

HYVÄ PAHA JÄYKKYYS JA MUITA URHEILUBIOMEKANIIKAN PARADOKSEJA

TEKSTI: JUHA-PEKKA KULMALA

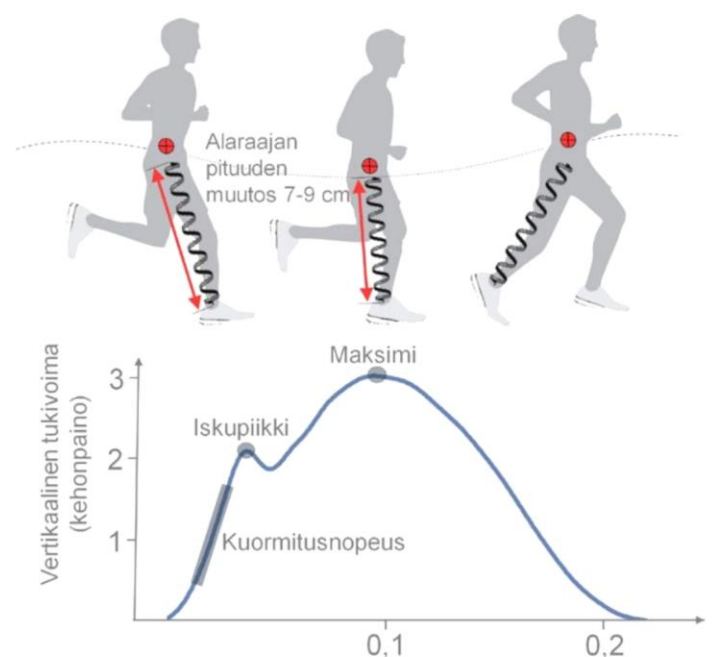


Juha-Pekka Kulmala työskentelee biomekaniikan asiantuntijana ja tutkijana HUSin Liikelaboratoriossa. Hänen tutkimuksensa käsittelee erityisesti kävelyn ja juoksun mekaniikkaa sekä liikuntakyvyn rajoitteita.

Luonnolliselle liikkumiselle, kuten kävelylle, juoksulle ja hyppäämiselle, on kaikille ominaista alaraajan jousimainen toiminta. Sen avulla vältetään epäedullisia törmäysvoimia ja mahdollistetaan taloudellinen lihastyö venymis-lyhenemissyklin kautta. Tehokkaan ponnistusvaiheen kannalta ratkaisevaa on elastisen energian varastoituminen lihaksiin ja jänteisiin sitä edeltävässä jarrutusvaiheessa (1). Tätä voidaan tehostaa alaraajan jäykemmän toiminnan avulla, jolloin liikuntakoneistoon kohdistuvat suuremmat voimat aiheuttavat enemmän venytystä elastisiin rakenteisiin (1, 2).

Alaraajan jousimaista toimintaa ja dynaamista jäykkyyttä voidaan analysoida mekaanisen jousi-massamallin avulla (kuva 1). Analyysin tulokset tarjoavat vastauksen juoksukengän vaimennusparadoksiin sekä saattavat selittää, miksi

alaraajan suuremman jäykkyyden on havaittu olevan yhteydessä kohonneeseen eturistisidevammojen riskiin. Lisäksi alaraajan jäykkyyden vertailu eri liikesuorituksissa tarjoaa näkökulmia urheilulajien oheisharjoitteiden valintaan ja spesifisyysperiaatteeseen.



Kuva 1.

