

**This is an electronic reprint of the original article.
This reprint *may differ* from the original in pagination and typographic detail.**

Author(s): Ahtiainen, Juha

Title: Anaerobinen kapasiteetti ja sen testaaminen.

Year: 2014

Version:

Please cite the original version:

Ahtiainen, J. (2014). Anaerobinen kapasiteetti ja sen testaaminen.. Liikunta ja tiede, 51(2-3), 47-49.

All material supplied via JYX is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of the repository collections is not permitted, except that material may be duplicated by you for your research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered, whether for sale or otherwise to anyone who is not an authorised user.

Anaerobinen kapasiteetti ja sen testaaminen

Henkilön anaerobiseen kapasiteettiin vaikuttaa perimä, ikä, sukupuoli ja harjoitustausta. Fysiologisia taustatekijöitä ovat muun muassa lihasmassa ja lihassolujakauma, energialähteiden saatavuus, energia-aineenvaihduntareittien tehokkuus, hormonaalinen säätely (erityisesti adrenaliini), glykolyysin entsyymien määrä ja aktiivisuus sekä hapenkuljetuskyky.

Nopeuskestävyys harjoittelu vaikuttaa pitkällä aikavälillä anaerobiseen energiantuottojärjestelmään; energialähdevarastot (ATP, KP, glykogeeni) kasvavat, anaerobisessa glykolyysissä mukana olevien entsyymien määrä ja aktiivisuus kasvaa, erityisesti nopeissa lihassoluissa sekä puskurikapasiteetti kasvaa. Anaerobisen kapasiteetin harjoittaminen on haastavaa ja vaatii motivaatiota. Osa harjoitteluun mukautumista voikin olla kuormituksen tunteeseen eli kipuun tottumista. (McArdle ym. 2014)

Kaikkia anaerobiseen kapasiteettiin vaikuttavia fysiologisia taustatekijöitä ei voida urheilijoiden testauksessa suoranaisesti mitata, mutta anaerobista suorituskykyä ja aineenvaihduntaa voidaan epäsuorasti arvioida.

Testit voivat olla luonteeltaan vakioteholla tehtäviä testejä tai niin sanottuja all out testejä, joissa pyritään maksimaaliseen suoritukseen koko testin ajan. All out- testeissä suoritusta kyetään maksimissaan jatkamaan reilun minuutin ajan. Vakioteholla tehtävissä testeissä puolestaan suoritusta jatketaan maksimaalista hapenottoa korkeammalla teholla niin kauan kuin väsymystä kyetään vastustamaan. Tällöin kuormitus määritetään yleensä siten, että testin kesto on 2-3 minuuttia. Karkein tapa anaerobisen kapasiteetin arvioinnissa tällaisissa testeissä on mitata suoritussuoritusnopeutta tai tehoa vakioituneissa olosuhteissa. Maksimaalinen veren laktaattipitoisuus kuvaa anaerobisen energiantuoton tehokkuutta ja on havaittu korreloivan lyhytkestoisien suorituskykyjen kanssa. Veren maksimilaktaattipitoisuuden mittaaminen antaa siis lisätietoa anaerobisesta aineenvaihdunnasta.

Tarkempi ja käyttökelpoinen menetelmä anaerobisen kapasiteetin määrittämiseksi näiden lisäksi on happivajeen (maximal accumulated oxygen deficit, MAOD) mittaaminen kuormituksen aikana hengityskaasuanalysointilaitteen avulla. MAOD:illa tarkoitetaan eroa työtä vastaavan hapen kulutuksen ja kulutetun hapen välillä.

Yksilöllinen työtä vastaava hapen kulutus voidaan arvioida määrittämällä hapenkulutuksen ja työn suhde portaittain nousevan submaksimaalisen kuormituksen aikana ja ekstrapoloimalla supramaksimaalista työtä vastaava hapenkulutus. Mittaamalla hapenkulutusta työn ja palautumisen aikana voidaan myös arvioida eri energialähteiden osuus kokonaisenergiankulutuksesta ja mekaaninen hyötysuhde. Kapillaariveren verikaasuanalyysin avulla voidaan myös määrittää verenkierron pH, pCO₂ ja vetykarbonaatti pitoisuudet. Näin voidaan saada tarkempaa tietoa anaerobisesta aineenvaihdunnasta suorituksen aikana. (Australian Institute of Sport 2013; di Prampero & Ferretti 1999; Keskinen ym. 2007)

