kannalta tärkeät aerobiset ja anaerobiset kynnykset. Näiden raja-arvojen avulla on helppo laatia sopiva harjoitusohjelma ja kuormitustaso. Raja-arvojen määrittämiseen tarvitaan myös hengitystilavuus, syke ja laktaattipitoisuus veressä. (10, s. 13.)

VO_{2max} määritetään hengityskaasuanalysaattorin avulla. Mittaus suoritetaan nousujohtaisen kuormituksen aikana. Yleensä se tehdään niin, että kuormitustapa vastaa mahdollisimman paljon lajia, jota käyttäjä harjoittelee. Hapenkulutus kasvaa suorassa suhteessa kuormittavuuden kasvaessa, mutta aivan maksimitestin lopussa saavutetaan kohta, jolloin hapenkulutus ei enää kasva (kuva

3). Hapenkulutus voidaan ilmoittaa joko l/min tai painoon suhteutettuna ml/kg/min. (10, s. 14.)



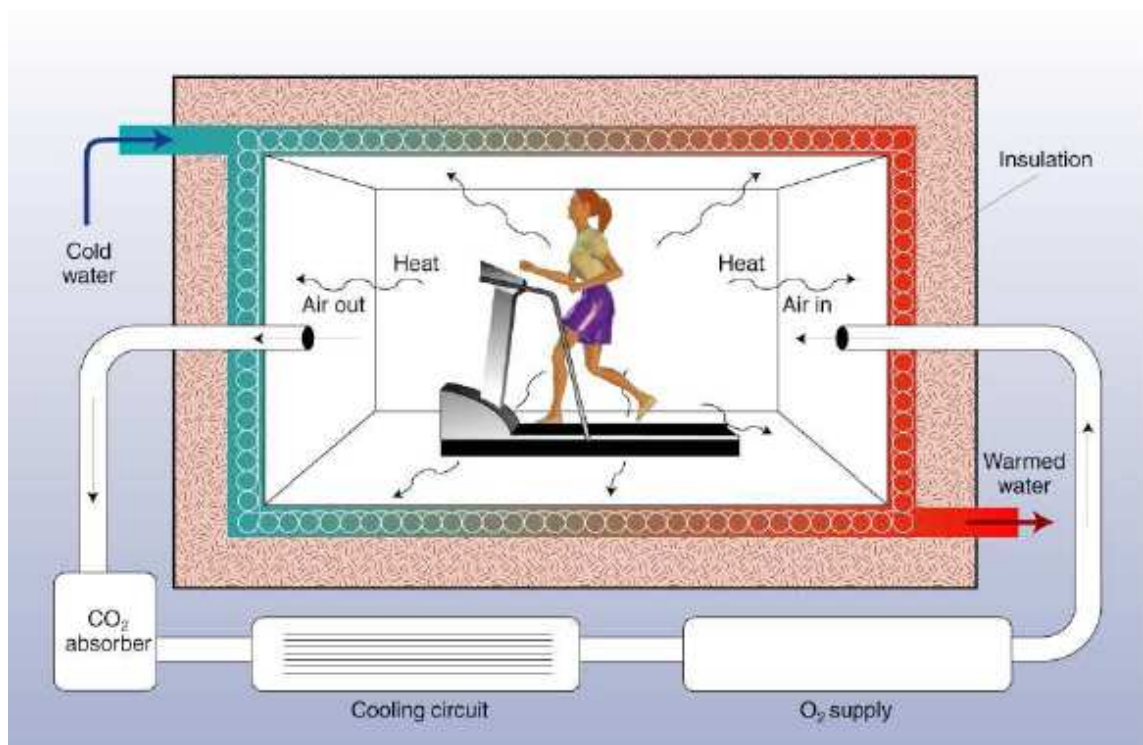
KUVA 3. Hapenkulutuksen määrittäminen ennen ja jälkeen 12 kuukauden harjoittelun (7, s. 274)

4.3.5 Aineenvaihduntakammio

Energiankulutuksen tarkka mittaaminen vaatii aina laboratorio-olosuhteita, koska analysoimiseen liittyy useita muuttujia. Tätä varten on kehitetty aineenvaihduntakammio. Se yhdistää energiankulutuksen mittaamisessa sekä suoran että epäsuoran menetelmän. Aineenvaihduntakammio on ilmatiivis tila, joka mittaa kehon lämmöntuotantoa, ja sen avulla pystytään laskemaan energiankulutus, koska vain noin 40 % ravintoaineiden energiansisällöstä muuttuu ATP:ksi, lopusta muodostuu lämpöä. Lämpötilan muutoksista voidaan laskea henkilön energia-aineenvaihdunta. Lisäksi aineenvaihduntakammio mittaa ulostulevan hapen ja hiilidioksidin pitoisuuksia. (7, s. 133; 8, s. 1.)

Aineenvaihduntakammio on tarkka menetelmä mitata energiankulutusta etenkin pitkäkestoisissa ja koko vartaloa rasittavissa harjoitteissa. Se ei sovellu esimerkiksi intensiivisen voimaharjoittelun energiankulutuksen seurantaan, koska se ei reagoi hetkellisiin energiankulutuspiikkeihin. (7, s. 133.)

Aineenvaihduntakammio on yleensä pieni huone, esimerkiksi 3,5 m x 3,5 m, ja se sisältää vain testiin tarvittavat välineet. Näitä välineitä voivat olla esimerkiksi juoksumatto tai 24 tunnin testissä potilassänky ja ajanvietettä, kuten kirjoja. Aineenvaihduntakammion toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4. (8, s. 5.)



KUVA 4. Aineenvaihduntakammion toimintaperiaate (7, s. 134)

4.3.6 Kaksoismerkitty vesi

Kaksoismerkityn veden käyttö energiankulutuksen mittarina perustuu pysyvien isotooppien käyttöön. Sen avulla voidaan arvioida useiden päivien kokonaisenergiankulutuksen summaa. Pysyvät harvinaiset isotoopit käyttäytyvät elimistössä kuin "tavalliset" vety ja happi. Vety poistuu elimistöstä mm. virtsan ja hien

mukana. Happi taas poistuu sekä vetenä että hiilidioksidina. ^2H - ja ^{18}O -isotooppien poistumisnopeuksien erotus on verrannollinen hiilidioksidin tuotantoon. Energiankulutus on yhteydessä hiilidioksidin tuotantoon, jota voidaan mitata hengityskaasuista. (2, s. 89–90; 8, s. 1.)

Menetelmän energiankulutuksen mittaaminen perustuu siis ^2H - ja ^{18}O -isotooppien poistumisnopeuden seurantaan testihenkilöstä. Yleensä testihenkilön seuranta kestää kaksi viikko, jonka aikana mitataan henkilöstä poistuneiden isotooppien määrää virtsanäytteistä. (2, s. 90.)

Kaksoismerkityn veden avulla saadaan tarkka arvio energiankulutuksesta kahden viikon ajalta. Liikunnan terveysvaikutusten ja energiankulutuksen tutkimukseen riittävät yleensä kuitenkin epätarkemmat, mutta liikuntaa monipuolisemmin arvioivat menetelmät. (2, s. 90.)

5 MAKSIMIVOIMAMITTARI JA VOIMAHARJOITTELU

5.1 MST-mittari

MST- (Maximum Strength Technology) eli maksimivoimamittari on kehitteillä oleva ranteeseen kiinnitettävä langaton mittalaite. MST-mittari tunnetaan myös nimillä Musti ja Maksimivoimamittari. Se sisältää kolme päätoimintoa: toistomäärälaskuri, palautumisaikalaskuri ja liikkeen analysointi. Laitteen tarkoituksena on edistää kuntosaliharjoittelun tehokkuutta ja parantaa suoritusten seuranta. (12.)

Mittari analysoi yksittäisen liikkeen ja ilmoittaa sen jälkeen tehtyjen toistojen suoritustehon prosentteina. Ensimmäinen liikesarja on mittariin tehtävä liikesarjakohtainen kalibrointi, jossa käyttäjä arvioi omasta maksimisuorituksesta noin 60 % ja suorittaa yhden liikkeen mahdollisimman nopeasti. Kalibrointisuorite tallentuu mittariin, mihin seuraavia harjoitteita verrataan. (12.)

MST-mittarin tarkoituksena on edistää harjoittelun seuranta ja harjoitteiden tasaaisuutta sarjojen aikana. Kontrollisuoritukset tallentuvat laitteen muistiin, jolloin käyttäjän on helppo seurata voimantuoton kehitystä seuraamalla suoritusten prosenttiosuuksia. (12.)

Mittari laskee toistojen määrää harjoitteiden aikana, jolloin käyttäjä voi keskittyä keskittymisensä pelkästään voimantuottoon. Kuntosaliharjoitteet poikkeavat toisistaan tavoitteissa ja päämäärissä. Toistojen ja sarjojen määrä riippuu siitä, harjoitetaanko nopeus-, maksimi- vai kestävyysvoimaa. Erilaisilla harjoitteilla on myös erilaiset palautumisajat sarjojen välillä. MST-mittari mahdollistaa palautumisajan seurannan yksinkertaisen toiminnan avulla. (12.)

