

URHEILIJAN YKSILÖLLINEN VOIMANTUOTTO

Ari Moilanen

AmVT 2002

Eri urheilijat tuottavat erilaisia maksimaalisia voimia samanlaisissa liikkeissä. Nämä variaatiot johtuvat pääasiassa kahdesta tekijästä:

- yksilön lihasten maksimaalisesta voimantuottokyvystä (perifeerisistä tekijöistä)
- keskushermostosysteemin säätelemästä lihasaktiiviteetin koordinaatiosta. Hermoston säätelemän lihaskoordinaation kaksi selvästi havaittavissa olevaa tekijää ovat:
 - 1) lihaksen sisäinen koordinaatio (intramuscular coordination),
 - 2) lihasten välinen koordinaatio (intermuscular coordination)

LIHASVOIMAN POTENTIAALISET (PERIFEERISET) TEKIJÄT

Lihassoiman tuottokykyyn vaikuttavista perifeerisistä tekijöistä lihasten koolla näyttäisi olevan suuri merkitys. Lihasmassaan ja lihasten kokoon on harjoittelulla suuri merkitys yhdessä ravinnon ja hormonaalisen tilan kanssa (anabolia = rakentava, katabolia = hajottava).

Lihasten koko

Lihakset joilla on suuri fysiologinen läpimitta tuottavat suuremman voiman kuin pienempiä mittaiset lihakset. Tämä on totta riippumatta lihaksen pituudesta. Raskaassa vastusharjoittelussa missä lihaksen läpimitta kasvaa tapahtuu myös maksimivoiman kasvua.

Luurankolihas sisältää lukemattomia pitkiä, sylinterin mallisia, lihassyitä eli lihassoluja. Jokainen lihassolu on rakentunut samansuuntaisista myofibrilleistä mitkä koostuvat pitkittäisistä, peräkkäisistä yksiköistä eli sarkomeereista.

Sarkomeerit puolestaan sisältävät 1) ohuita filamentteja jotka ovat rakentuneet proteiinista nimeltään aktiini ja 2) paksuja filamentteja jotka ovat rakentuneet proteiinista nimeltään myosiini. Lihassupistuksen aiheuttaa aktiini- ja myosiinifilamenttien liukuminen osittain toistensa väliin. Myosiinifilamenteissa on ulospäin suuntautuvia kierteisiä ulokkeita joita kutsutaan välisilloiksi (cross bridges). Nämä välisillat päättyvät myosiinipäihin (myosin heads) jotka tekevät kontaktin aktiinifilamentteihin lihassupistuksessa. Lihassupistusteorian (sliding-filament theory) mukaan sarkomeerin lyheneminen ja siitä johtuva lihassolun supistuminen aiheutuvat aktiivisesta aktiinifilamenttien liukumisesta myosiinifilamenttien väliin.

Lihaksen tuottama voima on seurausta lihasten rakenneosien (sarkomeerit, myofibrillit, lihassolut) toiminnasta. Sarkomeerin tuottama maksimivoima riippuu suuresti määrin myosiinipäiden muodostamien välisiltojen lukumäärästä aktiinifilamentteihin. Välisiltojen kokonaisuus sarkomeerissa on ilmeisesti riippuvainen:

- 1) aktiini- ja myosiinifilamenttien lukumäärästä, eli kaikkien filamenttien läpimitasta
- 2) myosiinipäiden lukumäärästä jotka voivat olla yhteydessä aktiinifilamentteihin, eli sarkomeerin pituudesta

Lihakset joissa on pitemmät sarkomeerit (pitemmät aktiini- ja myosiinifilamentit) tuottavat suuremman voiman pinta-alayksikköä kohden johtuen suuremmasta välisiltojen lukumäärästä aktiini- ja myosiinifilamenttien välillä.

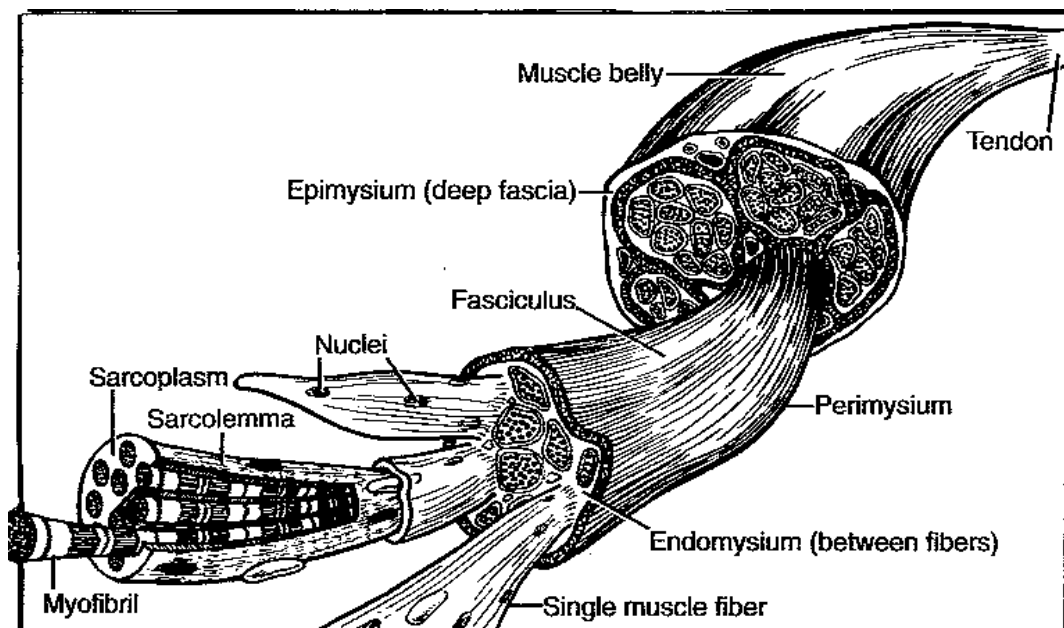
Yhden myofibrillin kaikki sarkomeerit työskentelevät sarjassa. Tuotettu voima jokaisessa samansuuntaisesti järjestäytyneessä elementissä (eli jokaisen sarkomeerin tuottama voima myofibrillissa) on samansuuruinen kuin jokaisessa muussakin elementissä tuotettu voima. Täten kaikki myofibrillin sarkomeerit tuottavat samansuuruisen voiman ja rekisteröity voima myofibrillien päissä ei riipu myofibrillin pituudesta.

Lihassolun tuottama voima on riippuvainen aktiini- ja myosiinifilamenttien lukumäärästä ja niin muodoin samansuuntaisesti rinnakkain toimivista aktiini- ja myosiinifilamenttien lukumäärästä.

Lihaksen voimantuottokykyä arvioidaan, filamenttien lukumäärän laskemisen sijasta, niiden läpimitan suuruuden perusteella. Filamenttien suhdetta lihassolujen suhteeseen kutsutaan filamenttien alueelliseksi tiheydeksi.

Voimaharjoittelu voi lisätä myofibrillien lukumäärää suhteessa lihassolujen ja filamenttien tiheyteen; lisäksi seurauksena on sekä lihassolun koon, että myös voiman kasvua. Voimaharjoittelun vaikutuksista sarkomeerin pituuteen ei ole vielä täyttä varmuutta.

Lihaksen kyky tuottaa voimaa riippuu sen fysiologisesta läpimitasta ja osaksi lihassolujen määrästä lihaksessa sekä lihassolujen läpimitasta.