Tunnetuin anaerobisen kapasiteetin testeistä lienee Wingate polkupyöräergometritesti, jossa suoritetaan 30 sekunnin all out -testi. (Beneke ym. 2002) Vastaavasti testi voidaan tehdä

käsiergometrillä. Kuorma määritetään kehon painon mukaan ja suorituksesta määritetään keskimääräinen teho koko testin ajalta ja 5 sekunnin aikaväleihin ja määrittää väsymisindeksi (korkein / matalin teho). Vastaava testi voidaan tehdä myös esimerkiksi 30 tai 60 sekunnin vertikaalihyppelynä (ns. Boscon hyppelytesti), jossa jokaisella hyppellä pyritään ponnistamaan 90 asteen polvikulmasta mahdollisimman korkealle. Myös lyhyempiä testimalleja on sovellettu lähinnä anaerobisen tehon testeihin eli lyhyisiin välittömien energialähteiden avulla tehtäviin suorituksiin. Tällaisia ovat esimerkiksi Quebecin 10 sekunnin ergometritesti ja Margarian porrasjuoksutesti, jossa alkukiihdytyksen jälkeen juostaan 12 askelmaa mahdollisimman nopeasti. Nämä edellä mainitut testit eivät kuitenkaan anna juurikaan eväitä anaerobisen taloudellisuuden arviointiin ja nopeuskestävyysharjoittelun seurantaan ja ohjelmointiin. (Nummela & Rusko 1995) Sitä varten on kehitetty mm. MART-testi, josta tarkemmin seuraavassa osiossa.

Anaerobinen energiantuotanto – polttoainetta korkeatehoisille suorituksille

Lyhyissä korkeatehoisissa alle kymmenen sekuntia kestävässä suorituksissa pääasiallisena energialähteenä käytetään työskentelevien lihassolujen adenosiniinrifosfaatti (ATP) ja kreatiiniifosfaattivarastoja. Korkeatehoisille suorituksille on ominaista pyrkimys maksimaaliseen voimantuottoon ja esimerkkeinä tällaisista suorituksista voisi olla painonnosto, hyppyt ja lyhyet juoksumatkat.

ATP:tä käytettäessä lihassupistuksen aikaansaamiseksi se pilkotaan ADP:ksi ja AMP:ksi. Kytäksemme jatkamaan korkeatehoista suoritusta pidempään (arviolta yli kymmenen sekuntia) tulee ADP/AMP uudelleen muodostaa ATP:ksi. ATP:n uudelleenmuodostus voi tapahtua anaerobisesti ja aerobisesti eli hapen avulla. Anaerobinen energianmuodostus on keskeisessä roolissa noin minuutin kestävässä korkeatehoisissa suorituksissa, kuten esimerkiksi 400 metrin juoksussa tai vastaavan kestoisissa raskaissa kuntosaliharjoitteissa. Suorituksen kestäessä pidempään (yli kolme minuuttia), ja samalla siten myös väistämättä matalatehoisempina, aerobinen energiantuotto on keskeisemmässä roolissa. (Hirvonen ym. 1992; McArdle ym. 2014)

Aerobinen ATP tuotto (sitruunahappokierto ja oksidatiivinen fosforylaatio mitokondrioissa) ei voi kattaa korkeatehoisen lihastyön vaatimaa ATP tarvetta, koska siinä käytettävien energialähteiden siirto mitokondrioihin vaatii aikaa ja on riippuvainen anaerobisen glykolyysin tehokkuudesta. Siksi yli kymmenen sekuntia kestävässä korkeatehoisissa suorituksissa nimenomaan anaerobinen energianmuodostus on keskeisessä roolissa. (McArdle ym. 2014; Nelson & Cox 2008) Käsitteellä ”anaerobinen kapasiteetti” tarkoitetaan maksimaalista energian (ATP) määrää, joka on resyntetisoitu anaerobisen energia-aineenvaihdunnan (glykolyysin) avulla lyhytkestoisen maksimaalisen työn aikana. (Keskinen ym. 2007)

Glykolyysi tapahtuu sytosolissa anaerobisesti ja pidempikestoisessa korkeatehoisessa lihastyössä pääasiallisena energialähteenä ovat lihasten glykokeenivarastot. Anaerobisen glykolyysin lopputuotteena syntyvä pyruvaatti voidaan muuntaa laktaatiksi. Samalla glykolyysissä NAD^+ :sta pelkistyvä NADH muunnetaan takaisin NAD^+ :ksi, jota tarvitaan glykolyysin bioreaktioissa lähtöaineena. Laktaatti tuotto mahdollistaa siis glykolyysin ja ATP tuoton jatkumisen työskentelevissä lihassoluissa. Korkeatehoisessa suorituksessa sormenpääverinäytteestä

määritettävä laktaatti kuvastaa siten anaerobisen glykolyysin tehokkuutta. (McArdle ym. 2014; Nelson & Cox 2008; Reece ym. 2014)