JUOKSUKENGÄN VALINNASSA OBJEKTIIVINEN JA SUBJEKTIIVINEN ARVIO EIVÄT AINA TÄSMÄÄ

Urheilijan fysiologisen kuormituksen mittaamiseen on olemassa monia työkaluja, mutta liikkeen biomekaniikkaan liittyvä analyysi on pääosin subjektiivista. Esimerkiksi liikuntakoneiston tuottamat ja siihen kohdistuvat voimat ja kuormitukset joudutaan yleensä arvioimaan ilman objektiivisia menetelmiä. Yksi tähän liittyvä haaste on juoksukengän valinta, jossa pyritään sekä miellyttävän tuntuiseen että iskutukselta suojaavaan lopputulokseen. Tuntemukseen perustuva jalkinevalinta näyttää johtavan usein kohtalaisen pehmeästi vaimennettuun lopputulokseen (3, 4). Valinta on luonnollinen, sillä kukapa haluaisi juosta epämukavan tuntuksilla juoksukengillä. Mielenkiintoista sen sijaan on se, että parhaan tuntuksilla kengillä jalkaan kohdistuva isku kuormitus ei näytä olevan keskimäärin ainakaan vähäisempi verrattuna valitsematta jääneisiin vaihtoehtoihin (3, 4). Juoksijan jalka ei myöskään näytä pystyvän aistimaan sitä, millä eri kenkävaihtoehdoista jalkaan kohdistuva iskuvoima on matalinta, vaan oma-arvio asiassa osuu poikkeuksetta paksuimmalla ja pehmeimmällä pohjalla varustettuun vaihtoehtoon (3, 4). Tällaisella kengällä juoksun iskukuormitus kuitenkin näyttää jopa kasvavan verrattuna tavanomaisella vaimennuksella varustettuun kenkään (5, 6).

**ISKUKUORMITUKSEEN LIITTYVÄ
AISTIHARHA SELITTYYN
PEHMEÄSTI VAIMENNETUN KENGÄN
KYKYYN JAKAA JALKAPOHJAAN
KOHDISTUVA PAINELAAJEMMALLE
ALUEELLE, JOLLOIN MAKSIMIPAINELA
ALENEE JA ISKUKUORMITUKSEN
AISTIMINEN HEIKKENEE**

Isku kuormitukseen liittyvä aistiharha selittyy pehmeästi vaimennettun kengän kykyyn jakaa jalkapohjaan kohdistuva paine laajemmalle alueelle, jolloin maksimipaine alenee ja iskuvoiman aistiminen heikkenee (7). Maksimialistisen vaimennuksen yllättävää vaikutusta iskuvoimiin taas voidaan selittää alaraajan jäykkyyssäätelyllä: kun hyvin vaimennettu kenkä joustaa jalan alla askelkontaktin alussa, mukautuu alaraajan oma jousto siihen käänteisesti (8). Alaraajan oman jouston vähene- misen seurauksena alaraaja-jalkinesysteemin kokonaisiskunvaimennuksesta voi tulla jopa jäykempi. Tästä seuraa iskuvoiman (F) kasvaminen kehon massan (m) negatiivisen kiihtyvyyden (a) lisääntyessä, sillä voiman suuruus tottelee mekaniikan lakia $F=ma$. Vastaava ilmiö alaraajan jäykkyyssäätelyssä havaitaan, kun ihminen siirtyy juoksemaan kovalta alustalta pehmeämmälle alustalle (9).

Sytä alaraajan jäykkyyssäätelyyn voidaan selittää itseoptimointihypoteesilla. Siinä ajatuksena on, että hermo-lihasjärjestelmän ohjaamana yksilön liikemekaniikka mukautuu luonnostaan minimoimaan submaksimaalisessa liikkumisessa energiankulutuksen (10) tai vaihtoehtoisesti heikkojen lihasten kuormituksen (11). Jäykkyyssäätelyn avulla mm. askelkontaktin kesto ja painopisteen ylös-alas-liike juoksussa säilyvät lähes samana ulkoisista tekijöistä riippumatta (9), millä lienee keskeinen merkitys optimaalisen venymis-lyhenemissyklisen lihastoiminnan kannalta.

Nähtäväksi jää, voisiko yksilölliseen biomekaaniseen mittausdataan perustuva kengän valinta vähentää juoksun iskukuormituksesta johtuvia rasisvammoja. Tämä on mahdollista, sillä eri kenkien vaikutukset juoksun iskukuormituksen suuruuteen ovat huomattavia. Tutkimuksissa eri suuntaiset yksilölliset erot kuitenkin usein kumoavat toisensa, jolloin kaikkien koehenkilöiden keskiarvotuloksissa ei tavallisesti havaita merkittäviä eroja eri kenkien välillä.



PITÄÄKÖ ALARAAJAN OLLA JÄYKKÄ VAI JOUSTAVA?

Urheilubiomekaniikan tutkimukset keskittyvät usein joko vammojen ehkäisyyn tai suorituskyvyn kehittämiseen. Kahtiajaon tuloksena on syntynyt ristiriitainen ajatuskulku, jossa alaraajan jäykkyys näyttyy joko hyvänä tai huonona asiana riippuen siitä, kumpaan aihepiiriin tutkimus kuuluu.

