

# Physiological Tests for Elite Athletes



Panu Moilanen - Tiivistelmä  
Jyväskylän yliopisto - 2008

## Maksimihapenoton määrittäminen

- Yleisin menetelmä maksimihapenoton suoraan testaamiseen on epäsuora kalorimetria, jossa mitataan keuhkotuuletuksen määrä ja verrataan sisään- ja uloshengitysilman hiilidioksidi- ja happipitoisuuksia. Kasvavassa kuormituksessa hapenkulutus ( $VO_2$ ) on lineaarisessa suhteessa tehtyyn työhön. Lopulta saavutetaan taso, jolla hapenkulutus ei kuitenkaan enää kasva työtehon (= kuormituksen) kasvamisesta huolimatta. Tämä taso on maksimihapenotto ( $VO_{2max}$ ).
  - Hapenottokyky yksilöillä hyvin vakaa, testien toistettavuus hyvä.
  - Fyysisten stressitekijöiden (mm. verenhukka, dehydraatio, lämpötila, kuume tai nälkiintyminen) eivät vaikuta tai vaikuttavat vain vähän mitattuun hapenottokykyyn. Ne vaikuttavat sen sijaan voimakkaasti sykkeeseen ja iskutilavuuteen, mistä johtuen submaksimaalisten, sykereaktioon perustuvien testien reliabiliteetti on em. tekijöiden vallitessa huono.
- Voidaan ilmoittaa joko absoluuttisena (l/min) tai suhteellisena (esim. l/min/kg). Suhteellinen hapenottokyky on perusteltu yksikkö tapauksissa, jossa testattava kannattaa omaa painoaan (esim. juoksu), mutta esim. soudussa absoluuttinen hapenottokyky on parempi mittari.
- Yksilöiden välinen vaihtelu erittäin suurta (esim. 20-30-vuotiailla miehillä 30-80 ml/kg/min).
- Maksimihapenottokyky laskee ikääntymisen ja fyysisen passiivisuuden seurauksena, miehillä tyypillisesti naisia korkeampi maksimihapenotto.
- Noin 40% maksimihapenottokyvyn vaihtelusta selittyy geneettisillä tekijöillä.
- Huippu-urheilijoilla maksimihapenotto on suhteellisen huono kilpailumenestystä selittävä tekijä johtuen muiden tekijöiden (mm. mekaaninen hyötysuhde, laktaattikynnykset, anaerobinen kapasiteetti ja motivaatio) huomattavasta merkityksestä.

### Maksimihapenoton määrittäminen

Testaustilan lämpötilan tulisi olla 18-23°C ja suhteellisen kosteuden < 70%.

#### *Testattava*

1. Testattavan on saatava tutustua käytettävään laitteistoon (ergometri ja sen mahdollinen hätäpysäytysmekanismi ja hengityskaasuanalysointila).
2. On varmistuttava siitä, että kaikki hengitys tapahtuu siten, että se tulee mitatuksi.
3. Testattavalla on oltava mahdollisuus ilmoittaa kaikissa tapauksissa halustaan lopettaa testi.
4. Testin jälkeen on huolehdyttävä riittävästä jäähdyttelystä veren pakkautumisen estämiseksi, laktaatin poiston helpottamiseksi ja pehmeäksi laskuksi rasittavasta fyysisestä suorituksesta lepoon. Jäähdyttely voidaan päättää, kun syke on 120.