Työskentelevissä lihaksissa muodostuva laktaatti siirretään verenkiertoon, josta se poistetaan maksassa glukoosin uudelleenmuodostuksessa (Corin sykli) sekä käyttämällä energiaksi erityisesti sydämessä, lihaksissa, keskushermostossa ja munuaisissa. Hapenkulutus ja samalla myös ventilaatio ovat välittömästi korkeatehoisen kuormituksen jälkeen kohonneet muun muassa koska laktaattia hapetetaan energiaksi. Lepotasolle veren laktaattipitoisuus palaa noin tunnin kuluessa suorituksen jälkeen. (McArdle ym. 2014; van Hall 2010) Laktaattia ei ole syytä pitää kuona-aineena, koska kuormituksen aikana se mahdollisesti vaikuttaa aineenvaihduntaan lisäämällä vasodilataatiota, ventilaatiota ja katekoliamiinien eritystä sekä säätelemällä rasvojen ja hiilihydraattien käyttöä energiaksi. (Philp ym. 2005)

Pitkäkestoisessa korkeatehoisessa lihastyössä ATP:n hydrolyysissä ADP:ksi vapautuu samalla vetyioneja (H^+), jotka happamoittavat lihassoluja. Elimistö pyrkii hillitsemään pH-muutoksia puskurimekanismien avulla, joista yksi keskeinen on natriumbikarbonaatti järjestelmä.

Anaerobisessa glykolyysissä syntyvä maitohappo esiintyy aina elimistön nesteissä laktaatti-ioniksi ja vetyioniksi jakaantuneena. Laktaatti reagoi natriumin kanssa muodostaen natriumlaktaattia ja bikarbonaatti vetyionien kanssa muodostaen hiilihappoa, joka taas keuhkoissa jakautuu hiilidioksidiksi ja vedeksi. (McArdle ym. 2014) Laktaatti on siis osa elimistön puskurijärjestelmiä eikä itsessään merkittävä elimistöä happamoittava tekijä. Laktaatti ei myöskään keskeisesti vaikuta lihassolujen voimantuoton vähenemiseen eli väsymiseen kuormituksen aikana. Myös pH:n laskulla on aiempaa oletettua pienempi merkitys väsymisessä lihassolutasolla. Merkittävimpänä tekijänä arvellaan olevan ATP:n hydrolyysi ADP:ksi ja samalla vapautuvat epäorgaaniset fosfaatit (P_i), jotka heikentävät lihasten supistumiskykyä laskemalla supistuvien filamenttien Ca^{2+} sensitiivisyyttä, poikkisiltojen muodostumista ja Ca^{2+} vapautumista ja takaisinottoa sarkoplasmisessa retikkelissä. (Allen ym. 2008)

Juha Ahtiainen LitT

Yliopistotutkija

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Sähköposti: juha.ahtiainen@juu.fi

Lähteet:

Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. 2008. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev.* 88(1):287-332.

Australian Institute of Sport. 2013. *Physiological Tests for Elite Athletes-2nd Edition.* Human Kinetics, Champaign, IL, USA.

Beneke R, Pollmann C, Bleif I, Leithäuser RM, Hütler M. 2002. How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? *Eur J Appl Physiol.* 87(4-5):388-92.

di Prampero PE, Ferretti G. 1999. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol.* 1;118(2-3):103-15.

Hirvonen J, Nummela A, Rusko H, Rehunen S, Härkönen M. 1992. Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Can J Sport Sci.* 17(2):141-4.

Keskinen K, Häkkinen K, Kallinen M. 2007. *Kuntotestauksen käsikirja.* 2. p. Liikuntatieteellinen seura, Helsinki.

McArdle WD, Katch FI, Katch VL. 2014. *Exercise Physiology, Energy, Nutrition and Human Performance.* 8th Edition. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore, ML, USA.

Nelson DL, Cox MM. 2008. *Lehninger Principles of Biochemistry.* W.H. Freeman and Company. New York, NY, USA.

Nummela A, Rusko H. 1995. Time course of anaerobic and aerobic energy expenditure during short-term exhaustive running in athletes. *Int J Sports Med.* 16(8):522-7.

Philp A, Macdonald AL, Watt PW. 2005. Lactate--a signal coordinating cell and systemic function. *J Exp Biol.* 208(Pt 24):4561-75.

Reece JB, Urry LA, Cain ML, Wasserman PV, Minorsky PV, Jackson RB. 2014. *Campbell Biology,* 10th Edition. Benjamin Cummings.

van Hall G. 2010. Lactate kinetics in human tissues at rest and during exercise. *Acta Physiol (Oxf).* 199(4):499-508.