Suorituskykyä tarkastelevat tutkimukset yhdistävät alaraajan suuremman jäykkyyden dynaamisempaan liikkeeseen ja parempaan suorituskykyyn (1, 2, 12). Esimerkiksi juoksunopeuden lisäämisen edellytys on lyhyempi askelkontakti ja suurempi askelpituus, jotka saavutetaan alaraajan dynaamista jäykkyyttä kasvatamalla (13). Suurempi alaraajan jäykkyys taas vaatii suurempia lihasvoimia, nivelmomentteja ja alustaan tuotettuja tukivoimia (13). Samat mekaaniset tekijät erottavat myös nopeammat ja hitaammat juoksijat toisistaan (14, 15).

Urheiluvammattutkimuksissa lähdetään kuitenkin usein ajatuksesta, että liikesuorituksessa ilmenevä korkeampi alaraajan jäykkyys altistaa loukkaantumisille. Ajatuksen synnyttäjä lienee kuuluisa Hewettin ym. (2005) tutkimus (16), jossa vertailtiin vuoden seurantajakson aikana

eturistisidevamma saaneiden ja vamma välttämisen joukkuelajien naisurheilijoiden pudotushypyn biomekaniikkaa. Tulokset osoittivat, että vammautuneilla oli pudotushypyssä paitsi suurempi polven valguskulma ja -momentti, myös keskimäärin 17 % korkeampi tukivoima ja 16 % nopeampi kontakti, 28 % suurempi lonkan ojentajalihasten momentti sekä 10° vähäisempi polven jousto. Tuoreen suomalaistutkimuksen (17, 18) havainnot ovat valgus-muuttujia lukuun ottamatta lähes identtisiä Hewett ym. (2005) havaintojen kanssa: vuoden seurannan aikana eturistisidevamma saaneilla nuorilla naisurheilijoilla oli pudotushypyssä keskimäärin 20 % korkeampi tukivoima, 6° vähäisempi polven jousto sekä n. 10 % suuremmat polven ja lonkan ojentajien tuottamat nivelmomentit verrokkiryhmään nähden. Näiden löydösten tulkinta vaikuttaa selvältä: jäykempi alaraaja (suurempi tukivoima ja nivelmomentit sekä pienempi jousto) pudotushypyssä lisää nuorilla naisurheilijoilla riskiä saada eturistisidevamma. Mutta ratkaiseva kysymys kuuluu, miksi suurempi jäykkyys lisää riskiä?

Suorituskyvyn näkökulmasta katsottuna urheiluvammaturkimusten löydökset tekee mielenkiintoiseksi erityisesti se, että kaikki edellä mainitut muuttujat polven valgus-muuttujia lukuun ottamatta voidaan yhdistää dynaamisempaan liikkeeseen ja parempaan suorituskykyyn (1, 2, 12, 14, 15). Myös Hewettin ryhmän oma pudotushyppy tutkimus nuorilla naislentopalloilijoilla vuodelta 2009 yhdistää korkeammat polven ja lonkan nivelmomentit suurempaan hyppykorkeuteen (19). Siksi syy alaraajan jäykkyyden ja vammariskin yhteydelle saattaakin olla yksinkertaisesti se, että suorituskykyisemmät urheilijat saavat enemmän peliminuutteja ja altistuvat siten enemmän tapaturmille verrattuna vähemmän peliaikaa saaviin pelaajiin. Peliajan määrällä on keskeinen merkitys, sillä valtaosa eturistisidevammoista sattuu pelitilanteissa (17). Koska vammojen ehkäisyyn ja riskitekijöihin keskittyvissä tutkimuksissa harvoin, jos koskaan, raportoidaan hyppykorkeuksia tai yksilöllisesti tilastoituja peliaikoja, jää edellä esitetty hypoteesi kuitenkin toistaiseksi spekulatiiviseksi.