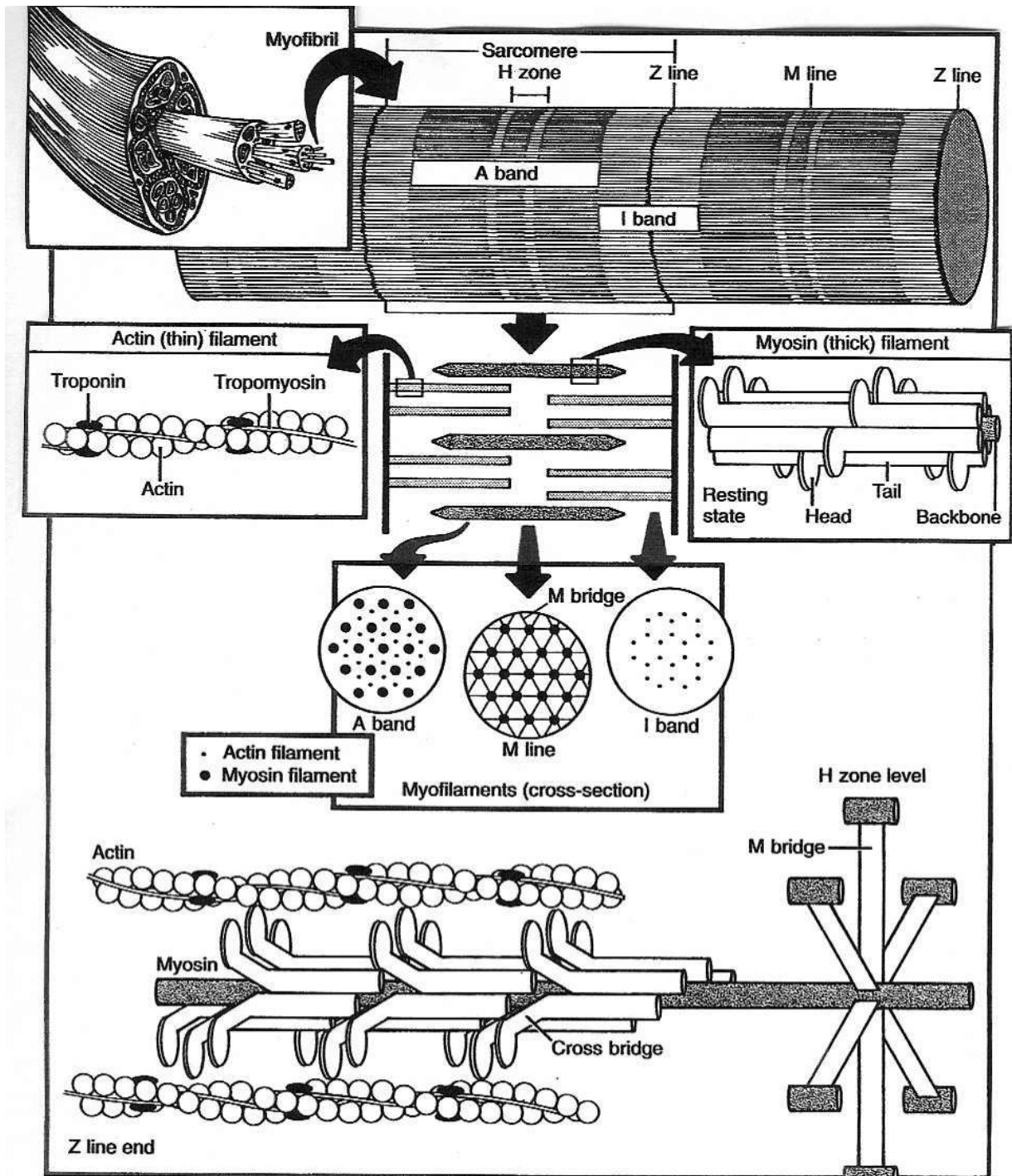


Kuva 1. Lihaksen makrorakenne. Lihassolut muodostuvat tiiviisti pakkautuneista, rinnakkain kulkevista alayksiköistä, myofibrilleistä. Nämä ovat ohuita (1-2 mikrometriä), lieriömäisiä säikeitä, jotka ulottuvat koko lihassolun päästä päähän. Jokaista yksittäistä fibrillia ympäröi ohut kalvo (sarcolemma). Myofibrillit ovat solulimakalvoston (sarcoplasm) ympäröimiä.

Lihaksen muodostunut monitumaisista lihassoluista. Aikuisella lihassolujen halkaisija on 0,01 - 0,1 mm ja yleensä ne ovat muutaman senttimetrin pituisia. Joissakin lihaksissa lihassolujen pituus voi olla yli 30 cm. Jokaista lihassolua ympäröi ohut sidekudoskalvo (endomysium).

Yksittäisten lihassolujen muodostamat lihassolukimput ovat hieman paksumman kalvon sisällä (fasciculus). Lihaksen muodostuu useista tällaisista lihassykimpuista, ja sitä ympäröi paksu peitinkalvo (epimysium). Kaikkien näiden kalvojen kollageenisyyt yhtyvät lihaksen päissä suoraan jänteisiin.

Verisuonet ja hermot kulkevat sidekudoskalvostossa. Työskentelevän lihaksen energia-aineenvaihdunta vaatii tehokasta verenkiertoa, ja jokaista lihassolua ympäröi hiussuoniverkosto.



Kuva 2. Lihaksen mikrorakenne. Aktiinifilamentit ovat rakentuneet pallomaisesta aktiini-proteiinista. Aktiinifilamenteissa sijaitsevat troponiini-kompleksit koostuvat troponiinista ja tropomyosiinista. Aktiinifilamenttien välissä olevat myosiinifilamentit ovat rakentuneet myosiini-proteiinista. Myosiinifilamenteista ulospäin ojentuneet välisillat (cross bridge) muodostavat välisilloja aktiinifilamenttien kanssa ja saavat aikaan niiden liukumisen myosiinifilamenttien lomaan. Tämä lyhentää sarkomeerejä ja saa aikaan lihassolun supistumisen. Lihassupistuksen saa aikaan motorisen hermosolun impulssi joka aiheuttaa aktiopotentiaalin lihassolussa. Tämä vapauttaa kalsiumioneja sarkoplasmakalvostosta jotka sitoutuvat aktiinifilamenteissa oleviin troponiineihin. Tämä aiheuttaa tropomyosiinissa muodonmuutoksen ja sen seurauksena aktiinifilamenteista paljastuu sitoutumiskohtia myosiinivälisilloille, jotka kiinnittyvät aktiinifilamentteihin saaden aikaan vedon, jolloin filamentit liukuvat toistensa lomiin. Kun impulssien tulo lakkaa hermosolusta niin lihassolun aktiopotentiaali päättyy ja kalsiumionit pumpataan takaisin sarkoplasmakalvostoon ja tropomyosiini palautuu entiseen muotoonsa peittäen välisillojen kiinnittymiskohdat aktiinifilamenteista, jolloin välisillat irtoavat ja niiden voimaveto päättyy. Sekä voimaveto, että kalsiumionien takaisin pumppaus kuluttavat ATP:a.

On yleisesti tiedossa, että lihaksen koko kasvaa voimaharjoittelussa. Tätä kutsutaan lihasten hypertrofiaksi eli lihassolujen läpimitan kasvuksi ja tätä tapahtuu erityisesti bodastyypissä harjoittelussa (keskiraskaat painot, pitkät sarjat). Lihaksen hypertrofia johtuu:

- 1) lihassolujen lukumäärän kasvusta (hyperplasia) tai
- 2) jokaisen lihassolun läpimitan kasvusta (hypertrofia)

Viimeaikaiset tutkimukset osoittavat sekä hyperplasian, että hypertrofian aiheuttavan lihaskasvua. Kuitenkin lihassolujen lukumäärän kasvu on hyvin rajallista ja pääasiallinen lihaksen koon kasvu johtuu lihassolujen läpimitan kasvusta.