#### *Maksimihapenoton kriteerit*

1. Tasanne hapenkulutuksessa kuormituksen kasvamisesta huolimatta
2. Hengitysosamäärän arvo > 1,10.
3. Viisi minuuttia fyysisen aktiivisuuden päättymisen jälkeen mitattu laktaatti 8 mmol/l.
4. Kohdat 2 ja 3 ovat pääkriteeriä (1) tukevia kriteerejä, jotka eivät vielä sinällään kerro, että maksimihapenotto on saavutettu.
5. Kuormaportaat tulisi valita siten, että testin inkrementaalinen osuus tulee suoritetuksi 8-12 minuutissa.
6. Jos maksimihapenottoa ei saavuteta, testattavaa pyydetään uuteen testiin parin päivä kuluttua. Uusi testi aloitetaan kolme kuormaporrasta edellisen testin lopetuskohtaa alemmaa. Uudessa testissä kuormaportaana käytetään 50% edellisen testin portaasta.
7. Kerättävä hengitysdata keskiarvoistetaan 60 sekunnin ajanjaksoille.

*Maksimihapenoton biologinen vaihtelu*

1. Mittaustulokseen vaikuttavat paitsi tekniset mittausvirheet niin myös testattavasta aiheutuva biologinen vaihtelu, jonka osuus mittauksien kokonaisvirheestä voi olla jopa 90%. Biologisella vaihtelulla tarkoitetaan sitä, että testattavan suoritus vaihtelee eri suorituskertojen välillä.
2. Laboratorion mittaustarkkuutta voidaan arvioida koehenkilöjoukon toistomittauksilla, joista lasketaan tekninen mittausvirhe (TEM). Se on suure, jonka avulla voidaan laboratorion mittausvirheen määrää.
3. Tyypillinen TEM korkeatasoiselle laboratoriolle on 2-6%.

## **Laktaatti ja laktaattikynnykset**

- Kynnykset
  - Anaerobinen kynnyks (AnK)
    - On maksimaalinen maitohapon eliminaatiotaso
    - On korkein energiankulutuksen ja kuormituksen taso, jolla veren laktaattipitoisuus ei vielä nouse jatkuvasti
    - Kuvaa maitohapon vereen tuottamisen ja verestä poistamisen suurinta mahdollista tasapainotilaa ja elimistön kykyä estää happamuuden lisääntyminen
    - Määritetään suorassa testissä hengityskaasumuuttujien ja laktaatin avulla
    - Arvioiminen (esim. 90% maksimisyketasosta, 20 alle maksimisykkeen...)
    - On läheisesti yhteydessä kestävyysuorituskykyyn
  - Aerobinen kynnyks (AerK)
    - On korkein energiankulutuksen ja kuormituksen taso, jolla veren laktaattipitoisuus ei nouse yli perustason (lepotaso)
    - Kuvaa kykyä käyttää rasvoja suurella nopeudella niin, että lihasten ja maksan glykogeenivarastoja voidaan säästää
    - Määritetään suorassa testissä hengityskaasumuuttujien ja laktaatin avulla
    - Arvioiminen (esim. 20 alle AnK-sykkeen)

### Kuormien keston ja taukojen vaikutus laktaattikäyrään

- Pääsääntö: mitä pidempi kuorman kesto, sitä alempi anaerobinen kynnyks.
- Tyypillinen kuorman kesto on testeissä 3-5 minuuttia. Tämä on sovelias kuorman kesto maksimihapenoton määrittämiseen, mutta anaerobisen kynnyksen määrittämiseen sitä voidaan pitää liian lyhyenä.
- Sovelias kuorman kesto anaerobisen kynnyksen määrittämiseen on 5-7 minuuttia, koska vasta tällöin veren laktaattipitoisuuksissa saavutetaan tasanne (steady-state).
- Kuorman kesto tulee määritellä testin suorittamisen synn perusteella: kestävyysharjoittelun harjoitustehoja määrittäessä olisi syytä suosia ainakin 5 minuutin kuormia, koska itse harjoittelukin tapahtuu vakiointensiteetillä ("steady-state conditions").
- Kuormien välinen aika ("lepoaika") vaikuttaa sekin laktaattikäyrään. Taukojen pidetessä kynnyks siirtyy yleensä korkeammalle intensiteettitasolle => tauot tulisi minimoida, maksimikesto 1 min.
- Kuormia tarvitaan myös riittävä määrä, jotta laktaattikäyrä voidaan määrittää, yleensä riittää 5-8 kuormaa. Kuormien nostojen tulisi olla riittävän pieniä (vaikuttaa myös kynnyksen määrittämisen tarkkuuteen).