5.2 Voimaharjoittelu

Voimaharjoittelun tavoitteena on usein lisätä lihaksen hypertrofiaa ja voimantuottoa. Harjoittelukeinoja on useita erilaisia riippuen siitä, millaisiin tuloksiin

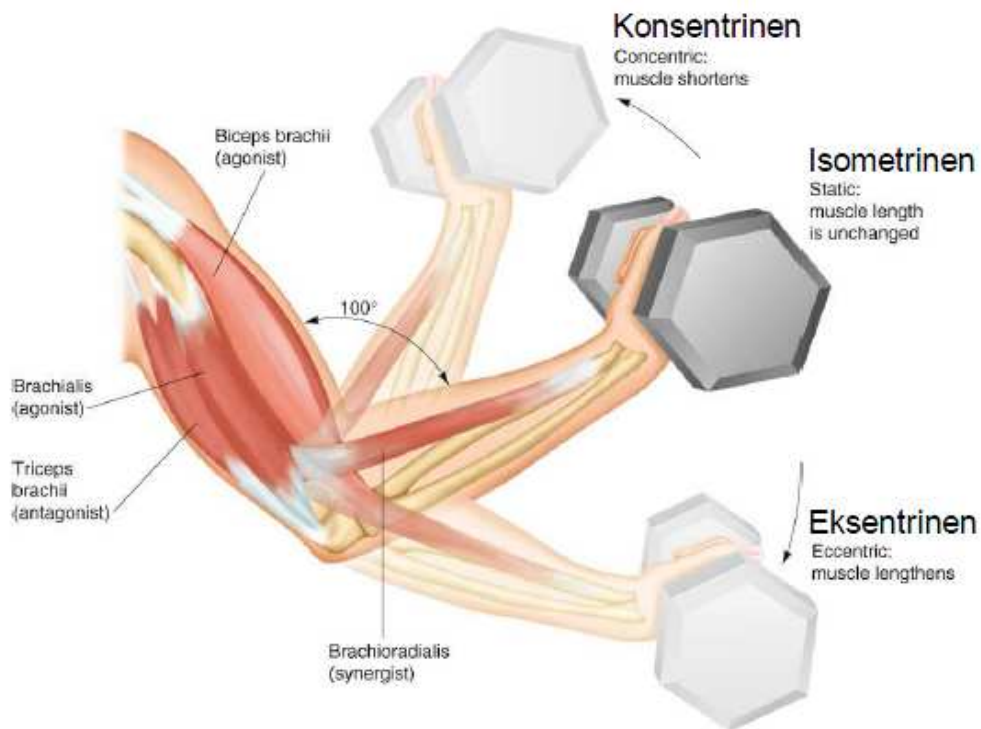
harjoittelulla halutaan päästä. Erilaisilla voimaharjoitteilla ja yhdistetyllä kestävyys- ja voimasharjoittelulla voidaan vaikuttaa halutusti lihasaktivaatioon, maksimivoimaan ja räjähtävään voimantuottoon. Erilaiset voimaharjoitukset tukevat usein toisiinsa ja ennen kuin voidaan erikoistua harjoittelussa johonkin tiettyyn, tarvitaan hyvä perusvoimantuottotaso. (13, s. 2.)

Voimaharjoittelu yhdistettynä räjähtävän voiman harjoitteluun parantaa maksimivoiman lisäksi nopeusvoimaa. Voimaharjoittelu yhdistettynä kestävyys- ja voimasharjoitteluun voi vaikuttaa laskevasti voimantuottoon, jos harjoittelua ei suoriteta oikein. Optimaalisten tulosten saavuttamiseksi erilaisten harjoitteiden intensiteetin ja määrän harjoittelua on suunniteltava tarkasti. (13, s. 2.)

Harjoittelun tuloksien kehittyminen pitkällä aikavälillä perustuu lihaksen rakenteen ja toiminnan sekä hermoston toiminnallisiin muutoksiin. Harjoittelun alussa tulosten kehittyminen selittyy pääosin hermoston adaptoitumisella vastusharjoitteluun, pitkällä aikavälillä kehitys selittyy lihaksen hypertrofiolla eli lihasten koon kasvulla. (13, s. 2.)

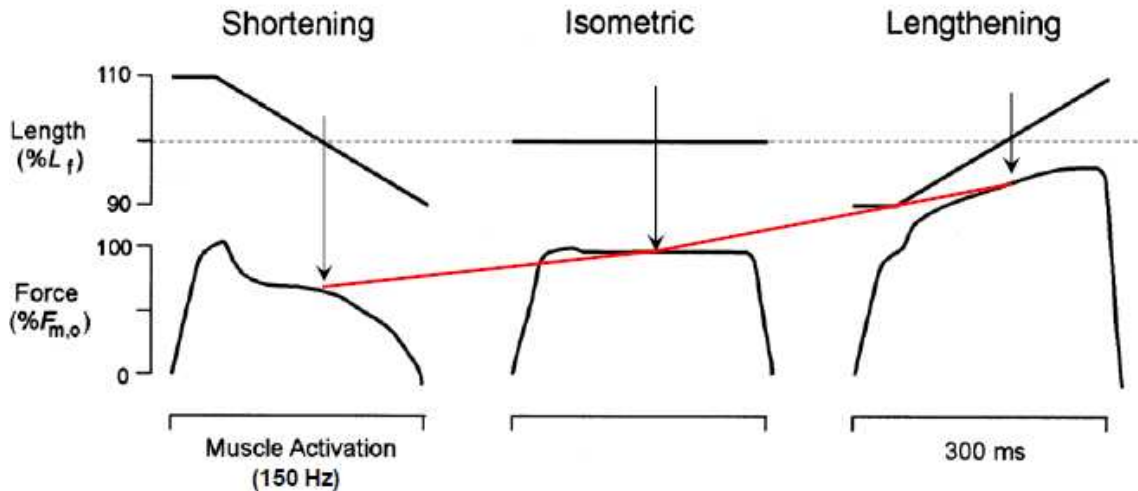
5.2.1 Lihastyötavat

Lihastyötavat voidaan jakaa lihaspituuden muutosten, liikkumisen tai liikkumattomuuden perusteella staattiseen ja dynaamiseen lihastoimintaan. Staattisessa isometrisessä lihastyössä lihas-jännekompleksin ulkoinen pituus ei muutu, mutta lihassyt supistuvat venyttäen elastisia osia. Kun lihas-jännekompleksin pituus lyhenee ja aiheuttaa liikettä, on kyse konsentrisesta lihastoiminnasta. Eksentrisessä lihastyössä aktiivinen lihas venyy, kun siihen kohdistuu ulkoinen voima ja vastavaikuttajalihas (antagonisti) on aktiivinen (kuva 5). Eksentrisen lihastyö tuottaa suuremman maksimivoiman samalla lihasaktiivisuustasolla kuin isometrinen tai konsentrisen lihastyö (kuva 6). (14, s. 5.)



KUVA 5. Lihastyötavat (7, s. 53)

Esimerkiksi penkkipunnerruksessa konsentrisen vaiheen aikana vastus nostetaan, jolloin lihaspituus lyhenee. Eksentrisen vaiheen aikana vastus lasketaan, jolloin lihaspituus kasvaa. Luonnollinen liike ja harjoittelu yleensä sisältää kaikki kolme lihastyötapaa. Kun eksentristä lihastoimintaa seuraa välittömästi konsentrisen lihastyö, voi syntyä voiman potentioitumista, jolloin konsentrisen lihastyön voima on normaalia suurempi. Tätä ilmiötä kutsutaan venymislyhenemissykliksi (SSC, Stretch Shortening Cycle). (14, s. 5; 7, s. 231.)

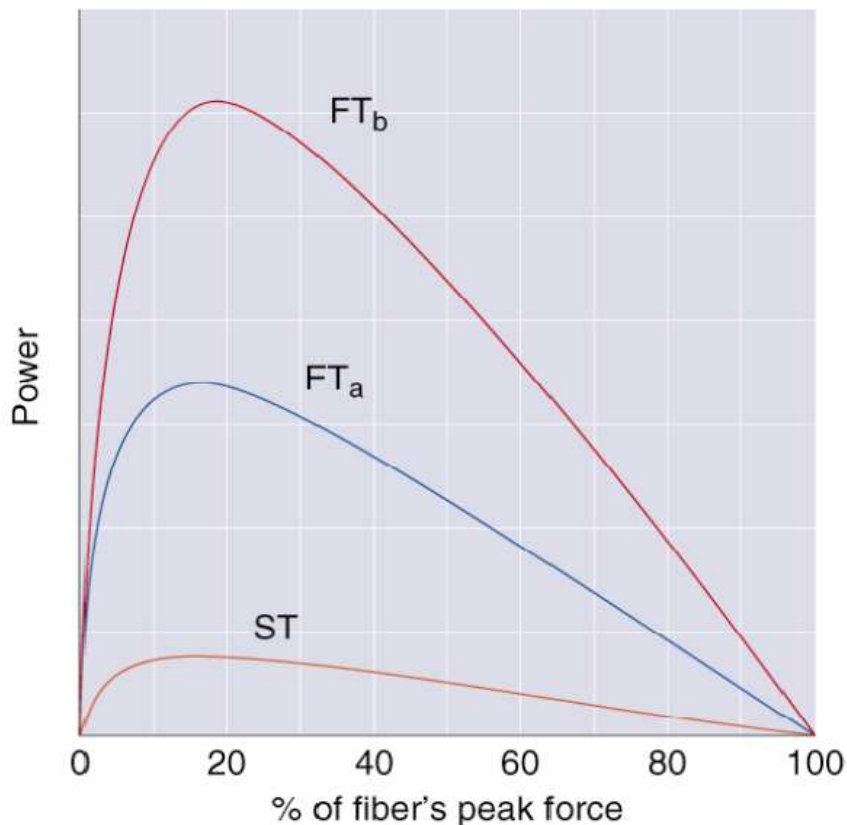


KUVA 6. Voimantuotto eri lihastyötavoilla lihasjännekompleksin pituuden muuttuessa maksimisuorituksen aikana (15, s. 273)

Konsentrisen ja eksentrisen lihastyön voimantuottotapa poikkeaa toisistaan. Konsentrisessa voima tuotetaan pääosin poikittaissiltasykliin eli lihasten supistuvien osien avulla, kun taas eksentrisessä voimantuotossa lihasjännestee-min elastiset voimantuotto-ominaisuudet ovat mukana. Eksentrisen lihastyön lihasaktiivisuus on myös alhaisempi kuin konsentrisen, josta johtuen sen energiankulutus on alhaisempi. Eksentrisen lihastyö kuluttaa energiaa keskimäärin 30–50 % konsentriseen lihastyöhön verrattuna. (1, s. 187; 16, s. 1.)

5.2.2 Lihassolutyypit

Lihaksen kyky tuottaa voimaa riippuu paljolti sen poikkipinta-alasta ja lihassolujen tyypistä (kuva 7). Lihassolutyypit voidaan jakaa hitaisiin (ST) ja nopeisiin (FT_a ja FT_b). Toiminnalliset erot lihastyypien välillä ovat niiden kyvyssä tuottaa nopeasti voimaa ja kesto-ominaisuuksissa. Hitaat lihassolut tuottavat voimaa hitaammin, mutta ovat kestävämpiä. Nopeat lihassolut jakaantuvat nopeasti voimaa tuottaviin ja kestävyysominaisuuksiltaan kohtalaisiin (FT_a) sekä voimaa erittäin nopeasti tuottaviin ja kestävyysominaisuuksiltaan heikkoihin (FT_b). Kumpiakin lihastyyppejä on lihaksissa. Niiden osuuksien jakaantuminen vaihtelee lihasten välillä riippuen suuresti lihaksen tehtävästä. Myös yksilöiden välillä on paljon eroja hitaiden ja nopeiden lihastyypien osuuksien välillä. (17, s. 3–4.)



