

Biomekaniikan perusteet

Juha Koskela, Kati Pasanen, Marjo Rinne, Jaana Suni, Annika Taulaniemi
UKK-instituutti

 UKK-instituutti

Biomekaniikka auttaa

- analysoimaan ja ymmärtämään erilaisten asentojen, liikkeiden ja harjoitusmuotojen vaikutuksia kehossa
- ymmärtämään tuki- ja liikuntaelimestössä vaikuttavia, eri rakenteisiin kohdistuvia ulkoisia ja sisäisiä voimia
- muuntelemaan lihaskuntoharjoituksia yksilöllisesti niin, että ne ovat tehokkaita ja turvallisia tuki- ja liikuntaelimestölle
- välttämään liikemalleja, jotka ovat vaaraksi tuki- ja liikuntaelimestölle.

Biomekaniikka tarkastelee

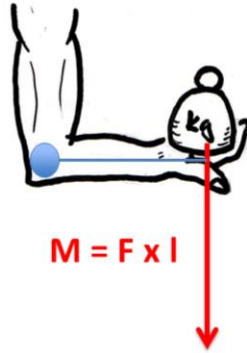
- **Biomekaniikka on soveltava tieteenala, joka perustuu**
 - fysiikkaan
 - kemiaan
 - anatomiaan
 - fysiologiaan.
- **Siinä sovelletaan mekaniikan peruskäsitteitä, kuten**
 - vääntövoima/vääntömomentti
 - vipuvarsi
 - voiman vaikutuspiste/painopiste
 - vastavoima eli reaktiovoima.

Biomekaniikka poikkeaa mekaniikasta sikäli, että tarkastelun kohteena on elävä organismi. Mekaanisen voimantuoton ja -välityksen lisäksi tulee ottaa huomioon myös hermoston vaikutus tarkasteltavaan järjestelmään.

Käytännössä lähes kaikki seikat, niin sisäiset kuin ulkoiset, vaikuttavat jollain tavalla ihmisen mekaniikkaan. Vaikutukset eivät läheskään aina ole suoria. Hermostoon, ja sitä kautta lihasten toimintaan vaikuttavat esimerkiksi unensaanti, ravintotilanne, nestetasapaino, lämpötila ja motivaatio.

Väntömomentti

Lihassupistus on automatisoitunut vaste niveleen/niveliin kohdistuvaan väntömomenttiin (Nm = Newtonmetri).



Hauiskäntö

- **Liikeakseli** = nivelen pyörimisakselin suhteen tapahtuva liike (tässä kyynärnível)
- **Vipuvarsi** = vaakasuora etäisyys liikeakselista voiman vaikutussuoraan
- **Massakeskipiste** = piste, johon kappaleen koko massan kuvitellaan keskittyvän (tässä käsipaino + käsivarren oma paino)
- **Painovoiman vaikutussuora** = massakeskipisteen kautta kulkeva luotisuora

Vääntömomentti ja vipuvarsi kehon eri osissa



Vipuvarsi kuormalle vaihtelee laitteissa ja vapailla painoilla melkoisesti.

Reisipenkissä vipupisteenä toimii polvi. Mitä enemmän polvea ojennetaan, sitä kauemmas vastus siirtyy vipupisteen kautta kulkevasta luotisuorasta. Tämä lisää polveen kohdistuvaa vääntöä.

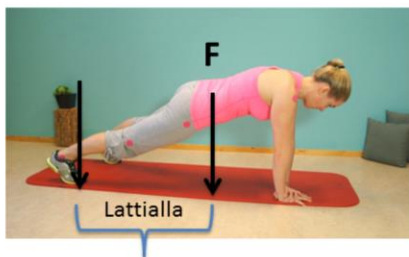
Kaikki kuorma tässä esimerkissä kohdistuu polven ojentaja-aparaattiin. Käytännössä vain polven ojentajat (nelipäinen reisilihas, m. quadriceps femoris) aktivoituvat, koska muihin kuin polviniveleen ei kohdistu momenttia. Kyseessä on yhden nivelen ja liiketason suhteen tapahtuva liike. Siksi vain yksi lihasryhmä toimii eriytyneesti. Hyvä puoli tällaisessa tilanteessa on liikkeen kohdentuvuus tietylle lihasryhmälle. Puutteena toisaalta on saman nivelen, mutta muiden lihasryhmien yhtäaikaisen supistuksen (ko-kontraktio) tuottama tukitoiminta. Niveleen kohdistuu näin helposti epäfysiologisia, niveltä leikkaavia voimia.