### Ympäristöön ja testaamiseen liittyvien tekijöiden vaikutus laktaattivasteeseen

- Laktaattivasteet ja määritetyt kynnykset ovat toistettavia standardiolosuhteissa.
- Tekijöitä, jotka vaikuttavat laktaattivasteeseen ovat
  1. Ympäristötekijät
    - a. Kuumuus – korkea lämpötila nostaa laktaattitasoja sekä levossa että rasituksessa
    - b. Kylmyys – aerobinen kynnyks siirtyy korkeammalle
    - c. Korkeus – submaksimaalisessa työssä laktaattitasot ovat sitä korkeampia, mitä korkeammalla merenpinnasta ollaan.
  2. Testattavaan liittyvät syyt
    - a. Lihasten glykogeenivarastot – kun varastot ehtyvät (joko ruokavaliosta tai rasituksesta johtuen), laktaattipitoisuus veressä laskee
      - i. Käyrän muoto ei muutu, vaan se siirtyy oikealle => kynnykset (ja kestävyysuorituskyky) yliarvioidaan. Tästä johtuen olisi syytä harkita testiä edeltävän ruokavali-  
on ja liikunnan vakioimista.

### Laktaattikäyrän muutosten tulkinta

- Laktaattiarvoja ja laktaattikäyrää voidaan tulkita kahdella tavalla a) subjektiivisesti käyrän tai raa-kadatan perusteella tai b) objektiivisesti käyttäen tilastollisia menetelmiä.
- Subjektiivinen tulkinta on huomattavasti yleisempää. Tähän liittyen yleisimmät käyrässä tapahtu-vat ja niiden merkitykset ovat
  - Käyrän siirtyminen *alas* ja/tai *oikealle* merkitsee aerobisen kapasiteetin paranemista
    - Suurempi tiettyä laktaattilukemaa vastaava teho tai pienempi laktaattilukema tietyllä teholla
  - Käyrän siirtyminen *ylös* ja/tai *vasemmalle* merkitsee aerobisen kapasiteetin heikkene-mistä
    - Pienempi tiettyä laktaattilukemaa vastaava teho tai suurempi laktaattilukema tietyllä teholla
  - Aerobisen kynnyksen siirtyminen korkeammalle intensiteetille merkitsee peruskestä-vyyden laajenemista
    - Laktaattikäyrän siirtyminen *oikealle* ja/tai *alas* ensimmäisten 3-4 kuorman aikana
    - Selitysmallina ajatus siitä, että rasvoja hapetetaan tehokkaammin ja aerobiset mekanismit toimivat tehokkaammin => laktaatin keräytyminen alkaa myöhem-min
  - Anaerobisen kynnyksen siirtyminen korkeammalle intensiteetille merkitsee vauhtikes-tävyyden laajenemista
    - Laktaattikäyrä siirtyy *oikealle* ja/tai *alas*.
    - Mahdollisia syitä laktaatin poistokyvyn paranemiseen tai puskuroinnin tehostumi-nen.
- Tilastomenetelmien (esim. erilaiset regressiomallit) avulla dataa voidaan käsitellä siten, että sub-jektiiviset tulokset on helpompi tehdä. Subjektiivinen tulkinta on kuitenkin aina ensisijainen esim. kynnyksen määrittämisessä.