KUVA 7. Maksimiteho eri lihastyypeillä (7, s. 47)

Lihastyypien energiankulutus poikkeaa toisistaan. Nopeat lihassolut tuottavat energiansa lähinnä anaerobisen glykolyyttisen energiantuoton avulla, kun taas hitaat lihassolut tuottavat energiansa pääosin aerobisesti hapen avulla. Lihassolujen syttymisperiaatteen mukaan pienet ja hitaat lihassolut aktivoituvat ensin ja suuret ja nopeat niiden jälkeen. Raskaan harjoittelun aikana aktivoituu enemmän lihassoluja (hitaita ja nopeita), jolloin energiankulutus on nousee ja syntyy myös happivajetta. (17, s. 4, 6.)

5.2.3 Nopeusvoima

Nopeusvoimalla tarkoitetaan lihasten kykyä tuottaa lähes maksimaalinen voima lyhyessä ajassa. Kyky tuottaa nopeasti voimaa on tärkeää liikkeiden kannalta. Harjoittelemalla nopeusvoimaa voidaan helpottaa jokapäiväistä liikkumista. Nopeusvoima maksimaalisella teholla on tärkeää etenkin urheilulajeissa, jotka vaativat lihasvoiman ja nopeuden tehokasta yhdistämistä. Maksimaalisen tehon

saavuttaminen eroaa ylä- ja alaraajoissa. Yläraajoissa maksimaalinen teho saavutetaan 30–45 %:n ja alaraajoissa 40–60 %:n voimatasoilla. (18, s. 10.)

Nopeusvoimaharjoittelussa yhdistetään perinteinen voimaharjoittelu räjähtävän nopeaan harjoitteluun. Nopeusvoimantuotossa vaaditaan hermolihaskäytön kykyä tuottaa mahdollisimman suuri voima lyhyessä ajassa: lihaksen on supistuttava maksimaalisesti erittäin lyhyessä ajassa (0,01–1,00 sekuntia). Harjoitteina tehdään submaksimaalisilla vastuksilla (50–90 % maksimitasosta) keskipitkiä sarjoja (4–8 toistoa/sarja). Nopeusvoimaharjoittelu vaatii hyvää perusvoimatasoa, jota harjoittelemalla kehitetään nopeaa voimantuottoa. Harjoittelussa olennaista on oikeanlaisten harjoitteiden ja liikkeiden oikein suoritus. (19.)

5.2.4 Maksimivoima

Maksimivoima on voima, jonka henkilö voi tuottaa suurimmillaan. Kevyessä liikuntasuorituksessa rekrytoidaan valikoivasti lihaksen hitaita motorisia yksiköitä, joilla on matalampi aktivaatiokynnys. Lähestyttäessä maksimaalista suoritusta (noin 50–70 % maksimista) aktivoidaan kaikki lihaksen motoriset yksiköt, sekä hitaat että nopeat. Äärimmäinen maksimisuoritus saavutetaan motoristen yksiköiden syttymistäajuutta nostamalla, jolloin myös energiavaatimukset nousevat. (15, s. 283–285; 7, s. 50.)

Maksimivoimantuotto on riippuvainen lihaksen poikkipinta-alasta, joka myös selittää suuresti naisten ja miesten välisen absoluuttisen voimantuoton eron. Voimantuoton suuruuteen vaikuttavat myös suuresti liikenopeus, lihastyötapo ja käytetty nivelkulma. Maksimisuorituksissa liikenopeus on hidas, jolloin hermosto ehtii rekrytoida mahdollisimman monta lihaksen motorista yksikköä. Suurilla vastuksilla sekä hitaat että nopeat motoriset yksiköt kuormittuvat kun vastusta pienennetään, liikenopeus kasvaa ja harjoitusvastus kohdistuu enemmän nopeisiin yksiköihin. Maksimivoiman kasvu edellyttää suuria vastuksia, jolloin lihasjännitys on suuri kussakin nostossa. (19.)

Maksimivoimaharjoittelulla tarkoitetaan harjoituksia, jossa käytetään suuria vastuksia (85–100 %) ja lyhyitä sarjoja (1–4 toistoa/sarja). Harjoittelun tarkoituksena on kehittää yksilön tuottamaa maksimivoimaa antamalla maksimaalisia ärsykeitä hermo-lihasjärjestelmälle. Harjoittelun seurauksena motoristen yksiköiden syttymistäajuus kasvaa ja kyky rekrytoida motorisia yksiköitä kasvaa. Maksimivoiman kannalta nopeat lihasyksiköt ovat oleellisia, koska ne tuottavat nopeasti paljon voimaa (kuva 7). Motoristen yksiköiden syttymisjärjestyksen mukaan nopeat syttyvät hitaiden jälkeen. Harjoittelun myötä kyky ottaa käyttöön nopeita yksiköitä kasvaa. (19.)

5.2.5 Kestovoima

Kestovoimalla on suuri merkitys tavallisen kuntoilijan kannalta. Se vaikuttaa ryhdin ylläpitämiseen ja jaksamiseen ja nopeuttaa palautumista. Kestovoima poikkeaa maksimivoimasta ja nopeusvoimasta energiantuottotapansa suhteen. Maksimi- ja nopeusvoimassa energia on saatava nopeasti käyttöön, jolloin ne käyttävät energian saantiin pääasiassa anaerobista glykolyyttistä systeemiä ja ATP-kreatiinifosfaattisysteemiä. Kestovoimassa energiantuottotavat voidaan jakaa aerobiseen lihaskestävyyteen ja anaerobiseen voimakestävyyteen, joiden energia on yleensä tuotettu hapen avulla. Kestovoimalta vaaditaan tietyn voimatason ylläpitämistä suhteellisen pitkään. Kestovoimaharjoittelussa tehdään pitkiä sarjoja pienillä painoilla ja lyhyillä palautusajoilla. Kestovoimasuoritteiden aikana ärsytetään lähinnä hitaita motorisia yksiköitä niiden kestävyysominaisuuksien ja pitkäkestoisen voimantuoton takia. (20.)

5.3 Voimaharjoittelun arviointi hengityskaasujen avulla

Voimaharjoittelu on suosittu harjoittelumuoto. Voimaharjoittelulle ei ole kuitenkaan luotettavaa menetelmää, jonka avulla voidaan mitata luotettavasti ja tarkasti harjoittelun aineenvaihdunnallista kulutusta. Voimaharjoittelu koostuu kolmesta eri energiantuottosysteemistä. Tällä hetkellä on mahdotonta mitata tarkasti energian tarvetta voimaharjoittelussa epäsuoralla kalorimetrialla. Voimaharjoittelun energiankulutuksessa tulisi ottaa huomioon myös harjoittelun jälkeinen aineenvaihdunnan voimistuminen (EPOC). Harjoittelun aikana, eten-

kin maksimiharjoittelussa, energiaa tuotetaan velaksi. Harjoittelun jälkeen aineenvaihdunta toimii ylikierroksilla useita tunteja ja kalorinkulutus on korkeampi kuin normaalisti. Tällä hetkellä EPOCia on vaikea mitata muualla kuin laboratorio-olosuhteissa. (21, s. 1.)

Ihmisen aineenvaihduntaa voidaan tarkastella tarkasti epäsuorasti kulutetun hapen mukaan (RER, Respiratory Exchange Ratio). RER-arvo ilmoittaa hengityksessä syntyneen hiilidioksidin määrän suhteessa kulutetun hapen määrään (taulukko 2). RER-arvon avulla voidaan kertoa myös mitä energianlähdettä käytetään suorituksessa. Energialähteen erottamisen mahdollistavat hiilihydraattien, proteiinien ja rasvojen erilaiset hapentarpeet energian tuottamiseksi. (21, s. 1.)

TAULUKKO 2. Kalorien ekvivalentti hengitysosamäärän (RER) eri arvoilla. Energiankulutus saadaan kertomalla hapenkulutus kaloriekvivalentilla. (22.)

RER	Energia	% kcal	
	kcal/l O ₂	Hiilihydraatit	Rasvat
0,71	4,69	0,00	100,00
0,75	4,74	15,60	84,40
0,80	4,80	33,40	66,60
0,85	4,86	50,70	49,30
0,90	4,92	67,50	32,50
0,95	4,99	84,00	16,00
1,00	5,05	100,00	0,00

Hengitysosamäärä on luotettava tapa tutkia energiankulutusta matalalla ja keskiraskaalla harjoittelutasolla. Submaksimaalisella teholla harjoiteltaessa RER-arvo vääristää anaerobista energianlähdettä, koska se liioittelee hiilihydraattien määrää. Vääristyminen johtuu elimistön happitasapainon muutoksesta vetyionien erittyessä verenkiertoon. Koska voimaharjoittelussa usein liikutaan submaksimaalisissa harjoitteissa, RER-arvojen käyttö ei ole täysin luotettavaa. (23, s. 16.)

Robergsin ym. (2007) tekemässä tutkimuksessa voimaharjoittelun kalorinkulutusta mitattiin hengitysosamäärän avulla. RER-arvoon perustavassa mittauksessa 1 RER muunnettiin kalorinkulutukseksi. Tulokseksi saatiin hieman suurempia kulutusarvoja kuin muissa vastaavissa voimaharjoittelumittauksissa. (21, s. 1.)

Tutkimustuloksista (kuva 8) nähdään kuinka VO_2 kasvaa lineaarisesti kuorman kasvaessa niin penkkipunnerruksessa kuin kyykkäyksessä. Tutkimuksessa saadut tulokset korreloivat toisiaan hyvin. (21, s. 4.)