Kyykkyliikkeissä painopisteen kautta kulkevan luotisuoran etäisyys alaraajan nivelistä määrittää vääntövarren pituuden. Käytännössä tässä tilanteessa vipuvarsi jaetaan eri nivelten kesken. Tämä tuottaa alaraajojen koko lihaksiston mukaantulon liikkeeseen. Tällä on merkitystä nivelten tukevuuden kannalta. Esimerkiksi polvea ojentavien ja koukistavien lihasten samanaikainen supistus tukevoittaa polven etu-takasuuntaisesti. Kyykky on esimerkki fysiologisesta tavasta tuottaa voimaa alaraajojen lihaksilla.

Vääntömomentti ja vipuvarsi kehon eri osissa



Punnerrus



- Painopiste samassa paikassa
- Vipuvarren pituus muuttuu
- Kuormitus hartiasuunnan lihaksille muuttuu

Punnerrusliikkeessä vastuksena toimii oma keho. Vipupisteenä toimivat käytännössä päkiät. Painopisteen etäisyys vipupisteestä muuttuu asennon muuttuessa.

Seinää vasten punnerrettaessa kehon painopisteen kautta kulkeva luotisuora sijaitsee huomattavasti vipupistettä lähempänä kuin lattiatasossa tehtynä. Näin yläraajoihin kohdistuva momentti jää seinäpunnerruksessa huomattavasti pienemmäksi kuin lattialla punnerrettaessa, eli liike on kevyempi. Lisäksi seinää vasten punnerrettaessa painopiste nousee vähemmän kuin lattialla punnerrettaessa. Tämä vähentää osaltaan punnerrukseen tarvittavaa työmäärää.

Lattialla punnerrettaessa vipuvartta voidaan lyhentää myös vaihtamalla vipupiste polviin ("naisten punnerrus").

Vastavoima eli reaktiovoima

Painopisteen siirtymisen edellytys on, että lihakset tuottavat voimaa lattiaa (tai muuta kappaletta) vastaan, jolloin syntyy reaktiovoima, joka on yhtä suuri, mutta vastakkaissuuntainen.



Istumasta tai kyykystä noustaessa painopistettä nostetaan työntämällä lattiaa alaspäin. Lattiasta kohdistuva vastavoima nostaa painopistettä ylöspäin. Kävellessä tai juostessa tuotetaan voimaa ylöspäin ja taaksepäin. Alustasta painopisteeseen kohdistuva vastavoima työntää painopistettä ylöspäin ja eteenpäin.

Jotta reaktiovoima kohdistuu painopisteeseen aiheuttaen muutoksen sen liiketilaan, tarvitaan alustan ja painopisteen väliin järjestelmä, joka välittää reaktiovoiman. Ihmisellä tämä tapahtuu tuki- ja liikuntaelimestön avulla. Aikuisen ja suurin piirtein normaalipainoisen ihmisen painopiste/massakeskipiste sijaitsee lannerangan kolmannen nikaman runko-osan etupuolella, navan takana. Sen vuoksi etenkin pystyasennossa tehtävissä liikkeissä/toiminnoissa lihasten aktivoiminen aloitetaan painopisteen ympäriltä ja edetään kohti periferiaa. Käytännössä tämä lihasten aktivoituminen tapahtuu yhtä aikaa. Periaatteena kuitenkin on, että lihasten aktivointi tapahtuu keskeltä ulos. Näin lihasten tuottama voima kohdistuu alustaan, ja sieltä välittömästi takaisin tuleva reaktiovoima kulkee samaa reittiä takaisin painopisteeseen antaen sille impulssin.