Ihmiset joilla on paljon ohuita lihassoluja lihaksen pinta-alayksikköä kohden omaavat paremmat edellytykset kehonrakentajiksi ja painonnostajiksi kuin ihmiset joiden lihassolujen lukumäärä lihaksessa on pienempi.

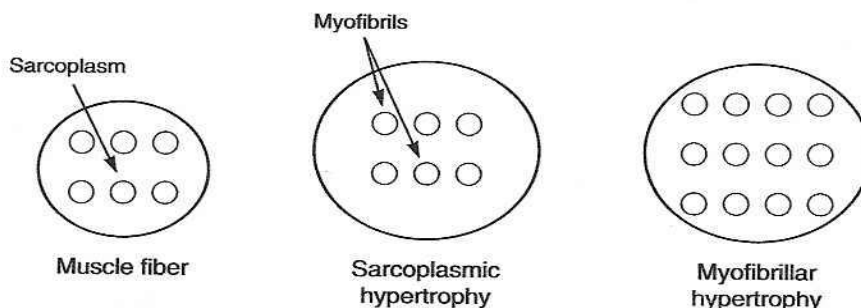
Lihassolujen kasvun kaksi eri tyyppiä voidaan kaavamaisesti kuvata seuraavasti.

- 1) **Lihassolun sarkoplasminen hypertrofia** (fibrillien välitilan solunestemäärän lisääntyminen) on kuvattu sarkoplasman ja ei-supistuvien proteiinien, jotka eivät osallistu lihasvoiman tuottamiseen, lisääntymisenä. Erityisesti filamenttien tiheys lihassolussa vähenee, kun taas lihassolun läpimitta kasvaa ilman, että siitä olisi seurauksena lihasvoiman kasvua.
- 2) **Lihassolun fibrillaarinen hypertrofia** tarkoittaa lihassolun kasvua joka johtuu myofibrillien määrän kasvusta ja siitä johtuvasta aktiini- ja myosiinifilamenttien lukumäärän kasvusta. Samanaikaisesti supistuvia proteiineja syntetisoidaan (rakennetaan) ja filamenttien tiheys kasvaa. Tämän tyyppinen lihassolun kasvu johtaa lihaksen voiman tuoton paranemiseen.

Raskas voimaharjoittelu voi johtaa lihassolussa sekä sarkoplasman, että fibrillien hypertrofiaan. Kuitenkin, riippuen harjoittelutavasta, tämän tyyppiset lihassolujen kasvut esiintyvät vaihtelevissa määrin.

Fibrillien hypertrofiaa esiintyy tyypillisesti eliittinostajilla (jos harjoitteluohjelma on suunniteltu oikein), kun taas sarkoplasmistista hypertrofiaa esiintyy tyypillisesti kehonrakentajilla.

Urheilijat ja heidän valmentajansa ovat erityisesti kiinnostuneita fibrillien hypertrofiasta koska se lisää lihaksen voimantuottoa. Voimaharjoittelun täytyy järjestelmällisesti stimuloida supistuvien proteiinien synteesiä ja lisätä filamenttitiheyttä.



Kuva 3. Sarkoplasminen ja myofibrillaarinen hypertrofia. Sarkoplasmissessa hypertrofiassa lihassolujen koko kasvaa pääasiassa fibrillien soluvälitilan nestemäärän kasvun johdosta (kehonrakennusharjoittelu; pitkät sarjat, raskas kuorma). Tämä ei lisää supistuvien proteiinien määrää eli voiman tuotto ei parane. Myofibrillaarisessa hypertrofiassa solujen kasvu tapahtuu supistuvien proteiinien (aktiini- ja myosiinifilamentit) lisääntymisen aiheuttaman fibrillien määrän kasvuna lihassoluissa (painonnostoharjoittelu; lyhyet sarjat, maksimipainot). Voiman tuotto paranee.

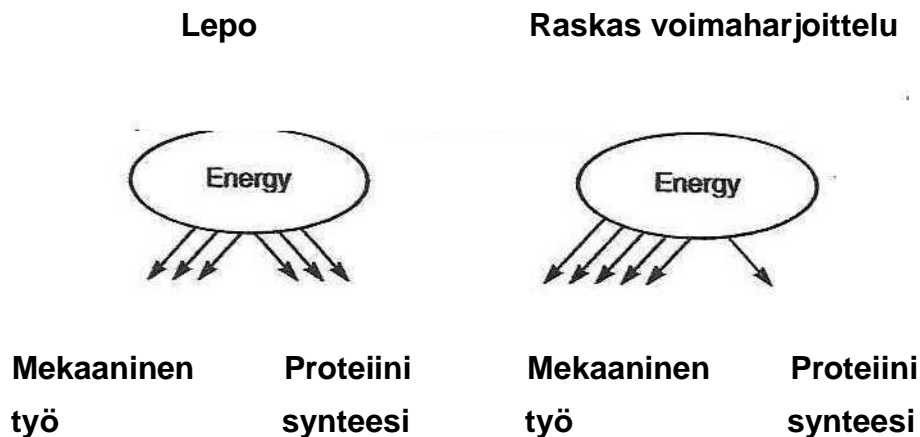
Yleinen uskomus voimaharjoittelusta on, että harjoitus aktivoi lihasproteiinien kataboliaa (hajotusta), luoden olosuhteet supistuvien proteiinien synteetille (rakentumiselle) lepojaksen aikana (break down and build up theory). Voimaharjoitusten aikana lihasproteiinit pilkotaan yksinkertaisempiin muotoihin (katabolinen vaihe). Palautumisjakson aikana (anabolinen vaihe) lihasproteiinien synteesi (rakentuminen) voimistuu. Lihassolujen hypertrofian (kasvun) arvellaan johtuvan lihasproteiinien superkompensaatiosta.

Mekanismia joka aiheuttaa lihasproteiinien synteetin, käsittäen alkuärsyksen joka laukaisee supistuvien lihasproteiinien synteetin (rakentumisen), ei ole vielä tarkoin selvitetty.

Yksi suosittu teoria on lihaskasvun energiäteoria (energetic theory of muscle hypertrophy). Tämän hypoteesin mukaan kriittinen tekijä kasvaneelle proteiinien hajotukselle (katabolialle) on raskaan voimaharjoittelun aiheuttama energiavaje lihassolussa jolloin kaikki energia kuluu lihastyön suorittamiseen eikä energiaa riitä proteiinisynteettiin. Koska energiavarastot proteiinisynteetille vähenevät niin proteiinien hajotus kasvaa. Aminohappojen soluun otto verenkierrosta on vähentynyt harjoittelun aikana. Hajotettujen proteiinien määrä raskaassa voimaharjoituksessa ylittää uusien syntetisoitujen proteiinien määrän. Tästä johtuen lihasproteiinien määrä laskee voimaharjoittelun jälkeen, kun taas proteiinien aineenvaihduntatuotteiden määrä (esim. typen määrä veressä) kasvaa yli lepotason. Sitten, harjoitusten välillä, proteiinisynteesi kiihtyy. Aminohappojen soluun otto verestä ylittää lepotason. Tämä toistuva prosessi, lisääntynyt supistuvien proteiinien hajotus sekä proteiinisynteetin kiihtyminen, voi johtaa proteiinien superkompensaatioon. Tämä periaate on samanlainen kuin kestävyys-harjoittelun aiheuttama lihasglykogeenin ylikompensaatio.