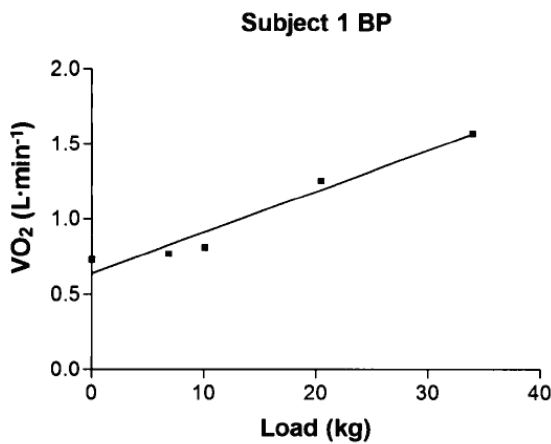


FIGURE 1. Sample data for subject #1 during bench press (BP).

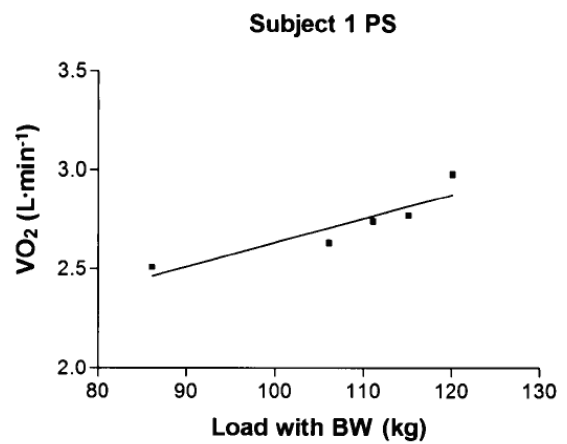


FIGURE 2. Sample data for subject #1 during parallel squat (PS). BW = body weights.

KUVA 8. Hapenkulutuksen suhde kuormaan (21, s. 4)

Samaisessa tutkimuksessa hapenkulutukselle Y kehitettiin laskukaavat penkkipunnerrukseen ja kyykkäykseen. Kaavat ovat regressioyhtälöitä, joissa hapenkulutus voidaan arvioida nostopainon a ja nostokorkeuden b avulla. Hapenkulutus suurenee tasaisesti suhteessa nostopainon ja nostokorkeuden kasvaessa. Penkkipunnerruksen hapenkulutus voidaan arvioida kaavalla 8 ja kyykyn hapenkulutus kaavalla 9. Penkkipunnerruksen kaavan regressioarvo on $R^2 = 0,728$ ja kyykkäyksen $R^2 = 0,656$.

KAAVA 8

$$Y_{penkki} \frac{l}{min} = 0,132 \frac{l}{min} + 0,031 \frac{l}{min * kg} * a(kg) + 0,01 \frac{l}{min * cm} * b(cm)$$

KAAVA 9

$$Y_{kyykky} \frac{l}{min} = -1,424 \frac{l}{min} + 0,022 \frac{l}{min * kg} * a(kg) + 0,035 \frac{l}{min * cm} * b(cm)$$

jossa Y on hapenkulutuksen tilavuus, a on nostopaino ja b nostokorkeus. Yksiköt ovat $[Y] = VO_2 = l \cdot min^{-1}$, $[a] = kg$ ja $[b] = cm$. (21, s. 3.)

Kaavojen avulla saadaan suuntaa antava tulos, jonka avulla voidaan tutkia energiankulutusta voimaharjoittelussa. Tutkimuksessa huomattiin, että voimaharjoittelun energiankulutus on oletettua suurempaa. (21, s. 4.)

6 KALORINKULUTUSOHJELMISTO

6.1 Tavoite ja suunnitelma

Tavoitteena oli suunnitella toimiva kalorinkulutusohjelmisto nostotyössä maksimivoimamittarille. Opinnäytetyössä kehitetty ohjelmistokoodi lisättiin jo valmiina olevaan maksimivoimamittarin Matlab-koodiin. Ohjelmiston perusajatuksena toimii nostotyön kaava (kaava 2).

Nostotyökaavan avulla saadaan yhden noston energiamäärä jouleina. Tämä muutetaan edelleen kilokaloreiksi ja kerrotaan tarvittaessa nostokerroilla, jolloin saadaan harjoitteluun kulutettu kilokalorimäärä. Ohjelmisto laskee konsentrisen ja eksentrisen lihastyön energiankulutuksen ja laskee ne yhteen kokonaiskulutukseksi. Nostojen määrä saadaan maksimivoimamittarin valmiina olevan ohjelmiston avulla. Maksimivoimamittarin ohjelmisto kysyy käyttäjältä suoritettavaa liikettä monivalinnan avulla. Kalorinkulutusohjelmistossa lihaksen hyötysuhde määräytyy tehdyn liikevalinnan mukaan. Ylävartalon hyötysuhteeksi on määritetty 9 % ja alavartalon hyötysuhteeksi 30 %.

Ohjelmistosuunnittelun alussa tavoitteena oli muodostaa yksinkertainen malli nostotyössä kulutetusta energiasta ja saada se toimimaan käytännössä moitteettomasti. Ohjelmistosuunnittelua rakennettiin tutkimustyön pohjalta. Tarkoituksena oli aluksi laatia perusmalli Matlabilla nostotyössä kulutetusta energiasta. Ohjelmiston kehitysvaiheen askeleet olivat seuraavat:

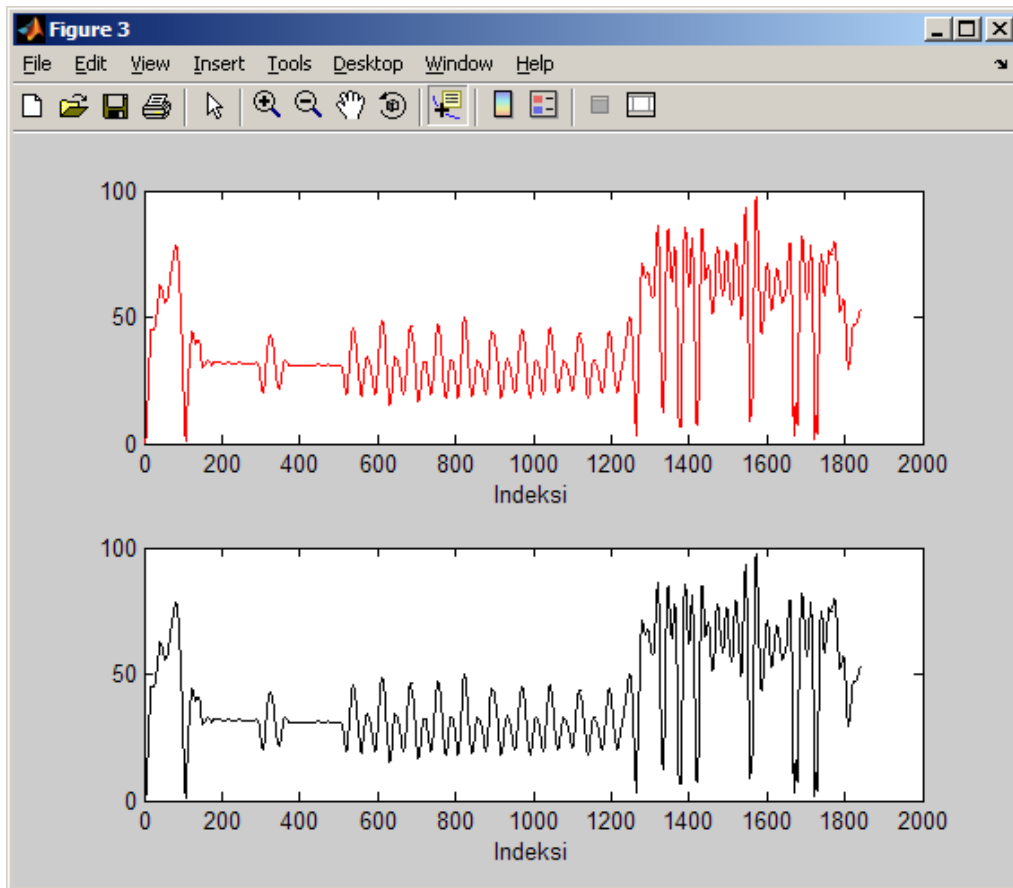
1. Laadittiin perusmalli, johon syötettiin muuttujat manuaalisesti (massa, korkeus, toistot) ja määriteltiin vakiot (putoamiskiihtyvyys, kalorimuunnos, lihaksen hyötysuhde).
2. Aliohjelma (perusmalli) saatiin toimimaan.
3. Aliohjelmaan saatiin pääohjelmasta seuraavat globaalit muuttujat (toistomäärä, massa).
4. Aliohjelma (versio 2) saatiin toimimaan.

5. Pääohjelmasta saadun kiihtyvyyden avulla voitiin laskea nostokorkeus.
6. Aliohjelma (versio 3) saatiin toimimaan.

Tässä opinnäytetyössä ei ollut tarkoitus siirtää laadittua ohjelmistoa varsinaiseen tuotteeseen eikä kääntää valmista Matlab-koodia C-ohjelmointikielelle. Lopullinen aliohjelman Matlab-koodi löytyy liitteestä 2 ja ohjelman vuokaavio liitteestä 3.

6.2 Lopullinen ohjelmisto

Lopullinen ohjelmisto jakaantuu kahteen osioon, pääohjelmaan tehtyihin muutoksiin ja varsinaiseen energiankulutusaliohjelmaan. Pääohjelma kutsuu energiankulutusaliohjelmaa ja syöttää sille sen tarvitsemat muuttujat. Pääohjelma saa omat muuttujat siihen tulevasta mittausdatasta. Esimerkkinä kuvassa 9 on kyykkyharjoitteen kokonaisdata, jonka alussa näkyy referenssiliike ja sen jälkeen seuraavat kyykkyharjoitteen toistot. Pääohjelma laskee harjoitteiden toistojen määrän, joka siirretään globaalilla muuttujalla kalorinkulutusaliohjelmaan.



KUVA 9. Esimerkki kyykkyharjoitteen kokonaisdatasta. Referenssiliike on nähtävissä noin 300. näytepisteen (indeksin) kohdalta, jonka jälkeen toistot kestävät reiluun 1200 näytepisteeseen asti. Alussa on käynnistyksestä johtuva häiriöpiikki. Esimerkkisignaalin lopussa on kokeellista liikettä (näytepisteet 1200–1800).