Mikäli esimerkiksi alaraajojen lihakset ovat tuottaneet alustaan voimaa ennen kuin lihastuki painopisteen ympärillä on valmis, reaktiovoima ei välity täysimääräisenä painopisteeseen. Tässä tapauksessa reaktiovoima saattaa kohdistua painopisteen ohitse aiheuttaen sen siirtymistä väärään suuntaan. Käytännössä tämä näkyy esimerkiksi turhina selän liikkeinä tai lantion ylimääräisenä kallisteluna. Toisin sanoen, osa tuotetusta voimasta menee kehon eri osien keskinäiseen siirtelyyn (sisäinen työ) eikä painopisteen mielekkääseen, haluttuun suuntaan siirtämiseen (ulkoinen työ).

Kyykkyliikkeissä tuotetaan käytännössä kaikki voima alaspäin, jolloin reaktiovoima työntää ylöspäin. Kävellessä ja juostessa osa reaktiovoimasta työntää liikkujan painopistettä ylöspäin (kannattaa kehoa) ja osa työntää eteenpäin.

Reaktivoimien kasvu lisää nivelten kuormitusta

Painopisteen liikenopeuden kasvaessa alavartaloon kohdistuvat reaktivoimat ja nivelten kuormitus kasvavat.

- **kävely** 1–1,5 x bw
- **hölkkä** 2–3 x bw
- **juoksu** 5–6 x bw
- **3-loikka** 12 x bw
- **step-aerobic** 2,8–3 x bw

(BW = body weight eli kehonpaino)



Askelten lukumäärä: kävely = $70 \times 1,5 \times 760 = 79.800$

Henkilö tuottaa voimaa ja kohdistaa sen alustaan (pinkki nuoli). Alusta kohdistaa saman suuruisen, mutta vastakkaissuuntaisen voiman henkilöön. Tämä on vastavoima eli reaktivoima.

Reaktivoima on se voima, mikä liikuttaa ihmisen painopistettä haluttuun suuntaan. Ilmalennon aikana reaktivoima ei vaikuta. Esimerkkinä uimahypyn ilmalentovaihe. Liikkumisen eri tekniikoilla tuotetaan halutun suuntaisia reaktivoimia. Kävelijä ja juoksija liikkuvat eteenpäin, kenties muuttavat suuntaansa, hyppääjä nousee ylöspäin ja peliväline saadaan liikkeelle.

Sivulla esitetyt voimat suhteessa kehon painoon ovat suuruusluokan arvioita.

Yksittäisen harjoituksen vaativuuteen vaikuttavat monet eri tekijät

Voimantuotto

- momentti (vipuvarsi)
- vastus
- liikenoisuus
- lihaspituus/nivelkulma
- lihassupistustyyppi:
 - konsenttrinen
 - eksenttrinen
 - staattinen

Liikehallinta

- tukipinta (suuruus, stabiili/ labiili)
- painopisteen sijainti
- liikkuvien kehon osien määrä
- liiketaso(t)
- symmetrisyys (liiketasot, lihastyötapo kehon eri osissa)
- liikenoisuus
- rytmi ja sen muutokset
- suuntautuminen tilassa

Muuntele näitä eri perusliikemalleissa!