Lihaskasvuun voimakkaasti vaikuttavat tekijät ovat harjoituksen intensiteetti (tuotettu lihasvoima) sekä harjoituksen määrä (toistojen kokonaismäärä, suoritettu mekaaninen työ).

Lepotilassa ja kevyessä lihastyössä energia lihassolussa riittää sekä lihastyöhön, että solun proteiinisynteettiin.



Kuva 4. Energiavarastot levon ja raskaan voimaharjoittelun aikana. Levossa energia riittää sekä mekaaniseen työhön, että myös lihassolun proteiinisynteettiin. Raskaan voimaharjoittelun aikana lähes kaikki energia kuluu mekaanisen työn tuottamiseen ja energia ei riitä solun proteiinisynteetin tarpeisiin aiheuttaen solussa kataboliaa (proteiinien hajoaminen).

Kehon paino

Lihasmassa muodostaa huomattavan osan kehon massasta tai kehon painosta. Eliittipainonostajilla lihasmassa on noin 50 % kehon painosta. Tämän takia samalla lailla harjoitelleista nostajista ne, joilla on suurempi kehon paino pystyvät tuottamaan suuremman voiman.

Voiman riippuvuus kehon painosta tulee selvästi esiin huippunostajia testattaessa. Painonoston ME-nostajilla on suuri korrelaatio suorituskyvyn ja kehon painon välillä (korrelaatio 0.9). Maailmanmestaruuskilpailuihin osallistuvilla painonostajilla korrelaatio tuloksen ja kehon painon välillä on 0.80 ja niin sanotuilla sohvaperunoilla (liikuntaa harrastamattomilla) korrelaatio on alhainen ja voi lähestyä jopa nollaa.

Vertailtaessa eri yksilöiden voimaa toisiinsa käytetään kaavaa nostettu kilomäärä jaettuna kehon painolla. Tätä kutsutaan suhteelliseksi voimaksi. Toisaalta lihasvoimaa, jota ei suhteuteta kehon painoon, kutsutaan absoluuttiseksi voimaksi. Seuraavaa kaavaa käytetään:

$$\text{suhteellinen voima} = \text{absoluuttinen voima} / \text{kehon paino}$$

Kehon painon noustessa samalla lailla harjoitelleiden urheilijoiden absoluuttinen voima kasvaa ja suhteellinen voima laskee.

Esimerkkinä 56 kilon sarjan ME työnnössä on 168 kg eli kolme kertaa nostajan oma paino. Suhteellinen voima on 3 (168 kg, tuotettu voima / 56 kg, kehon paino = 3.0).

Superraskaan sarjan ME työnnössä on 263 kg ja kehon paino yli 150 kg, eli suhteellinen voima on alle 2.0. Mikäli superraskaan nostajan suhteellinen voima olisi sama kuin 56-kiloisen nostajan (3.0) tulisi superraskaan sarjan työnnön ME olla 450 kiloa.

Pienikokoisten urheilijoiden suuresta suhteellisen voiman tasosta johtuen heillä on etua nostettaessa omaa kehoa. Eliittipainijat kevyissä painoluokissa voivat vetää leukoja enemmän kuin 30 kun taas superraskaan sarjan painijoilla 10 leuanvetoa on erinomainen saavutus.

Muun muassa amerikkalaisen jalkapallon linjamiehille, superraskaan sarjan painonostajille ja yleisurheilun heittäjille absoluuttisella voimalla on suuri merkitys. Urheilulajeissa missä urheilijan kehoa liikutellaan urheiluvälineen sijasta, suhteellisella voimalla on tärkein merkitys.

Urheilulajeissa, missä absoluuttisella voimalla on suurin merkitys, urheilijoiden tulisi harjoitella tavalla joka stimuloi lihasmassan kasvua (myofibrillaarinen hypertrofia). Kun paino kasvaa kehon rasvaprosentin täytyy pysyä samana tai hieman jopa laskea varmistaen näin, että painon lisäys johtuu puhtaasta lihasmassan kasvusta.

Urheilijoiden keskuudessa yleinen käytäntö suhteellisen voiman parantamiseksi ennen kilpailua on kehon painon vähentäminen. Painoluokkaurheilulajeissa (esim. painonnosto) on yleisenä käytäntönä laihduttaa yhtä painoluokkaa alemmaksi arvokilpailuihin kuin mitä oma paino on harjoituskaudella. Ruoan säännöstely, juomisen vähentäminen ja hikoilun lisääminen esim. saunan avulla ovat yleisesti käytettyjä tapoja tavoitteen saavuttamiseksi. Tämä on hyväksyttävää oikein suoritettuna; painon tippuminen ei saa olla yli 1 kg / viikko tavallisella urheilijalla ja eliittuurheilijallakaan se ei saa ylittää 2.5 kg / viikko. On tärkeää, että urheilijat suorittavat painon pudotuksen suunnitellusti pitkällä aikavälillä jolloin energian saanti on 500 - 1000 kcal / vrk alle normaalin saannin.

Painonpudotus on sallittua vain aikuisille urheilijoille ja lapsilta ja murrosikäisiltä se tulisi kieltää.

Vaihtoehto painon pudotukselle suhteellisen voiman lisäämiseksi on lisätä lihasmassaa. Tämä on täysin hyväksyttävää ja urheilijoiden ei tule olla peloissaan lihasten kasvusta (lihakset kannattavat pääkuorman urheilusuorituksesta).

Muut tekijät (ravinto, hormonaalinen tila)

Voimaharjoittelu aktivoi supistuvien lihasproteiinien synteesiä joka aiheuttaa lihassolujen kasvua vain jos elimistössä on riittävästi saatavilla aminohappoja proteiinien uudismuodostukselle ja kasvulle harjoituksen jälkeisellä lepojaksolla.

Aminohapot ovat ruoansulatuksen lopputuotteita ruoan proteiineista ja aminohapot imeytyvät suolistosta verenkiertoon mistä ne siirtyvät mm. lihassolujen käyttöön. Lihassolut ottavat tarvitsemansa aminohapot omaa proteiinituotantoaan varten. Osa aminohapoista täytyy saada ruoan mukana sillä keho ei voi valmistaa niitä itse. Näitä kutsutaan välttämättömiksi aminohapoiksi.

Käytännössä tämä tarkoittaa että:

- 1) proteiini-anaboliaan vaadittavien aminohappojen tulee olla verenkierrossa palautumisjakson aikana ja
- 2) proteiinia täytyy olla saatavilla ruoan mukana riittävässä määrin

Painonnostajat tarvitsevat päivittäin kovilla harjoitusjaksoilla jopa 3 g proteiinia kehon painokiloa kohden. Proteiinien täytyy sisältää myös välttämättömiä aminohappoja joita keho ei voi itse valmistaa.

Aminohappovarastojen lisäksi urheilijan kehon hormonaalisella tilalla on erittäin suuri merkitys. Eri kehon elinten erittämällä lukuisilla hormoneilla on vaikutusta luurankolihas kudokseen. Nämä vaikutukset luokitellaan joko katabolisiksi (lihasproteiinien hajoaminen aminohapoiksi) tai anabolisiksi (lihasproteiinien rakentuminen aminohapoista).

