Suvi Viranta-Kovanen

Selän evoluutiosta

Ihmisen selkäranka on samankaltainen kuin muidenkin nisäkkäiden ranka. Se koostuu nikamista, joiden muoto vaihtelee sijaintinsa mukaan. Nikamat liittyvät toisiinsa välilevyn ja kahden nivelen avulla. Evoluutiohistorian aikana ihmisapinoiden hartiakaaressa ja rintakehässä tapahtuneiden muutosten seurauksena ihmisen pitkät selän ojentajalihakset ovat kapeat ja poikittaiset lihakset ovat lyhyet. Lanneranka on pitkä ja kapea verrattuna muihin ihmisapinoihin. Se on kehittynyt joustamaan ja tasapainottamaan energiatehokasta kävelyä ja juoksua. Selän liikkuvuus on syntynyt osin kestävyyden kustannuksella. Nisäkkään selkä kestää hyvin puristusvoimia, mutta on herkempi vääntövoimille. Lihasten ja fasettinivelten ohella kaksijalkaisen liikkuvaa kapeaa selkää suojaavat väännöiltä vinoista sidekudossäikeistä koostuvat nivelsiteet ja -kalvot.

Selkäranka on perintöä lähes 500 miljoonaa vuotta sitten meressä eläneiltä esivanhemmilta, joilla oli sauvamainen selkäjänne pitkulaista vartaloa tukemassa. Sidekudoksinen selkäjänne korvautui vuosimiljoonien saatossa rustolla ja mineralisoitui lopulta luuksi. Näin kehittynyt pienistä yksiköistä, nikamista, koostuva luinen selkäranka suojasi dorsaalista aorttaa ja selkäydintä sekä tarjosi kiinnityskohtia vedessä uivan eläimen vartaloa aaltomaisesti liikuttaville lihaksille (1).

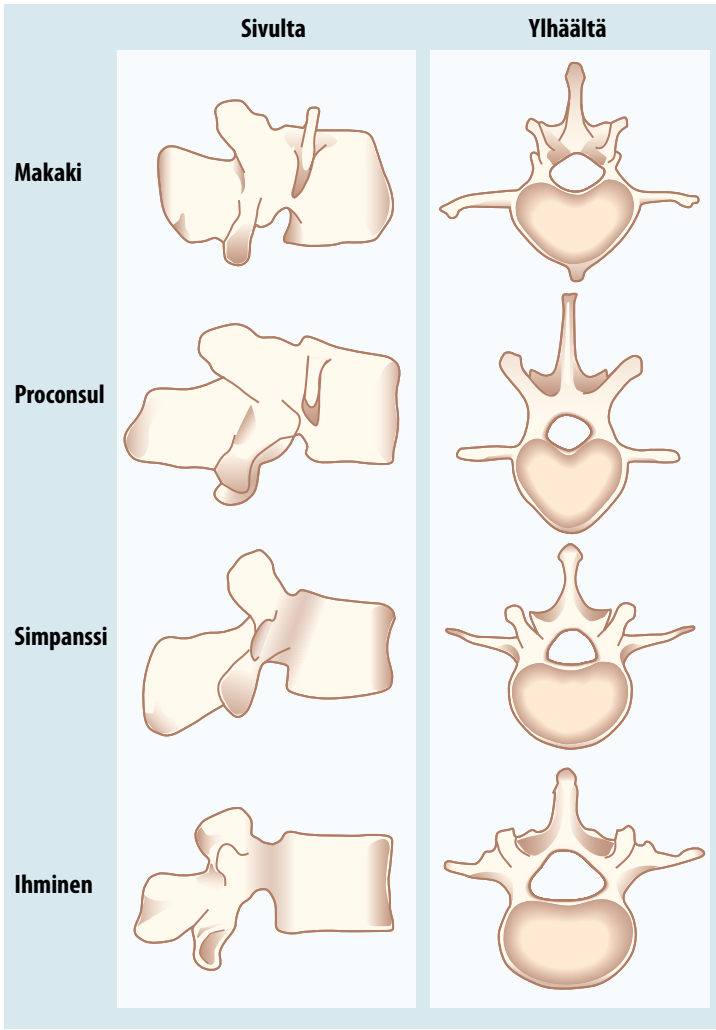
Selkäranka mahdollisti sittemmin sen, että nelijalkaiset (tetrapoda) nousivat kuivalle maalle, pois veden nosteesta. Selkärankaan kohdistui voimakkaita puristusvoimia, kun se pingottui etu- ja takaraajojen väliin. Ihmisselkään kohdistuva painovoiman aiheuttama kuormitus on vastaava puristusvoima. Selkäranka on siis sopeutunut puristusvoimiin jo nisäkkäiden evoluution alkutaipaleella, eikä pystyasento yksinään riitä selittämään selkävaivojen yleisyyttä (2).