Pääohjelma antaa muuttujina toistojen määrän ja liikkeen valinnan (kuva 10). Kuvassa 10 näkyy rivillä 770 funktio, jolla viedään muuttujat aliohjelmaan. Tällä hetkellä maksimivoimamittari tunnistaa liikkeen ainoastaan manuaalisesti syöttämällä. Tämän takia lisäsimme kuvassa 10 näkyvän liikkeen valinnan pääohjelmaan (rivit 733–763).


```

733 - valinta=0;
734 while (valinta == 0)
735
736     disp('=====');
737     disp('1 = Hauiskaanto');
738     disp('2 = Kyykky');
739     disp('3 = Penkkipunnerrus');
740     disp('4 = Ridge Forrester'); % ylätalja
741     disp('=====');
742     valinta=input('Anna suoritettava liike: ');
743
744     switch valinta
745     case 1
746         valinta = 1;
747         'Valitsit analysoitavaksi liikkeeksi hauiskaannon.'
748     case 2
749         valinta = 2;
750         'Valitsit analysoitavaksi liikkeeksi kyykyn.'
751     case 3
752         valinta = 3;
753         'Valitsit analysoitavaksi liikkeeksi penkkipunnerruksen.'
754     case 4
755         valinta = 4;
756         'Valitsit analysoitavaksi liikkeeksi Ridge Forresterin.'
757
758     otherwise
759         'Annoit virheellisen syötteen. Ole hyvä ja syötä kelvollinen luku.'
760         valinta = 0;
761     end
762
763 end
764
765 disp(' (Jatka painamalla mitä tahansa näppäintä.) ');
766 pause;
767
768 TOISTOJEN_LUKUMAARA
769
770 [W]=perusmalli_vol4(TOISTOJEN_LUKUMAARA, valinta);
771

```

KUVA 10. Liikkeen valinta pääohjelmassa ja muuttujien vienti aliohjelmaan

Kalorinkulutuslialiohjelmassa ensimmäisenä alustetaan muuttujat ja määritetään vakio muuttujat. Nostotyön määrittämiseksi tarvitaan putoamiskiihtyvyys, ja jotta voisi muuttaa nostotyöstä saadut joulet kilokaloreiksi, siihen pitää määrittää muunnoskerroin 0,000239005736 kcal/J. Pääohjelmasta saadun liikkeenvalintamuuttujan avulla määritetään käytettävä hyötysuhde. Liikkeet on jaettu ylä- ja alavartalolla tehtäviin liikkeisiin, joille molemmille on määrätty oma hyötysuhde. Tämä toteutetaan aliohjelmassa (kuva 11) if-else-rakenteella.

```

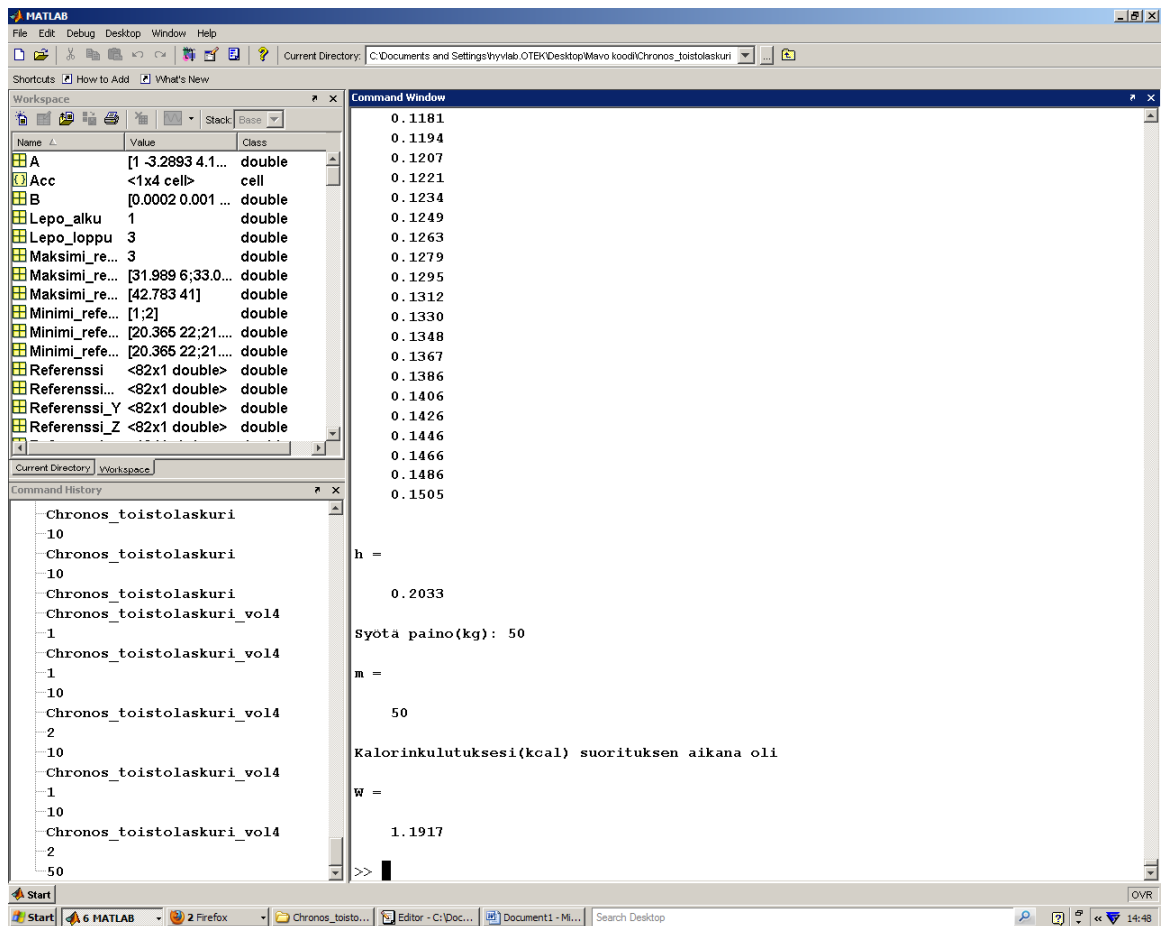
%Hyötysuhteen valinta
if (valinta == 2)
    kaskivakio=0.3           %alavartalon hyötysuhde 30%
else
    kaskivakio=0.09        %ylävartalon hyötysuhde 9%
end

```

KUVA 11. Hyötysuhteen valinta aliohjelmassa

Aliohjelmassa määritetään suoritettavan liikkeen nostokorkeus kysymällä käyttäjältä nostettava korkeus metreissä. Käyttäjää pyydetään myös syöttämään oma paino kilogrammoina, koska sitä tarvitaan kyykkyharjoitteen energiankulutuksen laskemiseksi. Kyykkyharjoitteen vastuksen määrään vaikuttaa nostopainon lisäksi henkilön oma paino, joka täytyy ottaa huomioon harjoitteessa (85 % kehon kokonaispainosta). Nostettava kehon paino on laskettu segmenttianaalysin avulla, käyttäen alan kirjallisuudessa esiintyviä kehon segmenttien individuaalisia painoja. (15, s. 48.)

Kuvassa 12 aliohjelma kysyy käyttäjältä nostettavan painon kilogrammoina. Varsinainen nostotyö lasketaan kahdessa osassa, sekä eksentriselle että konsentriselle lihastyölle. Näistä muodostetaan lopullinen kalorinkulutus nostokertojen mukaan kuvan 13 osoittamalla tavalla. Nostotyön kalorinkulutus on jaettu kahteen osaan, koska eksentrisessä lihastyössä kuluu yleensä arviolta puolet vähemmän energiaa, kuin konsentrisessä lihastyössä. Esimerkki Matlabin antamasta lopputuloksesta näkyy kuvassa 12.



KUVA 12. Matlab-näkymä. Kyykyssä (50 kg, 10 toistoa) kulutukseksi saatiin 1,1917 kcal.

```

%Nostotyön laskeminen
W1=( (m*g*h*x)/kaskivakio)*k;           %konsentrisen vaihe
W2=( ( (m*g*h*x) /kaskivakio)*k)*0.5;   %eksentrisen vaihe

disp('Kalorinkulutuksesi(kcal) suorituksen aikana oli')
W=W1+W2                                  %suorituksen
kokoaiskulutus

```

KUVA 13. Nostotyön laskeminen

7 TULOSTEN VERTAILU

Laaditun energiankulutusohjelmiston tuloksia penkkipunnerruksessa ja kyykkyharjoitteessa verrattiin sykemittarilla, hapenkulutuksella ja MET-taulukon arvoilla saatuihin vastaaviin tuloksiin. Kaikissa menetelmissä käytettiin toisiinsa vertailtavia harjoitusvasteita, jotta tulokset olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia keskenään. Vertailua painotettiin sykemittariin, koska sen käytötapa on lähinnä MST-mittaria ja kaupallisesti se on samoilla markkinoilla. Sykemittaritestit suoritti kaksi miespuolista testihenkilöä. Taustoiltaan testihenkilöiden kuntosaliharjoittelu poikkesi paljon. Testihenkilö 1 (27 vuotta) on harrastanut kuntosaliharjoittelua säännöllisesti useamman vuoden, kun taas testihenkilö 2 (26 vuotta) ei ole juurikaan harrastanut kuntosaliharjoittelua. Valitessamme testihenkilöitä halusimme saada taustoiltaan kaksi erilaista vertailukohdetta, jotka edustaisivat kahta ääripäätä. Testitulokset ovat esitelty luvun 7.5 taulukoissa 4, 5 ja 6.

7.1 Energiankulutusohjelmisto

Energiankulutusohjelmistossa simuloitiin penkkipunnerrus- ja kyykkyharjoite, joista saatujen arvojen perusteella tehtiin vertailutaulukot (taulukko 4,5 ja 6). Muilla menetelmillä saatuja tuloksia vertailtiin energiankulutusohjelmistolla saatuihin tuloksiin.