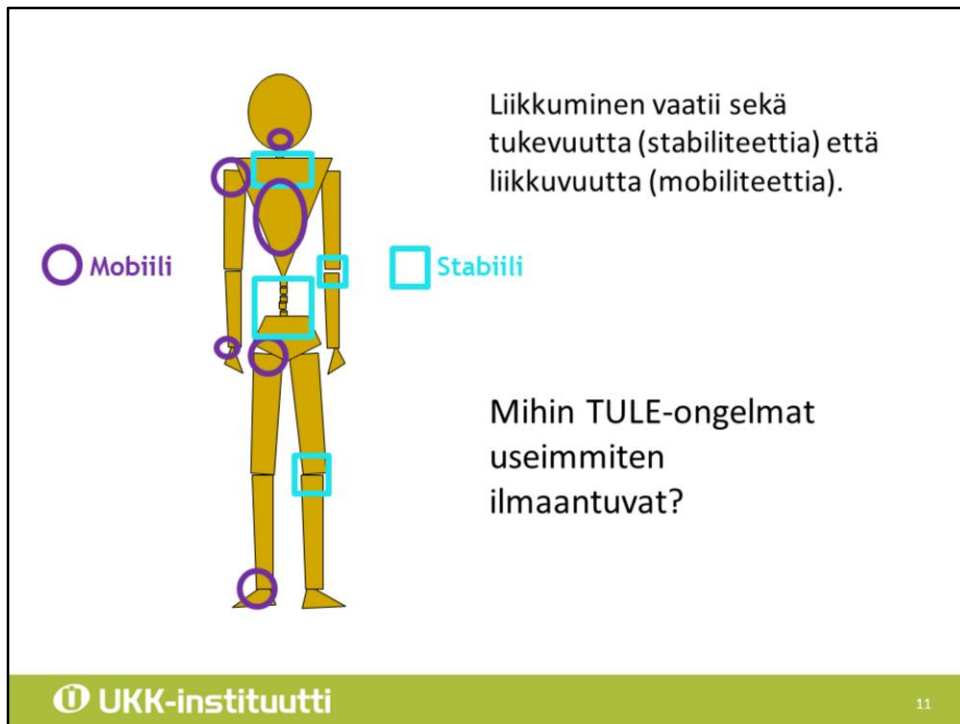
Lihassupistustyyppillä on merkittävä vaikutus voimantuottoon. Eri lihassupistustyyppistä vertaillen voidaan todeta, että konsenttrinen lihastyötapo tuottaa pienimmän voiman, ja supistusnopeuden kasvaessa voimantuotto vähenee. Eksentrisessä voimantuotossa tilanne on päinvastainen. Isometrinen voimantuotto sijoittuu näiden välille.

Arkielämässä tai liikunnan yhteydessä lihassupistuksessa on kyse näiden kolmen eri lihastyötavan vuorottelusta tarkasteltavan liikkeen aikana. Tyypillisesti lihassupistus alkaa eksentrisellä vaiheella, sitä seuraa lyhyt isometrinen vaihe ja lopuksi tulee konsenttrinen supistus. Tätä kutsutaan venymis-lyhenemisyksiksi. Sen merkitys on ennen kaikkea siinä, että tällä tavoin aktiivinen lihas kykenee varastoimaan elastisiin rakenteisiinsa venytysenergiaa ja hyödyntämään varaston seuraavassa supistuksessa. Tämä parantaa mekaanista hyötysuhdetta huomattavasti.

Tasapainon hallinta on helpompaa, kun tukipinta on suuri ja painopiste sijaitsee alhaalla (vrt. seuraava sivua).

Mitä useampaa kehon osaa liikutetaan yhtä aikaa, sitä vaativammaksi liikkeen hallinta muuttuu. Myös se, jos liike tapahtuu useassa tasossa (esim. vartalon taivutus eteen + selän kierto) vaikuttaa liikkeen vaativuuteen. Lisäksi liikkeen vaativuutta lisää sen epäsymmetrisyys, samoin nopea rytmi tai rytmin muutokset. Kuperkeikka vaatii hyvää suuntautumiskykyä. Moni kokee, että ”päässä pyörii.”

**Missä liikeketjun osissa tarvitaan
nivelten stabiliteettia ja
missä liikkuvuutta?**



Nivelten passiivisen liikkuvuuden rajat määrää viimekädessä nivelen muoto ja siihen liittyvät passiiviset rakenteet, nivelkapseli ja nivelsiteet. Toiminnallisesti nämä passiiviset rakenteet ovat terveillä yksilöillä harvoin liikkumista rajoittava tekijä.