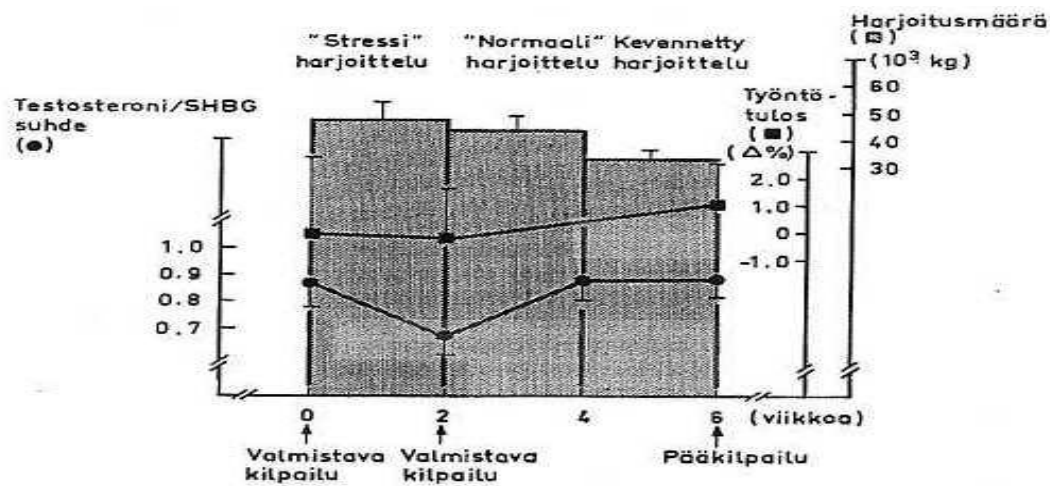
Anabolisia hormoneja ovat mm. testosteroni, kasvuhormoni (somatotropiini) ja somatomeidiinit (IGF:t = insuliinin kaltaiset kasvutekijät). Katabolisia hormoneja ovat mm. kortisoni, glukokoni ja adrenaliini.

Näiden hormonien konsentraatiot veressä suurelta osin säätelevät lihassolujen aineenvaihdunnan tasoa. Testosteronin seerumitasot ovat naisilla alemmat kuin miehillä (1/10 osa miesten arvoista) ja sen vuoksi voimaharjoittelu ei aiheuta naisilla yhtä suurta lihasten kasvua kuin miehillä.

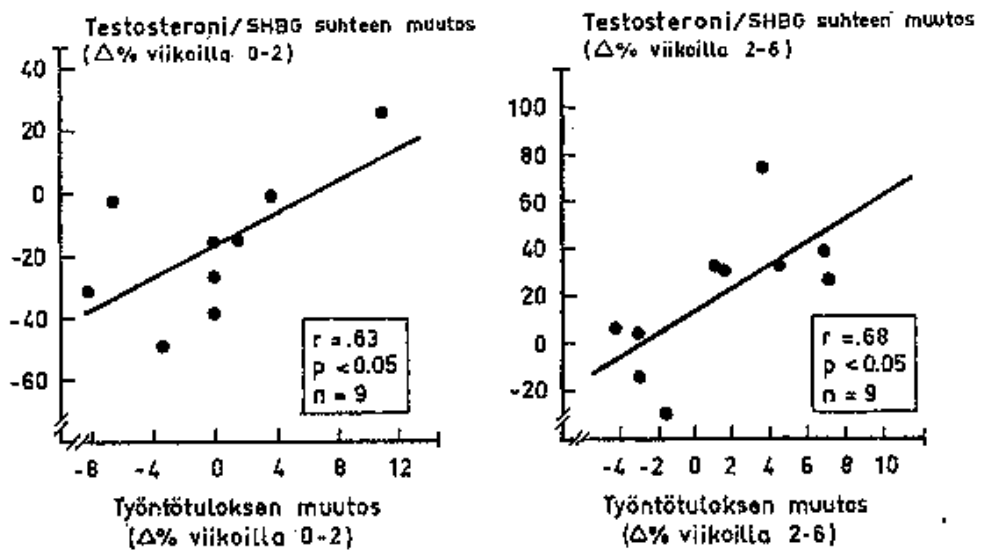
Voimaharjoittelu aiheuttaa muutoksia anabolisten hormonien tasoon verenkierrossa. Nämä muutokset voivat olla akuutteja (reaktioita yhteen voimaharjoitukseen) tai kumulatiivisia (pitkän ajanjakson muutoksia lepotasolla).

Voimaharjoittelu aiheuttaa seerumin testosteronitasossa kasvua ja käynnistää akuutin nousun verenkierrossa kiertävässä testosteronitasossa. Tutkimuksessa on saatu suhteellisen korkea positiivinen korrelaatio ($r = 0.68$) testosteronitasosta suhteessa sen kuljettajaproteiiniin (SHBG = Sex Hormone Binding Globulin) ja siihen liittyvään painonnoston kilpailutuloksen paranemiseen työntönostossa.

Seerumin kasvuhormonitasot ovat selvästi nousseet raskailla raudoilla (75 – 85 %) suoritettuna voimaharjoituksen aikana. Muutoksia ei ole havaittu seerumin kasvuhormonitasoissa kun vastusta on alennettu niin paljon, että sarjoissa on ollut 21 toistoa. Kasvuhormonin lepotasot eivät ole muuttuneet voimaharjoituksen seurauksena.



Kuva 5. Seerumin testosteroni/SHBG suhde, maksimivoimaharjoittelun määrä ja työntötuloksen muutokset pääkilpailua edeltävän kuuden viikon seurantajakson aikana huipputasoin painonnostajilla (Häkkinen ym. 1987 d).



Kuva 6. Seerumin testosteroni/SHBG suhteen yksilöllisen muutoksen ja työntötuloksen yksilöllisen muutoksen välinen yhteys huipputasoin painonnostajilla kahden viikon "stressiharjoitusjakson" jälkeen (viikoilla 0-2) ja neljän viikon määrällisesti kevennetyn harjoitusjakson jälkeen valmistautuessa pääkilpailuihin (viikoilla 2-6). Katso myös kuva 5 (Häkkinen ym. 1987 d).

HERMOSTOLLISET (KESKUSHERMOSTO) TEKIJÄT

Keskushermostolla (CNS = Central Nervous System) on tärkein merkitys lihasvoiman tuottamisessa ja kehittämisessä. Lihasvoiman säätely ei tapahdu ainoastaan toimivan lihasmassan määrällä vaan myös missä määrin lihaksen sisältämät lihassolut ovat tahdonalaisesti aktivoituneet (lihaksen sisäinen koordinaatio). Maksimaalinen voimantuotto on taitavaa toimintaa jossa useiden lihasten täytyy sopivasti aktivoitua. Tätä useiden lihasryhmien koordinoitua aktivaatiota kutsutaan lihasten väliseksi koordinaatioksi (intermuscular coordination).

Hermostollisen sopeutumisen seurauksena huippu-urheilijat voivat paremmin koordinoida yksittäisten lihasten ja lihasryhmien lihassolujen aktivaatiota. Toisin sanoen heillä on parempi lihaksen sisäinen ja lihasten välinen koordinaatio.

Lihaksen sisäinen koordinaatio (Intramuscular Coordination)

Hermosto käyttää kolmea tapaa vaihdellessaan lihaksen voiman tuotantoa:

- 1) **rekrytointia**, aktiivisten motoristen yksiköiden avulla tapahtuvaa asteittaista lihasvoiman lisäämistä tai vähentämistä
- 2) **syttymisastetta**, vaihdellen motoristen yksiköiden impulssitiheyttä
- 3) **synkronisointia**, motoristen yksiköiden aktivaatiota joka tapahtuu enemmän tai vähemmän yhtä aikaa

Kaikki kolme vaihtoehtoa perustuvat motoristen yksiköiden (MU = Motor Units) olemassa-oloon. MU:t ovat peruselementtejä motorisessa systeemissä ja koostuvat liikehermoista, aksoneista, motorisista päätelevyistä ja yhden motorisen hermon aktivoimista lihassoluista.