Esimerkki energiankulutusohjelmiston tuloksesta on laskettu kaavalla 10, jossa m on massa, g on putoamiskiihtyvyys, h on korkeus, x on toistojen määrä, η on hyötysuhde ja k on muuntokerroin.

$$W = ((mghx)/\eta) * k + ((mghx)/\eta) * k * 0,5 \quad \text{KAAVA 10}$$

Esimerkki taulukon 4 energiankulutuksen laskemisesta: massa 50 kg, nostokorkeus 0,37 m ja toistojen lukumääränä 150. Nostokorkeus on saatu mittamalla vertailuhenkilön punnerruksen korkeus penkistä. Hyötysuhde on ylävar-

talon hyötysuhde 9 %, putoamiskiihtyvyyys $9,81 \text{ m/s}^2$, muunnoskerroin $0,000239005736 \text{ kcal/J}$.

$$W = ((50 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,37 \text{ m} * 150) / 0,09) * 0,000239005736 \frac{\text{kcal}}{\text{J}} +$$
$$((50 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,37 \text{ m} * 150) / 0,09) * 0,000239005736 \frac{\text{kcal}}{\text{J}} * 0,5$$

$\approx 108 \text{ kcal}$

Toistomäärä on arvioitu 20 minuutin intensiiviseen penkkipunnerrusharjoitukseen. Sarjojen välillä on noin yhden minuutin palautumisjaksot ja toistot on tehty 10:n sarjoissa. Vastaavissa vertailuissa kaavan muuttujat muokattiin testihenkilöiden ominaisuuksia ja suoritusta mallintavaksi.

Taulukon 5 ja 6 energiankulutusohjelmiston tulokset on laskettu käyttämällä samaa kaavaa (kaava 10), ainoastaan muuttamalla tarvittavat muuttujat. Kyykkyharjoitteen nostopainoon lisättiin 85 % henkilön omasta painosta. Kyykkyharjoitteessa alavartalon hyötysuhde oli 30 %.

7.2 Sykemittari

Sykemittarin energiankulutuksen laskenta ei varsinaisesti sovellu anaerobiseen harjoitteluun, koska syke ei vastaa harjoitteen intensiteettiä. Raskaan anaerobisen harjoitteen energiankulutus ilmenee suurelta osin harjoituksen jälkeisenä aineenvaihdunnan kasvamisena (EPOC).

Vertailusuorituksissa pyrittiin tekemään pitkiä harjoitteita, jotta syke pystyisi seuraamaan harjoitetta mahdollisimman hyvin. Vertailuja tehtiin kahdella eri testihenkilöllä, jolloin mittauksiin saatiin mukaan myös yksilölliset vaihtelevuudet. Mittaukset pyrittiin standardisoimaan hyvin, jotta vertailtavuus olisi mahdollisimman hyvä suoritusten välillä.

Sykemittarilla tehtyjä kalorinkulutusmittauksia suoritettiin Suunto t1c Black Pattern -sykemittarilla ja Suunto t6 -sykemittarilla. Vertailtaviksi liikkeiksi valitsimme

penkkipunnerruksen ja kyykyn, koska ne ovat selkeimmät nostotyötä suorittavat liikkeet sekä ylä- että alaraajojen osalta.

Esimerkki taulukon 4 penkkipunnerrusharjoitteesta 1: nostopainona oli 50 kg ja suorituksen kesto oli noin 20 minuuttia. Toistot suoritettiin 10:n sarjoissa ja lepoaika oli noin yksi minuutti sarjojen välissä. Yhteensä sarjoja tehtiin 15 kpl ja kalorinkulutukseksi saatiin 98 kilokaloria.

7.3 Hapenkulutus

Robergsin ym. (2007) tekemässä tutkimuksessa voimaharjoittelun energiankulutusta nostotyössä pyrittiin mittaamaan hapenkulutuksen avulla. Tutkimustyön tuloksena saatiin regressioyhtälöt penkkipunnerrukseen ja jalkakyykkyyn (kaavat 8 ja 9).

Esimerkki taulukon 4 hapenkulutuksen avulla laskettavasta energiankulutuksesta penkkipunnerruksesta, jossa käyttäjä punnertaa penkistä 50 kg 37 cm:n korkeuteen.

$$Y = 0,132 \frac{\text{l}}{\text{min}} + 0,031 \frac{\text{l}}{\text{min} * \text{kg}} * 50 \text{ kg} + 0,01 \frac{\text{l}}{\text{min} * \text{cm}} * 37 \text{ cm}$$
$$\approx 2,1 \text{ l/min}$$

Regressiokaavalla saadaan suoritusten teoreettinen hapenkulutus, $\dot{V}O_2$ minuutissa. Yhden happilitran polttama energian määrä j vaihtelee vain vähän (4,686–5,047 kcal / 1 l O_2) ja riippuu pääasiassa hiilihydraattien ja rasvojen suhteesta. (21. s. 1–2.)

Lopullinen kalorinkulutus esimerkkiharjoitteessa laskettiin kertomalla hapenkulutus happilitran polttamalla energiamäärällä (5 kcal / 1 l O_2) ja tämä kerrottiin vielä kulutetulla ajalla t .

$$W = Y * j * t = 2,1 (\text{l} * \text{min}^{-1}) * 5 (\text{kcal}/\text{l}O_2) * 20 \text{ min}$$
$$\approx 210 \text{ kcal}$$

Hapenkulutuksen avulla kalorinkulutukseksi 20 minuutin penkki-punnerruksessa saatiin noin 210 kcal.

Luvun 7.5 taulukossa 5 hapenkulutuksen avulla saadut tulokset on laskettu käyttämällä kaavaa 8, ainoastaan muuttamalla tarvittavat muuttujat. Luvun 7.5 taulukossa 6 kyykkyharjoitteiden hapenkulutuksella saadut arvot on laskettu kaavalla 9.

7.4 MET-taulukot

MET-arvot otettiin kattavasta Barbara Ainsworthin laatimasta perusaineenvaihdunnan taulukosta (liite 1). Perusaineenvaihdunta arvioitiin World Health Organisationin yleisesti hyväksytystä taulukosta (taulukko 3). Koska halusimme vain suoritteeseen kuluneen kalorimäärän, vähensimme perusaineenvaihdunnan osuuden lopputuloksesta. Näin MET-arvoilla saatu tulos on paremmin vertailtavissa energiankulutusohjelmistoon.

TAULUKKO 3. Perusaineenvaihdunnan(MJ/vrk) ennusteyhtälöt (WHO, 1985) (2, s. 83)

Ikä (v)	Pojat/Miehet	Tytöt/Naiset
<3	0,2490 * paino - 0,13	0,2440 * paino + 0,13
4–10	0,0950 * paino + 2,11	0,0850 * paino + 2,03
11–18	0,0740 * paino + 2,75	0,0560 * paino + 2,90
19–30	0,0640 * paino + 2,84	0,0615 * paino + 2,08
31–60	0,0485 * paino + 3,67	0,0364 * paino + 3,47
61–75	0,0499 * paino + 2,93	0,0386 * paino + 2,88
>75	0,0350 * paino + 3,43	0,0410 * paino + 2,61

Esimerkki taulukon 3 MET-arvoilla lasketun energiankulutuksen tulos on arvio 27-vuotiaan ja 73 kiloa painavan miehen 20 minuutin raskaasta painonnostosta. MET-kertoimena harjoitteessa käytimme arvoa 6,0, joka vastaa raskasta harjoitusintensiiteettiä painonnostossa.

Perusaineenvaihdunta vuorokautta kohti:

$$MET_{24h} = 0,064 * 73 \text{ kg} + 2,84 = 7,5 \frac{\text{MJ}}{\text{vrk}}$$

Perusaineenvaihdunta 20 minuuttia kohti:

$$MET_{20min} = (7,5 \frac{\text{MJ}}{\text{vrk}}) / 24 \text{ h} / 3 = 104 \text{ kJ}$$

Harjoitteen aikana kulunut energiamäärä kilokaloreina:

$$W = 104 \text{ kJ} * 6,0 * 0.000239005736 \frac{\text{kcal}}{\text{J}} \approx 149 \text{ kcal}$$

Lopullinen harjoitteessa kulunut energia saatiin vähentämällä perusaineenvaihdunta (1 MET) harjoitteen aikana kuluneesta energian määrästä. Tällöin tulokseksi saatiin noin 124 kcal.

Taulukon 5 MET-arvolla laskettu energiankulutuksen tulos on arvio 26-vuotiaan ja 71 kiloa painavan miehen 20 minuutin raskaasta painonnostosta. MET-kertoimena harjoitteessa on käytimme arvoa 6,0, joka vastaa raskasta harjoitusintensiteettiä painonnostossa.

Taulukon 6 MET-arvolla laskettu energiankulutuksen tulos on arvio 27-vuotiaan ja 73 kiloa painavan miehen 20 minuutin kevyestä painonnostosta. MET-kertoimena harjoitteessa on käytimme arvoa 3,0, joka vastaa kevyttä harjoitusintensiteettiä painonnostossa.

7.5 Vertailutulokset

Saadut vertailutulokset poikkeavat toisistaan taulukkojen 4, 5 ja 6 osoittamilla tavoilla. Taulukoissa käytetyt harjoitusvasteet olivat samoja. Menetelmiä vertailaan energiankulutusohjelmistolla saatuihin tuloksiin.