Suurin vaikutus toiminnalliseen liikkuvuuteen on lihaksilla ja niihin liittyvillä sidekudosrakenteilla, kuten jänteillä ja lihaksen sisäisillä ja ulkoisilla sidekudosrakenteilla. Lihaksen ollessa rentona nivelen liikelaajuutta rajoittavat käytännössä puoliksi lihakset ja nivelen passiiviset tukirakenteet. Aktiivisena ollessaan lihaksen osuus voi kasvaa huomattavastikin. Tämä tarkoittaa sitä, että liiketaitojen osuus (hermosto) liikkuvuudesta erilaisissa toiminnoissa on hyvinkin ratkaiseva. Henkilö saattaa passiivisesti testattuna omata hyvinkin ison liikelaajuuden, mutta aktiivisessa toiminnassa liikelaajuus ei riitäkään teknisesti hyvään suoritukseen.

Toisaalta nivelten passiiviset tukirakenteet antavat sopivan välyksen nivelelle liikkua. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että lihasten ollessa inaktiivisia, nivel pääsee helposti epäedulliseen asentoon ja vaurioituu helposti. Tämä korostuu etenkin painoa kantavien nivelten osalta. Siksi lihastoiminnan tukea tarvitaan nivelten tukevoittamiseen.

Kehon eri alueet ovat erilaisissa tehtävissä/rooleissa liikkumisessa. Yhden kehon osan on kyettävä tuottamaan riittävän laajaa liikkuvuutta, toisten taas on pysyttävä sopivan tiukkoina, jotta reaktivoiman painopistettä siirtävä vaikutus ei "vuoda", eli alue on stabiili.

Mobiili vai stabiili?

kaularanka	stabiili
rintakehä	mobiili
alaselkä	stabiili
lantio lonkka	mobiili
polvi	stabiili
nilkka	mobiili
jalkaterä	stabiili



Kuva: Kati Pasanen

Liikuttaessa alaraajojen varassa on useimmiten tarkoituksena siirtää kehon painopistettä haluttuun suuntaan. Suunta voi olla eteen tai taakse, ylös tai alas, oikealle tai vasemmalle tai pyöriminen. Jotkin liikuntalajit ja -muodot yhdistelevät näitä kaikkia mahdollisuuksia. Suunnan muutokseen tarvitaan aina voimaa ja tuki, jota vasten voima tuotetaan. Lisäksi vaaditaan voimanvälitysketju painopisteen ja tukipinnan välille.

Painopisteen ympäristön on oltava tukeva, jotta voiman ja vastavoiman välitys onnistuu alustaan ja takaisin. Siksi keskivartalon toimintarooli on pääosin toimia tukena (stabiili segmentti). Jotta painopisteen siirtäminen eri suuntiin onnistuu tehokkaasti, on siihen päästävä suuntaamaan voimaa mielekkäästi eri suunnista. Tähän tähtää riittävä lonkan ja lantioalueen liikkuvuus. Lantio on mobiili segmentti.

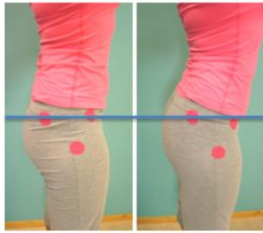
Jotta voimia ja vastavoimia voidaan alaraajan muodostamassa ketjussa siirtää tehokkaasti, polven alueen on oltava tukeva. Se on stabiili segmentti.

Alustan muodot voivat vaihdella suurestikin (esim. suunnistus) tai liikkumissuunnat ja -asennot (esim. jalkapallo, tanssi) muuttua ääripäästä toiseen. Tarvitaan siis liikkuva nilkka mahdollistamaan alustan muotoihin ja liikkujan asentoihin sopeutuva alue. Nilkka onkin mobiili segmentti.

Liikuttaessa alaraajojen varassa KAIKKI voimat kulkevat jalkaterän kautta alustaan ja reaktiovoimat palautuvat samaa reittiä takaisin kehoon. Jalkaterään kohdistuu usein monta kertaa suurempi paino, kuin mitä omistajansa paino paikallaan tuottaa. Tämä vaatii suurta tukevuutta jalkaterältä. Se onkin stabiili segmentti.

Liikeketju eli kineettinen ketju muodostuu vuorotellen stabiilista ja mobiilista kehon alueesta mahdollistaen näin tehokkaan tavan toimia.

Mitä seuraa, kun toimintaroolit muuttuvat?