MU:t voidaan luokitella nopeisiin tai hitaisiin niiden supistusominaisuuksien mukaan. **Hitaat motoriset yksiköt**, tai hitaasti supistuvat motoriset yksiköt, ovat erikoistuneet pitkäaikaiseen lihastyöhön ja suhteellisen pieniin supistusnopeuksiin. Ne koostuvat a) pienistä, matalan syttymiskynnyksen omaavista motoneuroneista joilla on pieni impulssitiheys, b) aksoneista joilla on suhteellisen pieni impulssin johtumisnopeus ja c) lihassoluista jotka hyvin sopeutuneet pitkäaikaiseen aerobiseen lihastyöhön.

Nopeat motoriset yksiköt, tai nopeasti supistuvat motoriset yksiköt ovat erikoistuneet lyhytaikaiseen lihastyöhön mitä luonnehtii suuri voimantuotto, suuret supistusnopeudet ja räjähtävä voimantuotto. Ne koostuvat a) paksuista korkean syttymiskynnyksen omaavista liikehermoista joilla on suuri impulssitiheys, b) aksoneista joilla on suuri impulssin johtumisnopeus ja c) lihassoluista jotka sopeutuneet räjähtävään tai anaerobiseen lihastyöhön.

Motoriset yksiköt aktivoituvat kaikki tai ei mitään – lain mukaan. Se joko aktivoituu tai ei aktivoitu ollenkaan; siinä ei esiinny asteittaista liikehermojen aktivaation lisääntymistä. Voiman asteittainen lisääntyminen yhdessä motorisessa yksikössä johtuu muutoksista sen impulssien tiheydessä.

Ihmisillä supistusnopeudet vaihtelevat 90 millisekunnista 110 millisekuntiin hitaissa motorisissa yksiköissä. Nopeissa motorisissa yksiköissä supistusnopeudet vaihtelevat 40 millisekunnista 84 millisekuntiin. Nopeissa motorisissa lihassoluissa maksimaalinen lyhenemisnopeus on melkein neljä kertaa nopeampi kuin hitaissa motorisissa lihassoluissa. Voimantuotto pinta-alayksikköä kohden on molemmissa motorisissa lihassoluissa sama, mutta nopeat motoriset lihassolut ovat yleensä pinta-alaltaan suurempia kuin hitaat motoriset lihassolut ja tuottavat siten voimaa enemmän yhtä motorista yksikköä kohden.

Ihmisten lihakset koostuvat sekä nopeista, että hitaista motorisista yksiköistä. Nopeiden ja hitaiden motoristen lihassolujen suhde lihaksissa vaihtelee eri urheilijoilla. Kestävyysurheilijoilla on suurempi prosenttiosuus hitaita motorisia yksiköitä kun taas voima- ja teholaajien urheilijoilla on nopeita motorisia yksiköitä prosentuaalisesti enemmän.

Rekrytointi

Tahdonalaisissa lihassupistuksissa motoristen yksiköiden rekrytointia säätelee liikehermojen koon periaate. Pienet motoriset yksiköt, joilla on matalin syttymiskynnys, rekrytoituvat ensiksi ja sen jälkeen rekrytoituvat suuremmat motoriset yksiköt joilla on suurin voimantuottokyky ja supistusnopeus sekä suurempi syttymiskynnys. Tämä viittaa siihen, että lihakset jotka sisältävät sekä nopeita että hitaita motorisia yksiköitä, hitaat motoriset yksiköt aktivoituvat ensiksi riippumatta tuotetusta lihasjännityksestä ja nopeudesta. Toisaalta kaikkien nopeiden motoristen yksiköiden aktivaatiota on vaikea saavuttaa. Harjoittelemattomat ihmiset eivät pysty rekrytoimaan kaikkia nopeita motorisia yksiköitään. Urheilijat joiden harjoitteluun kuuluu voima- ja tehoharjoittelu pystyvät suurempaan motoristen yksiköiden aktivointiin.

Motoristen yksiköiden rekrytointijärjestys on suhteellisen kiinteä lihaksessa joka on mukana määrätystä liikkeestä vaikka liikkeen nopeus tai voimantuotto muuttuisi. Kuitenkin, rekrytointijärjestys voi muuttua jos lihas toimii erilaisissa liikkeissä. Eri motorisilla yksiköillä lihaksessa voi olla matala syttymiskynnys yhdessä liikkeessä ja korkea toisessa liikkeessä.

Vaihtelut rekrytointijärjestyksessä johtuvat osittain raskaan voimaharjoittelun spesifisistä vaikutuksista. Jos harjoittelun tavoitteena on lihaksen täydellinen kehittäminen (ei korkea suorituskyky) niin lihasta täytyy harjoittaa kaikilla mahdollisilla liikkeen osa-alueilla. Tämä on tyypillistä kehonrakennuksessa ja aloittelevien urheilijoiden kanssa mutta ei eliittuurheilijoiden keskuudessa.

Syttymistiheys

Toinen pääasiallinen mekanismi lihasvoiman asteittaisessa lisäämisessä on impulssitiheyden säätely. Liikehermojen impulssien tiheys voi vaihdella huomattavissa rajoissa. Yleisesti, impulssitiheys nousee yhdessä kasvavan voiman ja tehon tuoton kanssa.

Rekrytoinnin suhteellisen merkityksen osuus suhteessa impulssitiheyden säätelyn merkityksen osuuteen tahdonalaisten supistusten voimantuoton asteittaisessa lisääntymisessä, ovat erilaisia pienissä ja suurissa lihaksissa. Pienissä lihaksissa suurin osa motorisista yksiköistä rekrytoituu jo voimantuotossa joka on 50 % maksimista. Sen jälkeen impulssien tiheyden suureneminen on pääroolissa lihasvoiman lisääntyessä maksimiin.

Suurissa yläraajojen proksimaalisissa lihaksissa, kuten olka- ja hauislihaksessa, suurempien motoristen yksiköiden rekrytointi näyttää olevan pääosassa voimantuoton kasvattamisessa aina 80 %:iin asti maksimista ja jopa ylemmäksikin. Voima-alueella

80 -100 % maksimista voimantuoton kasvu tapahtuu melkein yksinomaan motoristen yksiköiden impulssitiheyden kasvattamisella.

Synkronisointi

Normaalisti motoriset yksiköt toimivat eriaikaisesti tuottaessaan pehmeitä tarkkoja liikkeitä. Kuitenkin on todisteita, että voima- ja teholarjojen eliittuurheilijoilla motoriset yksiköt aktivoituvat yhtäaikaisesti maksimaalisissa tahdonalaisissa lihassupistuksissa.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että maksimaalinen lihasvoima saavutetaan kun:

- 1) maksimaalinen määrä sekä hitaita, että nopeita motorisia yksiköitä rekrytoidaan
- 2) impulssitiheys on optimaalista tuottamaan yhteen sulautuneet lihassupistukset jokaisessa motorisessa lihassolussa ja
- 3) motoriset yksiköt toimivat yhtäaikaisesti lyhytkestoisessa maksimaalisessa tahdonalaisessa lihassupistuksessa

Psykologiset tekijät ovat myös erittäin tärkeitä. Äärimmäisissä olosuhteissa (elä tai kuole – tilanteet) ihmiset voivat suorittaa yli-inhimillisiä voimasuorituksia. Kun harjoittelemattomat henkilöt (mutta eivät huippu-urheilijat) saavat hypnoosissa ilmoituksen että heidän voimansa on lisääntynyt niin he pystyvät parempiin suorituksiin. Sekä harjoittelemattomien henkilöiden, että huippu-urheilijoiden voima-arvot laskivat kun heille ilmoitettiin hypnoosissa, että heidän voima-arvonsa ovat laskeneet.