**Huipputehon ja anaerobisen suorituskyvyn testaaminen**

- Nopeuskestävyyttä mitattaessa voidaan erottaa kaksi mitattavaa kokonaisuutta: a) anaerobinen suorituskyky ja b) anaerobinen aineenvaihdunta.
- Anaerobisen suorituskyvyn testaaminen on melko helppoa vakioituilla menetelmillä, mutta suorituskyvyn taustalla olevien fysiologisten ilmiöiden mittaaminen on huomattavasti vaikeampaa.
- Anaerobisen suorituskyvyn mittaaminen onnistuu parhaiten mittaamalla teho (tai nopeus) vakiokestoisessa (tai –pituisessa) suorituksessa erilaisilla ergometreillä tai lajisuorituksessa.
  
- MAOD (maximal accumulated oxygen deficit; happivaje) = ero hapentarpeen ja kulutetun hapen välillä. MAOD-mittausmenetelmän etuna on
  - aerobisen energiantuoton osuus voidaan eliminoida
  - korreloi hyvin biokemiallisten mittauksien kanssa
- Perusoletuksena (ja samalla rajoituksena) on se, että mekaaninen hyötysuhde supramaksimaalissa työssä on sama kuin submaksimaalisessa työssä
- MAOD:n yksilöllinen määrittäminen: submaksimaalisten kuormien avulla ekstrapoloidaan hapentarve supramaksimaaliseen työhön
  
- Testivaihtoehtoja / Anaerobiset testit
  - Juoksumattotestit
    - Maksimaalinen anaerobinen suorituskykytesti (MART)
  - Ergometritestit
    - Wingaten 30 s PP-ergometritesti (maailmanlaajuisesti käytetty)
    - 60 s PP-ergometritesti (Szägy & Cerebetiu 1974)
    - Käsiergometriversiot edellisistä
      - 30/60 s maksimifrekvenssillä (vastus 1/13-1/14 BW)
      - Lasketaan teho (W/kg) 5 s jaksoissa
      - Määritetään maksimiteho, keskimääräinen teho ja väsymisindeksi
      - Myös La voidaan mitata
  - Hyppelytestit
    - 15, 30, ja 60 s hyppelytestit
      - 15/30/60 s maksimiteholla hyppyjä 90° polvikulmasta
      - Lasketaan teho (W/kg) 15 s jaksoissa
      - Määritetään maksimiteho ja keskimääräinen teho
      - Myös La voidaan mitata
  - Lajinomaiset kenttättestit
    - Maksimaaliset
      - 1-3 maksimaalista 15-90 sekunnin suoritusta (esim. 150-600 m juoksut)
      - Mitataan matka/aika (+ La)
    - Submaksimaaliset
      - Lajinomainen nopeuskestävyysharjoitus
        - Arvioidaan taloudellisuutta eri osa-alueilla
        - Saadaan harjoitusvauhdit erilaisiin nopeuskestävyysharjoituksiin

*Toinen jako*

- Maitohapollinen nopeuskestävyys
  - Suoritusten kesto tyypillisesti 30-90 s
- Maitohapoton nopeuskestävyys
  - Suoritusten kesto tyypillisesti 4-15 s, toistoja paljon
  - Esim. 3 x 5 x 60 m / 2 min / 6 min (87-90-93%)
  - Mitataan La ja juoksuajat