Esimerkkinä lantion etutiltti, jossa lantion etuyläharju on alempana kuin takayläharju = lantiokori on tiltannut eli kallistunut eteen.



- Alaselän notko lisääntyy.
 - Lonkkaan muodostuu sisäkierto-lähennys-asento.
 - Polvi painuu sisään (valgus).
 - Reisilihaksen vetolinja siirtyy suhteessa ulospäin.
 - Sääri kiertyy sisään.
 - Akilleksen vetolinja tulee kaarevaksi.
 - Alempi nilkkanivel pronatoi, näkyy toiminnallisena sisemmän pitkittäisen jalkaholvin madaltumisena.
- } Polvilumpio pyrkii ulospäin.

Lantion etutiltti on yleisin ja usein näkyvin ilmiö ryhtivirheistä ja liikunnan yhteydessä ilmenevistä tekniikkavirheistä puhuttaessa.

Alaselän notkon suurentuminen tarkoittaa joskus alaselän takarakenteiden kuormittumisen rajuakin lisääntymistä. Keski-asennossa (neutraaliasento) selän puristuskuormitus on 100 %, selän pyöristyessä sen puristuskestävyys putoaa noin kolmannekseen, mutta ylikorostuneen lannenotkon tapauksessa se on vain 1/15 alkuperäisestä. Tällä seikalla voi olla suuri merkitys lajeissa, joissa kuormituspiikkejä kohdistuu alaselkään. Esimerkkeinä hypystä alastulot monessa eri lajissa. Lisäksi taaksetaivutusta on hankalampi tehdä, koska lannerangan ojennussuunnasta on jo otettu liikevarat pieneksi. Tämä haittaa usein esteettisissä lajeissa, joissa kysytään ääripäähän menevää liikkuvuutta jopa satoja kertoja viikossa, ellei jo yhden harjoituksen aikana.

Lantion kallistuessa eteen lonkkanivel kiertyy samalla sisään, lähennykseen ja koukistukseen. Tämä ilmiö liittyy lonkan ja etenkin reisiluun kaulan rakenteellisiin ominaisuuksiin. Lonkan painoa jakava pinta pienenee tämän ilmiön seurauksena, ja sillä voi olla merkitystä nivelen kuormituksen sietokyvylle. Vastaavasti lantion takaosassa olevat istuinkyhmyt siirtyvät takayläviistoon. Tämän seurauksena takareisien kuormitus lisääntyy ja vastaavasti pakaralihaksia on vaikeampi käyttää liikkumiseen tehokkaasti. Lantion etureunan laskeutuessa ja alaselän notkon lisääntyessä lonkan koukistajat kiristyvät, samoin käy suoralle reisilihakselle. Edellä mainittujen lihasten kireys vastaavasti voi aiheuttaa lantion tiltaamista eri toiminnoissa.

Lantion ja lonkan liikkeet välittyvät reisiluuta pitkin polviniveleeseen. Etutiltti lisää polven alttiutta kiertyä kuormitustilanteessa sisään. Kun polvi painuu sisään, (valgukseen) polvilumpion (patella) normaali liukuliike häiriintyy helposti, koska reisilihaksen vetosuunta muuttuu suhteessa polveen. Patella painautuu reisiluun ulompaa nivelnastaa vasten normaalia enemmän. Vastaavasti polven ulompi nivelpinta saa kantaakseen normaalia enemmän kuormaa. Lisäksi polven valgusasento altistaa nivelsidevammoille, etenkin eturistisiteen osalta.

Koska polven pitkittäisakselin suuntainen kierto rajoittuu muutamaan asteeseen, eikä ylempi nilkkanivel käytännössä kierry rakenteensa takia lainkaan pitkittäisakselin suuntaisesti, lonkkanivelessä syntyvät kierrot välittyvät alaraajaketjussa aina alempaan nilkkaniveleeseen (subtalaariniel) saakka. Se toimii kolmen liikeakselin suhteen, joista yksi on sisäkierto, joka puolestaan on pronaatioliikkeen yksi komponentti. Käytännössä lonkan sisäkierto madaltaa toiminnallisesti jalkaterän sisimmäistä pitkittäistä holvia.