Yllämainitut voiman muutokset merkitsevät, että äärimmäisissä tilanteissa keskushermosto (CNS = Sentral Nerve System) joko lisää kiihdyttävää stimulaatiovirtaa, vähentää estävää vaikutusta liikehermoille, tai molempia.

Saattaa olla, että motoristen neuronien aktiivisuus selkäydinhermossa on normaalisti keskushermoston estämää ja että kaikkien motoristen yksiköiden aktivointi lihaksessa ei tämän vuoksi ole mahdollista. Voimaharjoittelun vaikutuksesta ja äärimmäisissä olosuhteissa (esim. tärkeä urheilukilpailu) hermostollinen estovaikutus vähenee yhdessä lisääntyneiden rekrytoitavien liikehermojen ja voiman lisääntymisen kanssa.

Lihasten välinen koordinaatio

Aivan yksinkertaisinkin harjoitusliike on taitoa vaativaa toimintaa mikä vaatii lukuisten lihasryhmien välistä monimutkaista yhteistyötä. Kokonaisen liikekaavion, ennemminkin kuin vain yhden nivelen liike tai yhden lihaksen voima, täytyy olla harjoittelun päätavoitteena. Lisäksi urheilijan tulisi käyttää ”paikallisia” voimaharjoitteita, missä liike suoritetaan vain yhdellä nivelellä, tarkkaan harkiten ja ainoastaan lisänä harjoitusohjelmassa.

Alla on muutamia esimerkkejä tärkeistä kokonaiskoordinaatiomalleista lihasvoiman kehittämiseksi.

▫ **elektrostimulaation käyttö harjoittelussa.** On mahdollista käynnistää hypertrofia ja kasvattaa maksimaalista voimaa yhdessä lihaksessa, esimerkiksi rectus femoriksessa, tai jopa lihasryhmässä (esim. polven ojentajat) elektrostimulaation avulla (EMS). Jos käytetään vain EMS:ta, niin tarvitaan paljon aikaa ja vaivaa saada tämä kasvanut potentiaali mitattavaksi suoritusparannukseksi moninivelisessä liikkeessä kuten esim. jalkakyykyssä. Jotkut urheilijat, jotka ovat kokeilleet EMS, ovat päätyneet siihen tulokseen, ettei se ole ollut vaivan arvoinen. Tavallisen voimaharjoittelun kautta saavutettu voiman lisäys aiheuttaa muutoksia hermostossa jota ei tapahdu kun lihaksia stimuloidaan sähköisesti.

▫ **parhaat painonnostajat ovat maailman vahvimpia ihmisiä** mutta he eivät voi suorittaa hitaita voimisteluliikkeitä mitkä vaativat ”vain” pelkästään voimaa (esim. ristiriipunta renkailla). Toisaalta eliittivoimistelijat eivät harjoittele vapailla painoilla kasvattaakseen voimaa olkapäiden ympärälihakseen. He tekevät sen voimisteluliikkeillä käyttäen omaa kehon painoa vastuksena (raskaita nilkkapainoja tai painovöitä käytetään lisäpainoina aika ajoin).

▫ **bilateraalinen vajuus.** Jos urheilija yhtäaikaaisesti käyttää maksimaalista voimaa kahdessa raajassa niin tuotettu voima kummassakin raajassa on matalampi kuin se on kun voimaa tuotetaan vain yhdessä raajassa. Bilateraalisten lihassupistusten harjoittelu pienentää bilateraalista vajuusta. Esimerkiksi soutajilta tai painonnostajilta vaaditaan kilpailuissa yhtäaikaista samojen lihasryhmien käyttöä molemmissa kehonpuoliskoissa joten heidän tulisi käyttää samanlaisia harjoitteita eliminoidakseen bilateraalista vajuusta.

Pullonkaula-tapauksessa, kun matala voimantuotto kinemaattisen ketjun yhdessä nivelessä rajoittaa suorituskykyä (esim. polven ojentajien voima on rajoittava tekijä jalkakyykyssä), valmentajan tulisi ensiksi vaihtaa harjoitetta jakaakseen kuormaa uudelleen eri lihasryhmien välillä. Vasta tämän jälkeen on eristetyn polviojennusliikkeen harjoittelu vastusta vastaan järkevää.

Tärkeä rajoittava tekijä monissa voimakoneissa on se, että ne on kehitetty harjoittamaan lihasta eikä liikettä. Tästä johtuen ne eivät ole tärkein työkalu voiman kehittämisessä urheilijoilla.

Voimantuoton lainalaisuudet

1. Maksimaalisen voiman suuruus hitaissa liikkeissä ei eroa suuresti isometristen liikkeiden voiman suuruudesta.
2. Suurimmat lihasvoimat saavutetaan eksentrisessä (periksi antava) lihastyössä jossa tuotetut voimat voivat olla jopa kaksi kertaa suuremmat kuin isometrisessä lihastyössä.
3. Konsentrisessa (voittava) lihastyössä voima vähenee kun sen tuottamiseen käytettävä aika lyhenee tai kun liikenopeus kasvaa.
4. Ei ole näkyvää korrelaatiota maksimivoiman ja minimaalisen kevyttä vastusta vastaan tuotetun voiman välillä (kehon paino ei ole minimaalinen vastus). Korrelaatio on suurempi kun vastus kasvaa.
5. Voiman tuoton aste (starttinopeus) ei korreloi maksimaalisen voiman kanssa.
6. Voima harjoitusliikkeissä, jotka vaativat venymis-lyhenemistyylistä lihastyötä, ei muutu raskaan voimaharjoittelun jälkeen, huolimatta maksimivoiman kasvusta (tämä pitää paikkansa ainakin kokeneiden urheilijoiden keskuudessa).

Yhteenvetona seuraavia yleisiä teesejä voidaan ehdottaa lihasvoiman lainalaisuuksiksi:

Voiman tyyppi

Staattinen voima ("voima")

Dynaaminen voima

Äärimmäinen voima

Ilmeneminen

Isometriset ja hitaat konsentriset lihastyöt

Nopeat konsentriset lihastyöt

Eksentriset lihastyöt

Lisäksi, räjähtävä voima (voiman tuoton aste) ja voima, joka esiintyy venymis-lyhenemistyyllisissä lihastoiminnoissa, luokitellaan motorisen toiminnon itsenäiseksi osiksi.

Yhteenvetona luokitellut teesit eivät varmasti ole täydellisen tyydyttäviä tieteelliseltä kannalta katsottuna siitä syystä, että niissä käytetään erilaisia perusteita luokittelussa (liikkeen suunta, nopeus, aika). Lisäksi, erilaisten voimien välillä esiintyvä raja on ennemminkin pehmeä kuin tarkkarajainen. Puutteistaan huolimatta tämä luokitustapa on palvellut käyttökelpoisena työkaluna useiden vuosien ajan. Valitettavasti parempaa tapaa ei tällä hetkellä ole olemassa.