TAULUKKO 4. Energiankulutuksen vertailu penkkipunnerruksessa, nostopaino 50 kg, nostokorkeus 0,37 m ja toistojen määrä 150 kpl, ajallisesti noin 20 minuuttia

Mittaustapa	Tulos	Absoluuttinen ero verrattuna nostotyöhön	Prosentuaalinen ero verrattuna nostotyöhön
Energiankulutusohjelmisto	108 kcal	-	-
Sykemittari 1*	98 kcal	-10 kcal	-9 %
Sykemittari 2*	86 kcal	-22 kcal	-20 %
Sykemittari 3*	90 kcal	-18 kcal	-17 %
Hapenkulutus	210 kcal	102 kcal	94 %
MET	124 kcal	16 kcal	15 %

* Harjoitteen suoritti testihenkilö 1

** Harjoitteen suoritti testihenkilö 2

TAULUKKO 5. Energiankulutuksen vertailu penkkipunnerruksessa, nostopaino 30 kg, nostokorkeus 0,40 m ja toistojen määrä 110 kpl ja lisäksi 20 kg toistoja 40 kpl, ajallisesti yhteensä noin 20 minuuttia

Mittaustapa	Tulos	Absoluuttinen ero verrattuna nostotyöhön	Prosentuaalinen ero verrattuna nostotyöhön
Energiankulutusohjelmisto	64 kcal	-	-
Sykemittari 1**	125 kcal	61 kcal	95 %
Sykemittari 2**	148 kcal	84 kcal	131 %
Sykemittari 3*	48 kcal	-16 kcal	-25 %
Hapenkulutus	135 kcal	71 kcal	111 %
MET	123 kcal	59 kcal	92 %

* Harjoitteen suoritti testihenkilö 1

** Harjoitteen suoritti testihenkilö 2

TAULUKKO 6. Energiankulutuksen vertailu kyykkyharjoitteessa, nostopaino 20 kg, nostokorkeus 0,50 m ja toistojen määrä 120 kpl, ajallisesti noin 20 minuuttia

Mittaustapa	Tulos	Absoluuttinen ero verrattuna nostotyöhön	Prosentuaalinen ero verrattuna nostotyöhön
Energiankulutusohjelmisto	57 kcal	-	-
Sykemittari 1**	153 kcal	96 kcal	168 %
Sykemittari 2**	139 kcal	82 kcal	144 %
Sykemittari 3*	120 kcal	63 kcal	111 %
Sykemittari 4*	107 kcal	50 kcal	88 %
Hapenkulutus	211 kcal	154 kcal	270 %
MET	50 kcal	-7 kcal	-12 %

* Harjoitteen suoritti testihenkilö 1

** Harjoitteen suoritti testihenkilö 2

Taulukon 4 harjoitus oli suhteellisen raskas intensiteetiltään. Sykemittareilla saadut energiankulutuslukemat olivat vertailujoukon pienimmät, mutta ne vastasivat hyvin energiankulutusohjelmiston antamia tuloksia. Hapenkulutuksen avulla saatu tulos ei vastaa energiankulutusohjelmiston tulosta. MET-arvoilla saatu tulos vastaa melko hyvin ohjelmiston tulosta.

Taulukossa 5 on taustoiltaan kaksi erilaista kuntosaliharjoittelijaa. Sykemittarilla saadut tulokset poikkeavat paljon henkilöiden välillä, mikä selittyy poikkeavista harjoitustaustoista sekä henkilöiden välisistä individuaalisista tekijöistä. Hapenkulutuksen ja MET-arvojen perusteella saadut energiankulutukset poikkeavat paljon, noin kaksinkertaisesti, energiankulutusohjelmiston tuloksista.

Taulukossa 6 on vertailtu kyykkyharjoitteiden tuloksia eri menetelmillä. Sykemittarilla tehdyt vertailuharjoitteet suoritti kaksi testihenkilöä. Energiankulutusohjelmiston ja hapenkulutuksen avulla lasketuissa energiankulutuslukemissa on huomioitu käyttäjän oma paino. Energiankulutusohjelmiston antama tulos on noin kaksinkertainen verrattuna sykemittarin tuloksiin, ja lähes kolminkertainen hapenkulutuksen avulla laskettuun lukemaan. MET-arvo vastaa tässä vertailussa hyvin energiankulutusohjelmistolla laskettua energiankulutusta.

8 POHDINTA

Nykyisillä menetelmillä kalorien tarkka laskenta on haastavaa tosielämän tilanteissa. Tarkkaan mittaamiseen tarvitaan laboratorio-olosuhteita. Tämän vuoksi energiankulutuksen mittauksista saatavat tulokset ovat aina suuntaa antavia. Energiankulutuksen mittauksessa esiintyy paljon epävarmuustekijöitä, jotka vaikeuttavat tarkkojen ja johdonmukaisten tulosten saamista. Anaerobiseen voimaharjoitteluun ei ole kehitetty vielä tarkkaa menetelmää mitata energiankulutusta.

EPOCin takia energiakulutuksen laskeminen pelkästään nostotyöstä ei ole mielekäästä. Voimaharjoittelun aikana syntyvä energiavaje korjaantuu harjoittelun jälkeen, mikä ilmenee kohonneena aineenvaihduntana, jolloin energiankulutus on huomattavasti perusenergiankulutusta korkeammalla. Jos energiankulutus lasketaan pelkästään nostotyön avulla, se vääristää kokonaiskulutusta pienemmäksi.

Voimaharjoittelussa tapahtuvat suoritukset ovat pitkälti tekniikkaan perustuvia suorituksia. Tekniikka määrää, kuinka hyvällä hyötysuhteella liikkeen pystyy suorittamaan. Harjoittelun myötä hyötysuhde nousee tekniikan parantuessa. Osasyynä yksilöitten hieman poikkeaviin energiankulutuslukemiin on tekniikka, jolloin eri henkilöt voivat saada samoilla vastuksilla eri energiankulutuslukemat. Energiankulutusohjelmistossa yksilöiden välisiä hyötysuhde-eroja on vaikea erotella, joten ohjelmistossa on käytetty ylä- ja alavartalolle yleisiä hyötysuhdearvoja. Aliohjelman hyötysuhdearvot kuvastavat harjoittelemattoman henkilön hyötysuhdetta.

Tarkkoja energiankulutustuloksia haluttaessa täytyy tarkastella ihmistä kokonaisuutena ja ottaa huomioon kaikki kehon lihakset ja muut osatekijät. Energiaa kuluu sitä enemmän, mitä useampi lihasryhmä on aktivoituneena. Perusfysiikkaan pohjautuvassa tarkastelussa ei oteta huomioon työsuoritustapaa. Esimerkkinä peruspunnerruksessa aktivoituu paljon eri lihasryhmiä pääsuorittajalihasten lisäksi.

Tulosten vertailussa sykemittarilla syntyneet erot energiankulutusohjelmistoon selittyvät oletettavasti sillä, että syke ei pysty seuraamaan anaerobisessa harjoitteessa tapahtuvia intensiteetin muutoksia. Sykkeen muutoksiin vaikuttavat paljon henkilön harjoitustaustat. Harjoitelleella henkilöllä sydämen pumppaama veren määrä lisääntyy ensisijaisesti kasvattamalla sydämen iskutilavuutta, kun harjoittelemattomalla henkilöllä se tapahtuu sykkeen nousulla. Testihenkilöiden nostotekniikat olivat hyvin erilaisia, joka vaikuttaa suorituksen taloudellisuuteen. Nämä voivat olla osasyinä testihenkilöiden sykkeiden eroihin ja kalorinkulutuslukemiin. Energiankulutusohjelmistolla saadut tulokset näyttäisivät vastaavan paremmin tottuneen kuntosaliharjoittelijan energiankulutuslukuihin, erityisesti raskailla nostopainoilla.

Robergsin ym. (2007) tutkimuksessa julkaistun hapenkulutuslaskukaavan avulla saaduksi energiankulutukseksi saatiin oletettua suurempia tuloksia. Robergsin kaavassa on otettu huomioon harjoittelun jälkeinen aineenvaihdunnan kasvu (EPOC). Esimerkiksi taulukon 4 tulos on osittain vertailukelpoinen nostotyöstä saatuun energiankulutukseen, kun otetaan huomioon Bentonin ym. (2009) tutkimus, jossa todettiin voimaharjoittelun jälkeisen energiankulutuksen kohoavan kahden tunnin ajalta noin 130 kcal.

MET-arvoilla saadut tulokset olivat kokonaisvaltaisia arvioita päivittäisestä kokonaisenergiankulutuksesta, joista johdettiin energiankulutuslukemat vastaamaan vertailuharjoitteita. MET-arvot seurasivat osittain sykkeen avulla saatuja tuloksia, mutta tulokset vaihtelivat jonkin verran. Harjoitteen intensiteetin arviointi on henkilökohtaista, jolloin se voi muuttaa MET-arvojen avulla saatuja tuloksia.

Taulukon 6 kyykkyharjoitteet tehtiin kevyillä painoilla, jolloin harjoite oli kevyt ja lähes aerobinen harjoite ja sykkeet nousivat korkealle. Kalorinkulutusohjelmiston tulokset olivat pienempiä kuin sykemittarilla ja hapenkulutuksen avulla saadut tulokset. Kyykkyharjoitteessa MET-arvoilla saatu tulos vastasi hyvin energiankulutusohjelmiston tulosta, joka oletettavasti johtuu siitä, että kevyttä harjoituksen intensiteettiä on helpompi arvioida subjektiivisesti kuin raskasta. Näyttäisi, että ohjelmiston avulla saadut kalorinkulutuslukemat vastaisivat pa-

remmin kohtalaisilla ja raskailla tehtyihin harjoitteisiin, eli suuremmilla nostopainoilla.

Olimme etukäteen hyvin skeptisiä mahdollisuuksista laskea energiankulutusta nostotyön avulla. Olemme törmänneet opinnoissamme seikkoihin, jotka antavat ymmärtää, että energiankulutuksen mittaaminen anaerobisessa harjoittelussa on todella haastavaa. Olimmekin positiivisesti yllättyneitä laatimamme energiankulutusohjelmiston antamista tuloksista. Tulokset ovat suuntaa-antavia voimaharjoittelun aikana tapahtuvasta energiankulutuksesta, vaikka eroja esiintyi eri mittaus- ja arviointimenetelmien välillä. Täytyy kuitenkin muistaa, että yksittäisten menetelmienkin tulosten välillä esiintyy vaihtelua. Eksentrisen ja konzentrisen lihastyön huomioonottaminen sekä hyötysuhteen lisääminen ohjelmistoon mahdollistivat järkevät tulokset.

Opinnäytetyömme toimii hyvänä alkuna nostotyön avulla arvioitavan energiankulutuksen määrittämiseen. Tulosten vertailua tulisi suorittaa enemmän erilaisilla henkilöillä, esimerkiksi naisilla ja vanhuksilla, jolloin saataisiin parempaa ja kattavampaa vertailupohjaa. Saataessa riittävä vertailupohja, energiankulutusohjelmiston muuttujia pystyttäisiin muokkaamaan siten, että tulokset vastaisivat paremmin todellista energiankulutusta. Erityisesti huomiota tulisi kohdistaa hyötysuhteen määrittämiseen alaraajoissa sekä kevyiden vastusharjoitteiden korjauskertoimiin. Tällä hetkellä nostotyön avulla laskettu energiankulutus on etenkin kevyillä vastuksilla liian pientä.