■

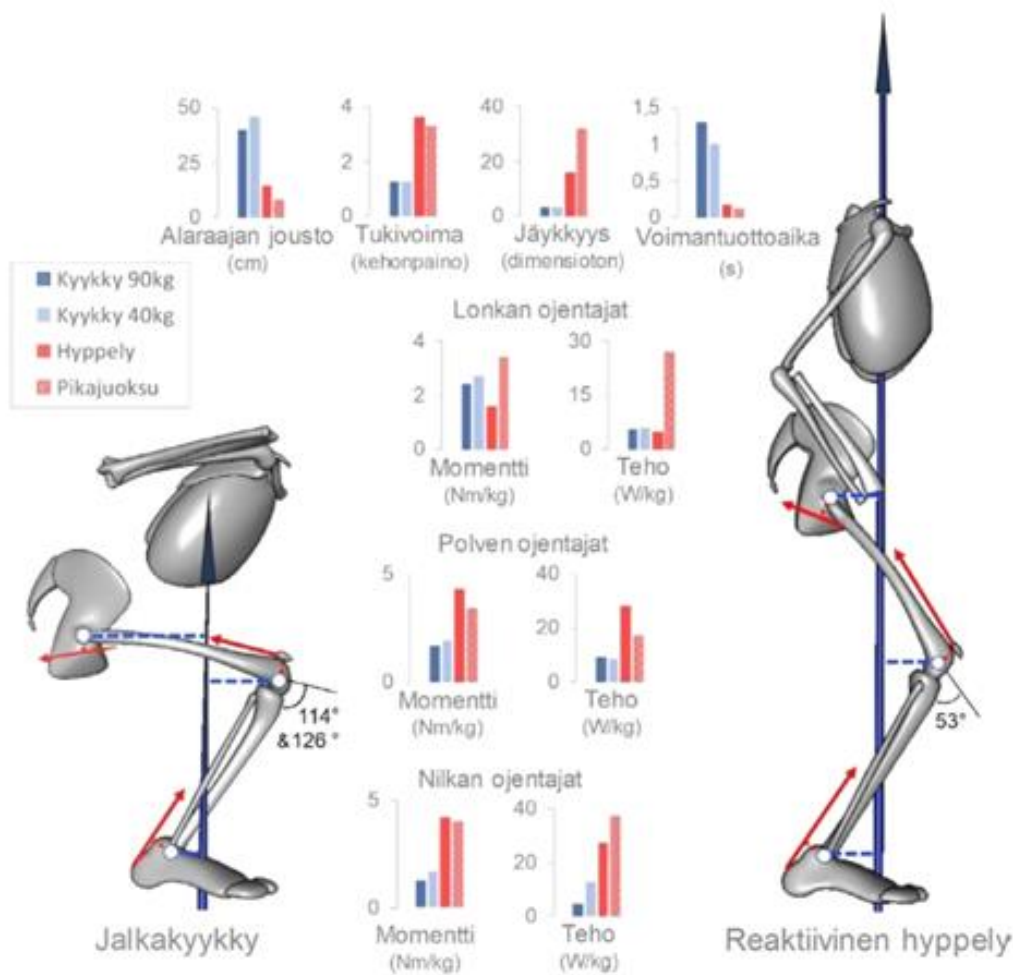
**SUORITUSKYKYÄ TARKASTELEVAT
TUTKIMUKSET YHDISTÄVÄT
ALARAAJAN SUUREMMAN
JÄYKKYYDEN DYNAAMISEMPAAN
LIIKKEESEEN JA PAREMPAAN
SUORITUSKYKYYN**

■

ALARAAJAN JÄYKKYYS JA VOIMAHARJOITTELEMATTOMUUSPARADOKSI

Urheilijan harjoittelussa joudutaan kolkuttelemaan suorituskyvyn ääri rajoja, jotta haluttuja ominaisuuksia saadaan kehitettyä. Voimaharjoittelulla on perinteisesti ollut tärkeä rooli etenkin nopeus- ja teholajien ominaisuusharjoittelussa, joissa suorituskyvyn ydin on nopea voimantuotto. Suosiossa ovat etenkin levytankoliikkeet, kuten jalkakyykky, rinnalleveto ja tempaus, koska niiden ajatellaan tukevan biomekaaniselta profiililtaan erityisen hyvin juoksemista ja hyppäämistä. Mutta mistä tiedämme, miten spesifejä käytetyt harjoitteet todella ovat lajisuoritukseen nähden? Eri harjoitusliikkeiden spesifisyyttä voidaan arvioida yhdistelemällä tietoa useista eri tutkimuksista, vaikkakin metodologiset erot usein vaikeuttavat synteetin tekoa. Valmentajille päänvaivaa saattavat aiheuttaa myös tarinat (20), joiden mukaan menestyäkseen esimerkiksi pikajuoksun huipulla ei välttämättä tarvitse painoja kolistella, vaan tehdä oheistreeninä lähinnä plyometristä loikka- ja hyppelyharjoittelua. Tämä herättää kysymyksiä perinteisen voimaharjoittelun tarpeellisuudesta.