Kineettinen ketju – avoin vai suljettu liikeketju?

Reisipenkki



Jalkakyykky



Jalkaprässi



Välittyvätkö voimat painopisteeseen raajan päätesegmentin kautta vai jostain väliltä?

Avoin kineettinen ketju (open kinetic chain) tarkoittaa käytännössä tilannetta, jossa vastus kohdistuu raajaan muualta kuin jalkapohjan tai käden kautta. Toisin sanoen kehon kauimmainen osa (päätesegmentti) ei välitä voimaa liikkeeseen.

Suljettu kineettinen ketju tarkoittaa käytännössä sitä, että voima/vastus välittyy kehon kauimmaisen segmentin, eli käden tai jalkapohjan kautta. Suljettu ketju voidaan vielä jakaa täysin suljettuun ja toisesta päästä suljettuun ketjuun.

Avoimesta kineettisestä ketjusta on tässä esimerkkinä reisipenkillä tehtävä harjoitus. Siinä harjoitusvaikutus kohdistuu käytännössä vain polvea ojentavaan lihasryhmään. Asiassa on vahvuutensa ja heikkoutensa. Joka tapauksessa etureiden lihasten toiminta on eriytynyttä ja liike tapahtuu yksiulotteisesti, eli sen mukaan kuinka harjoituslaite on saranoitu. Yhtäältä etureiteen saadaan kohdennettua harjoitusta. Toisaalta alaraajojen eri lihasryhmien välinen yhteistyö jää olemattomaksi. Tästä seuraa myös polveen epäfysiologisesti kohdistuvia, niveltä leikkaavia voimia.

Suljetun ketjun liikkeissä harjoitusärsyke on usein hyvin erilainen kuin avoimen ketjun liikkeissä. Käytännössä suurin ero syntyy siinä, että liikkeet toimintaan osallistuvissa nivelissä pääsevät tapahtumaan kolmiulotteisesti ja lihasryhmät harjoitetaan tekemään yhteistyötä aivan kuten normaalissa liikkumisessakin.

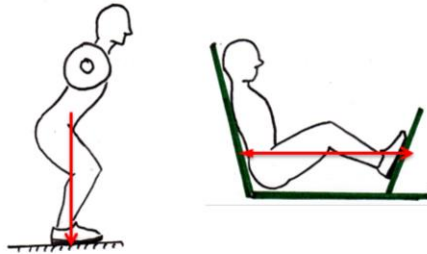
Suljetun kineettisen ketjun harjoitteet ovat toiminnallisia, kuten kyykky (suljettu ketju jalkojen suhteen) tai reisiprässi (suljettu ketju alaraajojen molemmista päistä).

Kineettinen ketju – liikeketju

AVOIN KETJU
esim. reisipenkki



SULJETTU KETJU
esim. jalkakyykky ja jalkaprässi



Välittyväkö voimat painopisteeseen raajan päätesegmentin kautta vai jostain väliltä?

Functional movement screening

Urheilufysioterapian tieteellisissä lehdissä toiminnallisten perusliikemallien kartoitusta (functional movement screening) pidetään tärkeänä selvittäessä:

- (1) onko urheilijalla riittävät taidot osallistua lajinsa harjoitteluun
- (2) voiko urheilija palata turvallisesti harjoittelemaan erilaisten vammojen jälkeen.

Lähteet:

Cook G, Burton L, Hoogenboom BJ, Voight M. Functional movement screening: the use of fundamental movements as an assessment of function - part 1. *Int J Sports Phys Ther* 2014;9(3):396-409. [Free PMC Article](#)

Cook G, Burton L, Hoogenboom BJ, Voight M. Functional movement screening: the use of fundamental movements as an assessment of function-part 2. *Int J Sports Phys Ther* 2014;9(4):549-63. [Free PMC Article](#)

Letafatkar A, Hadadnezhad M, Shojaedin S, Mohamadi E. Relationship between functional movement screening score and history of injury. *Int J Sports Phys Ther* 2014;9(1):21-7. [Free PMC Article](#)