Yhteenveto lihaksen voimantuottoon vaikuttavista seikoista:

- 1) **Sarkomeeriin pituus**; pitempi sarkomeeri → pitemmät filamentit → enemmän välisilloja filamenttien välillä → suurempi supistusvoima
- 2) **Myobibrillien läpimitta**; halkaisijaltaan suurempia fibrillejä → halkaisijaltaan suurempia sarkomeerejä → enemmän filamentteja → enemmän välisilloja filamenttien välillä → suurempi supistusvoima.
- 3) **Myofibrillien lukumäärä**; enemmän fibrillejä yksittäisessä lihassolussa → enemmän sarkomeerejä → enemmän filamentteja → enemmän välisilloja filamenttien välillä → suurempi supistusvoima.
- 4) **Lihassolun sarkoplasmakalvostosta vapautuvien kalsiumionien määrä lihassupistuksessa**; enemmän kalsiumioneja lihassolun solulimassa → enemmän kalsiumioneja kiinnittyy aktiinifilamenttien troponiini-komplekseihin → vapautuu enemmän sitoutumiskohtia myosiinifilamenttien välisilloille → suurempi aktiivisten välisiltojen määrä filamenttien välillä → suurempi supistusvoima.
- 5) **Vapaan testosteronin määrä verenkierrrossa**; mitä enemmän vapaata testosteronia verenkierrrossa → enemmän testosteronia sitoutuu mm. lihas-solujen tumissa oleviin reseptoreihin → suurempi proteiinien muodostus soluissa → filamenttien määrä lisääntyy fibrilleissä → enemmän välisilloja filamenttien välillä → suurempi supistusvoima. Filamenttien määrän kasvu fibrilleissä aiheuttaa niiden läpimitan kasvua ja sen seurauksena niiden jakautumista ja lukumäärän kasvua → lihassolun läpimitta kasvaa → lihas kasvaa.
- 6) **Adrenaliinin määrä verenkierrrossa**; suurempi intensiteetti voimaharjoituksessa → suurempi hermostollinen ja fyysinen stressi → enemmän adrenaliiniä erittyy lisämunaisten ytimeistä verenkiertoon → adrenaliini kiinnittyy solukalvon pinnassa oleviin reseptoreihin → lihassupistuksen aikana enemmän kalsiumioneja vapautuu sarkoplasmakalvostosta lihassolujen solulimaan → enemmän kalsiumioneja kiinnittyy aktiinifilamenttien säätelijäproteiineihin (troponiini) → vapautuu enemmän sitoutumiskohtia myosiinifilamenttien välisilloille → enemmän aktiivista voimavetoa suorittavia välisilloja → suurempi supistusvoima.
- 7) **Nopeiden lihassolujen määrä lihaksen pinta-alayksikköä kohden**; voimantuotto nopeissa ja hitaissa lihassoluissa on sama pinta-alayksikköä kohden mutta nopeiden solujen pinta-ala kasvaa suuremmaksi voimaharjoittelun seurauksena → suurempi fibrillien määrä → enemmän rinnakkain supistuvia sarkomeerejä → enemmän filamentteja → enemmän välisilloja filamenttien välillä → suurempi supistusvoima.

Nopeiden lihassolujen supistusnopeus suurempi samoin kuin rentoutuminenkin → suurempi lihaksen voimantuottonopeus.
- 8) **Lihassolujen määrä lihaksen pinta-alayksikköä kohden**; enemmän lihas-soluja yksittäisessä lihaksessa → enemmän fibrillejä yksittäisessä lihassolussa → enemmän rinnakkaisia supistuvia sarkomeerejä → enemmän filamentteja → enemmän välisilloja filamenttien välillä → suurempi supistusvoima.

9) Hermostolliset tekijät:

a) lihaksista keskushermostoon tulevien sensoristen hermojen estävien ja kiihdyttävien impulssien suhde; enemmän kiihdyttäviä impulsseja → suurempi signaalimäärä pääsee motorisiin yksiköihin → enemmän motorisia yksiköitä rekrytoituu → enemmän supistuvia lihassoluja → suurempi lihasvoima.

Jos taas estäviä impulsseja enemmän → pienempi signaalimäärä pääsee motorisiin yksiköihin → vähemmän motorisia yksiköitä rekrytoituu → vähemmän supistuvia lihassoluja → pienempi lihasvoima.

b) motoristen yksiköiden rekrytointi; maksimaalinen voimasuoritus → keskushermoston suurempi stimuloivien impulssien määrä → enemmän motorisia yksiköitä rekrytoituu → enemmän supistuvia lihassoluja → suurempi lihasvoima.

c) motoristen yksiköiden syttymistaajuus; maksimaalinen voimasuoritus → suurempi stimuloivien impulssien virta keskushermostosta → motoristen yksiköiden syttymistaajuus tihenee (impulssien tiheys nousee) → suurempi lihassolujen supistusvoima (tetanus) → suurempi lihasvoima.

d) motoristen yksiköiden synkronointi; maksimaalinen voimasuoritus → suurempi stimuloivien impulssien virta keskushermostosta → suurempi motoristen yksiköiden synkronointi (samanaikaisuus) → samanaikaisesti supistuvien lihassolujen suurempi määrä → suurempi lihasvoima.

e) hermosolun rakenteelliset ominaisuudet,

- 1) *paksumpi hermosolun aksoni* → suurempi impulssien nopeus aksonissa → lihassolujen nopeampi ja suurempi voimantuotto aikayksikössä.
- 2) *suuremmat välittäjäaineiden varastot aksonin päässä* → suurempi kyky välittää impulsseja synapsiraon yli → suurempi supistusvoima lihassoluissa → suurempi lihasvoima.
- 3) *reseptoreiden määrä ja laatu postsynaptisessa kalvossa* → suurempi reseptoreiden lukumäärä → suurempi välittäjäaineiden kiinnittyminen reseptoreihin → impulssien kulku paranee → lihassolujen supistusvoima kasvaa → lihasvoima kasvaa.

Kaikkiin yllämainittuihin asioihin pystytään oikeanlaisella voimaharjoittelulla vaikuttamaan. Lihasten koordinoitua voimantuottokykyä ja voimantuottonopeutta pystytään parantamaan huomattavasti vuosia kestävästä oikeaoppisesta ja periodisesti lisääntyvästä (intensiivisestä ja kuormasta) lajinnomaisen voimaharjoittelun avulla.

Ari Moilanen

AmVT 2002

LÄHTEET:

Science and Practice of Strength Training (1995). V. Zatsiorsky. Human Kinetics, Champaign

Biomechanics in Sports, Performance Enhancement and Injury Prevention (2000). Edited by V. Zatsiorsky. Blackwell Science Ltd, Oxford

Nykyaikainen urheiluvalmennus (1997). A. Mero, A. Nummela, K. Keskinen. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä

Voimaharjoittelun perusteet (1990). K. Häkkinen, V. Kelli. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä

Designing Resistance Training Programs (1997), Second edition. S. J. Fleck, W. J. Kraemer. Human Kinetics, Champaign

Conference Book of International Conference on Weightlifting and Strength Training, November 10-12, 1998, Lahti, Finland (1998). Edited by K. Häkkinen

Ihmisen fysiologia (1999). E. Haug, O. Sand, Ö. V. Sjaastad, K. C. Toverud. WSOY, Kirjapainoyksikkö Porvoo

Biomechanics of Sport and Exercise (1999). P. M. McGinnis. Human Kinetics, Champaign

Exercise Physiology (1996), Fourth Edition. W. McArdle, W. Katch, V. Katch. Williams & Wilkins Printing, Baltimore, US

Neuroscience, Exploring the Brain (2001), Second Edition. M. F. Bear, B. W. Connors, M. A. Paradiso. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore, US