## Voiman testaaminen

### Isometristen voimatestien huono validiteetti

- Isometrisissä lihastyössä supistuvan lihaksen pituus ei muutu. Tyypillinen isometrinen voimatesti on esimerkiksi voiman tuottaminen liikkumatonta kohdetta (esim. voimalevy) vastaan.
- Isometriset voimatestit ovat melko suosittuja, koska ne ovat
  - Standardoituja ja toistettavia
  - Yksinkertaisia
  - Helppoja toteuttaa
  - Eivät vaadi kallista välineistöä
- Isometristen voimatestien perusongelma on siinä, ettei "käytännön" lihastyö tyypillisesti ole isometristä, vaan dynaamista, venymis-lyhenemissyklin mukaista työtä, joissa myös lihaksen elastisen komponentin hyödyntämisellä on huomattava merkitys. Isometrisessä lihastyössä elastista komponenttia ei hyödynnetä.
  - Ts., isometrinen ja dynaaminen lihastyö poikkevat toisistaan mekaanisesti niin paljon, ettei isometrisillä testeillä voida luotettavasti mitata lihasten suorituskykyä niiden "todellisessa" käyttötilanteessa.
    - Elastisen komponentin hyödyntäminen
    - Isometrinen voimantuotto sitä suurempaa, mitä jäykempi lihas-jännekompleksi on. Jäykkyys ja elastisuus "vaihtoehtoisia" ominaisuuksia.
  - Myös lihaksen hermostollinen ohjaus on isometrisessä lihastyössä erilaista kuin dynaamisessa lihastyössä. Isometrisessä työssä lihaksen aktivaatiomalli on huomattavan erilainen: motorisia yksiköitä rekrytoidaan eri tavalla.

### Perinteiset isoinertiaalisen voiman testit

- Isoinertiaalisella voimalla tarkoitetaan tarkoitetaan vakiosuuruiseen kuormaan tuotettua voimaa. Kuorma voi olla esim. raaja tai ulkoinen kuorma. Kuorma on vakiosuuruinen nimenomaan suhteessa liikkeeseen.
- Maksimaalista isoinertiaalista voiman tuottoa testataan yleensä 1-3 RM toistotesteillä (esim. penkkipunnerrus ja jalkakyykky).
  - Perinteisin yhden toiston mittaus, useampi toisto vähentää loukkaantumisvaaraa
  - Vaikka kyseessä onkin dynaaminen suoritus, se ei silti juurikaan muistuta reaali maailman lihastyötä
  - Yleensä ei aikarajaa => "semi-isometrinen voimantuotto"
- Isoinertiaalista nopeusvoimaa voidaan testata esim. hypyillä (vertikaalihypyt lisäkuormalla ja ilman)
  - Käden heilautus vaikuttaa helposti tulokseen => kädet lanteilla malli
  - Voidaan käyttää kontaktimattoa tai Smithin konetta hypyn korkeuden määrittämiseen
- Ylävartalon lihasten isoinertiaalisen voimantuoton arvioinnissa voidaan käyttää myös istualtaan suoritettua kuulantyyntöä
  - Istuma-asento eristää aktiivisiksi vain ylävartalon lihakset

### Isokineettiset testit

- Isokineettisellä dynamometrillä mitataan lihaksen tai lihasryhmän maksimaalista voimantuottoa vakioidulla kulmanopeudella.
- Erityisesti polven ojennus-koukistus- ja kyynärvarren ojennus-koukistus-mittaukset.
- Tarkasteltavia muuttujia esimerkiksi maksimi vääntömomentti ja sitä vastaava polvikulma-

**Muuta**Lämmittelyn aikaisen venyttelyn vaikutus suorituskykyyn

- Venyttelyyn liittyvä hidas eksentrisen lihassupistus lisää lihaksen verenkiertoa ja nostaa sitä kautta lihaksen lämpötilaa. Lämpötilan nousu vaikuttaa lihaksen toimintaan monin tavoin positiivisesti
  - Lihaksen kemiallinen supistuvuus lisääntyy, minkä seurauksena myös sen voimantuotokyky paranee
    - Vaikutus voi kestää jopa 1,5 h yksittäisen venytyksen jälkeen
    - Lihassupistukset ovat lämpötilan nousun seurauksena nopeampia ja voimakkaampia
    - Lihaksen sisäinen viskositeetti ("lihaksen sisäinen kitka") laskee lämpötilan noustessa, mikä johtaa parempaan mekaaniseen tehokkuuteen.
  - Verenkierto, aineenvaihduntatuotteiden ja hapen kuljetus ja hermoimpulssien eteneminen kiihtyvät kudoksen lämpötilan noustessa => suorituskyvyn paraneminen.