MST-mittari on kokenut suuria kehitysaskelia tämän opinnäytetyön teon aikana. MST-mittariin on tullut ominaisuuksia, jotka mahdollistavat luotettavan nostokorkeuden määrittämisen kiihtyvyyksien avulla. Koska ohjelmiston laatimisen alussa tätä ominaisuutta ei ollut, laaditusta ohjelmistosta jäi pois nostokorkeuden määrittäminen. Ohjelmiston laatimisen aikana MST-mittarin pääohjelmasta saatiin vain luotettavasti toistojen määrä ja liikkeen valinta. Jatkossa pääohjelmasta tullaan saamaan myös käyttäjän tiedot sekä liikkeen kiihtyvyydatat.

Opinnäytetyön tutkimusosiota tehdessämme törmäsimme ongelmaan löytää aihetta käsittelevää kirjallisuutta. Voimanharjoitteluun liittyvää energiankulutus-

ta on käsitelty vähän kirjallisuudessa. Suurin osa voimaharjoitteluun ja energiankulutukseen liittyvistä materiaaleista koostui englanninkielisistä tieteellisistä artikkeleista sekä aiheita käsittelevästä kirjallisuudesta. Harva teos käsitteli suoraan tutkimaamme aihetta, joten jouduimme yhdistelemään tietoa eri lähteistä.

Voimaharjoittelun tarkoituksena yleensä on hypertrofia ja voimatason kasvattaminen. Hyvin harvoin voimaharjoittelulla pyritään systemaattiseen kalorinkulutukseen ja energiankulutuksen hallintaan. MST-mittari on kokonaisuudessaan oiva apu voimaharjoittelun seurantaan, mutta emme usko kalorinkulutuslaskurin tuovan suurta lisäarvoa voimaharjoittelijoille. Kalorinkulutuslaskuri on kuitenkin mielenkiintoinen lisä MST-mittarin toimintoihin.

LÄHTEET

1. Hiltunen, E. – Holmberg, P. – Jyväsjärvi, E. – Kaikkonen, M. – Lindblom-Yläne, S. – Nienstedt, W. – Wähälä, K. 2007. Galenos ihmiselimityö kohtaa ympäristön. 8., uudistettu painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
2. Vuori, I. – Taimela, S. – Kujala, U. 2005. Liikuntalääketiede. 3., uudistettu painos. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.
3. Saksala, P. – Somerharju, L. 2010. Sosiaali- ja terveystieteiden fysiikka & kemia. Helsinki: Edita Prima Oy.
4. Inkinen, P. – Tuohi, J. 2002. Momentti 1 Insinöörifysiikka. Helsinki: Ota-va.
5. Wikipedia. 2011. Vapaa tietosanakirja. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org>. Hakupäivä 1.2.2011.
6. Robertson, D.G.E. – Caldwell, G. – Hamill, J. – Kamen, G. – Whittlesey, S.N. 2004. Research Methods in Biomechanics. USA: Human Kinetics Publishers.
7. Wilmore, J.H. – Costill, D.L. 2004. Physiology of Sport and Exercise. 3rd Edition. USA: Human Kinetics Publishers.
8. Melanson, E.L. – Dykstra, J.C. – Szuminsky, N. 2009. A Novel Approach for Measuring Energy Expenditure in Free-Living Humans. 31st Annual International Conference of the IEEE EMBS. Minneapolis, Minnesota, USA.
9. Tudor-Locke, C. – Bassett, D.R.Jr. 2004. How Many Steps/Day are Enough? Preliminary Pedometer Indices for Public Health. Sports Medicine Volume 34, Number 1.

10. Ingalsuo, P. 2007. Diodilasertekniikan soveltuvuus hengityskaasuanalysointorin kaasumittauksiin. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro gradu -tutkielma.
11. Benton, M.J. – Swan, P.D. 2009. Influence of Resistance Exercise Volume on Recovery Energy Expenditure in Women. *European Journal of Sport Science*. Volume 9, Number 4, Pages 213–218.
12. HYTKE uudet teknologiat. Saatavissa: <http://www.oamk.fi/~manneha/>. Hakupäivä 20.3.2011.
13. Haapasaari, A. 2008. Voimaharjoittelun sekä yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset lihasaktivaatioon, maksimivoimaan ja räjähtävään voimaan keski-ikäisillä miehillä ja naisilla. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro gradu-tutkielma.
14. Fleck, S.J. – Kraemer, W.J., 2004. *Designing Resistance Training Programs*. 3rd Edition. USA: Human Kinetics.
15. Enoka, R.M. 2002. *Neuromechanics of Human Movement*. 3rd Edition. USA: Human Kinetics.
16. De Looze, M.P. – Toussaint, H.M. – Commissaris, D.A. – Jans, M.P. – Sageant, A.J. 1994. Relationships Between Energy Expenditure and Positive and Negative Mechanical Work in Repetitive Lifting and Lowering. *Journal of Applied Physiology*. Volume 77, Number 1, Pages 420–426.
17. Merletti, R. – Parker, P.A. 2004. *Electromyography: Physiology, Engineering, and Noninvasive Applications*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
18. Ojanen, T. 2005. Hermolihasjärjestelmän suorituskyky 40-, 50-, 60-, 75-vuotiailla yleisurheilu veteraaniheittäjillä. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, Liikuntabiologian laitos. Pro gradu-tutkielma.

19. Nopeusvoima. Saatavissa:
<http://users.jyu.fi/~jthyvama/lentis/nopeusvoima.htm>. Hakupäivä
24.1.2011.
20. Tohtori.fi. Kehon ja liikunnan seuraaminen. Saatavissa:
<http://www.tohtori.fi/?page=7481805&id=6071348>. Hakupäivä
24.1.2011.
21. Robergs, R.A. – Gordon, T. – Reynolds, J. – Walker, T.B. 2007. Energy Expenditure During Bench Press and Squat Exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Volume 21, Number 1, Pages 123–130.
22. Pullinen, T. 2010. LBIY001 Liikuntabiologian perusteet, 3 op. Opintojakson luentomateriaali syksyllä 2010. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos.
23. Salmi, U. 2007. Maksimaalisen rasvan hapettumispisteen (Fatmax-pisteen) päivittäminen vaihtelu ja sen määrittäminen sykevälivaihtelun avulla. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu -tutkielma.

1993		2000		description
compcode	METS	compcode	METS	
01009	8.5	01009	8.5	bicycling, BMX or mountain
01010	4.0	01010	4.0	bicycling, <10 mph, leisure, to work or for pleasure (Taylor Code 115)
		01015	8.0	bicycling, general
01020	6.0	01020	6.0	bicycling, 10-11.9 mph, leisure, slow, light effort
01030	8.0	01030	8.0	bicycling, 12-13.9 mph, leisure, moderate effort
01040	10.0	01040	10.0	bicycling, 14-15.9 mph, racing or leisure, fast, vigorous effort
01050	12.0	01050	12.0	bicycling, 16-19 mph, racing/not drafting or >19 mph drafting, very fast, racing general
01060	16.0	01060	16.0	bicycling, >20 mph, racing, not drafting
		01070	5.0	bicycling, stationary, general
02010	5.0	02010	7.0	conditioning exercise
02011	3.0	02011	3.0	conditioning exercise, 50 watts, very light effort
02012	5.5	02012	5.5	conditioning exercise, 100 watts, light effort
02013	7.0	02013	7.0	conditioning exercise, 150 watts, moderate effort
02014	10.5	02014	10.5	conditioning exercise, 200 watts, vigorous effort
02015	12.5	02015	12.5	conditioning exercise, 250 watts, very vigorous effort
02020	8.0	02020	8.0	conditioning exercise
02030	4.5	02030	3.5	conditioning exercise
02040	8.0	02040	8.0	conditioning exercise
02050	6.0	02050	6.0	conditioning exercise
02060	5.5	02060	5.5	conditioning exercise
02065	6.0	02065	9.0	conditioning exercise
02070	9.5	02070	7.0	conditioning exercise
02071	3.5	02071	3.5	conditioning exercise
02072	7.0	02072	7.0	conditioning exercise
02073	8.5	02073	8.5	conditioning exercise
02074	12.0	02074	12.0	conditioning exercise
02080	9.5	02080	7.0	conditioning exercise
02090	6.0	02090	6.0	conditioning exercise
02100	4.0	02100	2.5	conditioning exercise
		02101	2.5	conditioning exercise
02110	6.0	02110	6.0	conditioning exercise
02120	4.0	02120	4.0	conditioning exercise
02130	3.0	02130	3.0	conditioning exercise
02135	1.0	02135	1.0	conditioning exercise
03010	6.0	03010	4.8	dancing
03015	6.0	03015	6.5	dancing
		03016	8.5	dancing
		03017	10.0	dancing
03020	5.0	03020	5.0	dancing
03021	7.0	03021	7.0	dancing
03025	4.5	03025	4.5	dancing
03030	5.5	03030	5.5	dancing
		03031	4.5	dancing
03040	3.0	03040	3.0	dancing
		03050	5.5	dancing
04001	4.0	04001	3.0	fishing and hunting
04010	4.0	04010	4.0	fishing and hunting

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Kalorimittari Maksimivoimalaitteeseen
%
% Koodaus: Esa Hongell & Matti Romppainen
% Koodaamisessa avustaneet: Arto Tiitto, Jukka Jauhiainen
% 28.4.2011
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Tuodaan muuttujat pääohjelmasta
function [W]=energialaskuri(x,valinta)

%Määritellään muuttujat

%Alustetaan muuttujat
W1=0;
W2=0;
W=0;
m=0;
h=0;
kaskivakio=0;

%Vakiomuuttujat
g=9.81; %Putoamiskiihtyvyyys
k=0.000239005736; %Muunnoskerroin jouleista kilokaloreiksi

%Syötettävät muuttujat
m=input('Syötä nostettava paino(kg): ');
m1=input('Syötä oma paino(kg): ');
h=input('Syötä nostokorkeus(m): ');

%Hyötysuhteen valinta
if (valinta == 2)
    kaskivakio=0.3 %alavartalon hyötysuhde 30%
    m=m1*0.85+m; %lisätään jalkaharjoitteisiin käyttäjän oma
    paino 85%
else
    kaskivakio=0.09 %ylävartalon hyötysuhde 9%
end

%Nostotyön laskeminen
W1=((m*g*h*x)/kaskivakio)*k; %konsentrisen vaihe
W2=((m*g*h*x)/kaskivakio)*k)*0.5; %eksentrisen vaihe

disp('Kalorinkulutuksesi(kcal) suorituksen aikana oli')
W=W1+W2 %suorituksen kokonaiskulutus

```