Asian pohtimiseksi kuvassa 2 esitetään jalkakyykyn, hyppelyn ja pikajuoksun keskeisimpiä biomekaanisia muuttujia. Liikkeet on suorittanut 90 kg painoinen nopeus-teholajin harjoittelua tehnyt miesurheilija. Vaikka esitetyt tulokset ovat vain yhdeltä henkilöltä, ovat ne linjassa kirjallisuuden kanssa (8, 11, 15, 21, 22). Tulosten perusteella kyykkysuoritusten liikemekaaninen profiili eroaa merkittävästi hyppelestä ja juoksusta, joille ominaista on alaraajan pieni jousto, suuri jäykkyys, nopea kontakti ja korkea tukivoima. Nivel-tason momentti- ja tehoanalyysi paljastaa ehkä hieman yllättäenkin, että juoksussa ja hyppelyssä pelkästään omaa kehonpainoa liikuteltaessa päästään huomattavasti suurempiin ojentajalihasten tuottamiin voimiin ja tehoihin verrattuna kyykkysuorituksiin.



Kuva 2.

Mielenkiintoinen havainto kyykkysuorituksia vertailtaessa on, että kuorman vaikutus näyttää kompensoituvan suuremmalla liikenopeudella, jolloin 40 kg kuormalla päästään jopa hieman suurempiin ojentajalihasten momentteihin ja tehoihin kuin 90 kg kuormalla. Juoksu taas eroaa hyppelestä erityisesti lonkan suurempien momenttien ja tehojen osalta.

Kontaktia edeltävällä lentovaiheella ja lihasten esiaktivaatiolla on ratkaiseva vaikutus siihen, että juoksussa ja hypyissä päästään tukivoimien sekä nivelmomenttien ja -tehojen osalta selvästi korkeammalle tasolle. Kyykyssä liikenopeus lähtee nollostä ja siksi liikkeen dynaamisuus kärsii kuormasta riippumatta, vaikka pyrittäisiin maksiminopeuteen.

Oma vaikutuksensa on myös kyykyn syvemmän asennon aiheuttamalla epäedullisella vipuvarsimekaniikalla (ojentajalihasten lyhyet vipuvarret suhteessa reaktivoimavektorin vipuvarteen) sekä optimaalista suuremmalla lihaspituudella (etenkin etureiden lihakset).

Tämän tuloksena lihasten täytyy pinnistellä maksimaalisesti, vaikka tukivoima ei ole juurikaan suurempi kuin kävelyssä. Lähemmäs hyppejen tai juoksun nivelkulmia päästään korkeissa kyykyissä, mutta toisaalta näissä jää vielä vähemmän matkaa kiihdyttää liikenopeutta ennen suunnanmuutosta.

Sellaisenaan kyykyn biomekaniikka toki palvelee lähtökiihdytyksen ensimmäisiä askelia, joissa voimantuottoajat ja nivelkulmat ovat lähempänä kyykyn vastaavia. Hyppe- ja loikkaharjoitteille on kuitenkin syytä antaa suuri painoarvo kaikissa lajeissa, joissa edellytetään suurta alaraajan jäykkyyttä. Kaikkein spesifimpien oheisharjoitteiden valinta jää kuitenkin osittain arvailujen varaan, sillä eri voimaharjoitteita, hyppejä, juoksua, kiihdytystä tai jarrutusta kattavasti vertailevia tutkimuksia ei ainakaan alaraajan jäykkyyden tai niveltason biomekaniikan osalta ole saatavilla. ■

Hyvä paha jäykkyyks, Juha-Pekka Kulmala:

1. Komi P.V. & Bosco C. 1978. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports* 10 (4), 261-5.
2. Horita, T., Komi, P., Nicol, C., & Kyröläinen, H. 2002. Interaction between pre-landing activities and stiffness regulation of the knee joint musculoskeletal system in the drop jump: implications to performance. *European journal of applied physiology* 88 (1-2), 76-84.
3. Sterzing T., Schweiger D., Ding R., Cheung J.T. & Brauner T. 2013. Influence of rearfoot and forefoot midsole hardness on biomechanical and perception variables during heel-toe running. *Footwear Science* 5, 71-79. doi: 10.1080/19424280.2012.757810
4. Dinato R.C., Ribeiro A.P., Butugan M.K., Pereira I.L., Onodera A.N. & Sacco I.C.. Biomechanical variables and perception of comfort in running shoes with different cushioning technologies. *J Sci Med Sport*. 2015 Jan;18(1):93-7.
5. Pollard C. D., Ter Har J. A., Hannigan J. J. & Norcross, M. F. Influence of Maximal Running Shoes on Biomechanics Before and After a 5K Run. *Orthop. J. Sport. Med.* 6, 232596711877572 (2018).
6. Chan Z.Y.S., Au I.P.H., Lau F.O.Y., Ching E.C.K, Zhang J.H. & Cheung R.T.H. Does maximalist footwear lower impact loading during level ground and downhill running? *Eur. J. Sport Sci.* 18, 1083-1089 (2018).
7. Ogston J.K. Comparison of in-shoe plantar loading forces between minimalist and maximalist cushion running shoes. *Footwear Science*. (2019) epub.
8. Kulmala J.P., Kosonen J., Nurminen J. & Avela J. Running in highly cushioned shoes increases leg stiffness and amplifies impact loading. *Sci Rep*. 2018 Nov 30;8(1):17496. doi: 10.1038/s41598-018-35980-6.
9. Ferris, D. P., Louie, M. & Farley, C. T. Running in the real world: adjusting leg stiffness for different surfaces. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 265, 989-994 (1998)
10. Hoyt DF, Taylor CR. Gait and the energetics of locomotion in horses. *Nature*. 292, 239-240 (1981)
11. Kulmala J-P, Korhonen M, Ruggiero L ym. Walking and Running Require Greater Effort from Ankle than Knee Extensor Muscles. *Med. Sci. Sport. Exerc.* 48(11): 2181-2189. (2016)
12. Maloney S. J., & Fletcher I.M. Lower limb stiffness testing in athletic performance: a critical review." *Sports biomechanics* 1-22. (2018).
13. Arampatzis, A., Brüggemann, G. P., & Metzler, V. The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. *Journal of biomechanics*, 32(12), 1349-1353. (1999).
14. Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of applied physiology*, 89(5), 1991-1999. (2000).
15. Kulmala, J. P., Korhonen, M. T., Kuitunen, S., Suominen, H., Heinonen, A., Mikkola, A., & Avela, J. Which muscles compromise human locomotor performance with age? *Journal of The Royal Society Interface*, 11(100). (2014).
16. Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt Jr, R. S., Colosimo, A. J., McLean, S. G., & Succop, P. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *The American journal of sports medicine*, 33(4), 492-501. (2005).
17. Leppänen, M., Pasanen, K., Kujala, U. M., Vasankari, T., Kannus, P., Äyrämö, S., Krosshaug T, Bahr R., Avela J., Perttunen J. & Parkkari, J. Stiff landings are associated with increased ACL injury risk in young female basketball and floorball players. *The American journal of sports medicine*, 45(2), 386-393. (2017).
18. Leppänen, M., Pasanen, K., Krosshaug, T., Kannus, P., Vasankari, T., Kujala, U. M., Bahr R., Perttunen J. & Parkkari, J. (2017). Sagittal plane hip, knee, and ankle biomechanics and the risk of anterior cruciate ligament injury: a prospective study. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 5(12), (2017).
19. Ford KR, Myer GD, Brent JL, Hewett TE. Hip and knee extensor moments predict vertical jump height in adolescent girls. *J Strength Cond Res*. 2009 Jul; 23(4): 1327-1331.
20. Lewis Thinks Gold And Pumps Iron. *The New York Times*, Feb. 5 (1996). (<https://www.nytimes.com/1996/02/05/sports/lewis-thinks-gold-and-pumps-iron.html>)
21. Lahti J, Hegyi A, Vigotsky AD, Ahtiainen JP. Effects of barbell back squat stance width on sagittal and frontal hip and knee kinetics. *Scand J Med Sci Sports*. Jan;29(1):44-54. (2019).
22. Swinton PA, Lloyd R, Keogh JW, Agouris I, Stewart AD. A biomechanical comparison of the traditional squat, powerlifting squat, and box squat. *J Strength Cond Res*. 26(7):1805-16. (2012)