Selkäranka sopeutuu nikamatyyppien avulla

Primitiivisessä selkärangassa nikamat ovat toistensa kaltaisia. Kaloilla rangassa erottuvat vartalonikamat ja häntänikamat. Nisäkkäillä ranka koostuu viidestä osasta, jotka ovat kaularanka, rintaranka, lanneranka, ristiranka ja häntäluut. Kaulanikamia on lähes aina seitsemän (poikkeuksena laiskiaiset ja manaatit), kun taas muiden nikamien määrää vaihtelee ryhmittäin ja toiminnan mukaan (1).

Yksilönkehityksen aikana *homeobox* (Hox) -geenin ilmentymä määrittelee, millainen nikamasta tulee (3). Saman lajin sisällä voi esiintyä yksilöiden välistä vaihtelua nikamatyyppien keskinäisissä suhteissa sekä nikamien kokonaismäärässä. Esimerkiksi suomalaisista miehistä viimeisen lannenikaman kokonaista tai osittaista luutumista ristiluuhun (sakralisaatio) esiintyy noin 20 %:lla (4).

Nisäkkäillä nikamasolmua liittävät toisiinsa ainutlaatuiset rustoiset välilevyt (1). Muinainen selkäjänne surkastuu nisäkkään kehityksen alkuvaiheessa, mutta siitä saavat alkunsa välilevyn ytimen (nucleus pulposus) solut. Ne tuottavat proteoglykaaneja, jotka pitävät välilevyn sisäosan matriksin geelimäisenä ja hydrofobisena. Sidekudosrustoinen syykehä (anulus fibrosus) sulkee ytimen nikamien rustoisten päätelevyjen väliin. Välilevyn ydin on toiminnan kannalta tärkeä: rankaan kohdistuvasta puristusvoimasta suurin osa välittyy joustavaan ytimeen, ja nikamien liike syntyy pyöreän ytimen ympärillä (5).



KUVA 1. Ihmisen L III -nikama verrattuna reesusmakakin, proconsulin (varhainen fossiilinen ihmisapina) ja simpanssin L III -nikamiin. Ihmisen ja simpanssin poikkihaarake lähtee nikamakaaresta, kun taas makakin ja proconsulin poikkihaarake kiinnittyy nikamasolmuun.

Voimat välittyvät nikamalta toiselle enimmäkseen juuri välilevyn kautta nikamasolmujen välillä, mutta osa painosta jakautuu nikamakaaren fasettinivelille. Nikamasolmuun kohdistuvat puristusvoimat välittyvät välilevyn kautta luiseen päätelevyyn. Vääntövoimia vaimentavat Putzin ja Müller–Gerblin (2) mukaan syykehän vinot säikeet yhdessä rangan vinottain suuntautuneiden nivelsiteiden kanssa. Lannealueella myös lanneselkäkalvo (fascia thoracolumbalis) osallistuu vääntövoimien vaimentamiseen. Lisäksi sekä pinnalliset selkälihakset (m. latissimus dorsi, m. intertransversarii lateralis lumborum) että erityisesti vinot vatsalihakset (m. obliquus externus abdominis ja internus abdominis) tukevat kiertoliikkeessä rankaa (6,7).

Kaaret tukevat ja joustavat

Nelijalkaisen nisäkkään selkärangan kaaret antavat välilevyn ohella tukea ja joustoa rankaan. Rinta- ja lannenikamien muodostama kaari (kyfoosi) asettuu etu- ja takaraajojen väliin kuin jännitetty jousi. Kaareva selkäranka osallistuu monilla nisäkkäillä raajojen liikkeeseen, mut-

ta nopeaan ja pitkäkestoiseen laukkaan jäykkä selkäranka on parempi ja turvallisempi. Esimerkiksi hevosen selkä on suora ja vähäliikkeinen.

Kaaret lisäävät myös ihmisselän joustoa ja auttavat pystyasennossa. Kaarien kääntöpisteet asettuvat suoraan ihmisen massakeskipisteen kohdalle. Kaularanka kannattelee päätä, jonka tasapainopiste on aivolisäkkeen kohdalla eli kitaluun (os sphenoidale) turkinsatulan (sella turcica) kohdalla. Niskalihakset ja nivelsiteet ylläpitävät kaulannotkoa (lordoosia). Ihmisellä on erityinen päällyssiteen (ligamentum supraspinale) paksuntuma, fibroelastinen niskaside (ligamentum nuchae), estämässä pään notkahdusta eteenpäin. Muilla ihmisapinoilla niskasidettä ei ole (8), mutta esimerkiksi hevosella on.

Ihmisen selkäranka koostuu neljästä kaaresta. Lordoosi kääntyy rintarangan kyfoosiksi viimeisen kaulanikaman (vertebra prominens) kohdalla. Kyfoosi kääntyy lordoosiksi viimeisen rintanikaman (TXII) kohdalla, ja kyfoosi jatkuu taas ristiluussa.

Lannerangan lordoosille nivelsiteiden ja lihasten tuki on erityisen tärkeä, sillä siihen kohdistuvat koko ylävartalon painon myötä voimakkaat puristusvoimat ja liikkuvuuden seurauksena myös vääntövoimia. Rintarangan kohdalla kylkiluut estävät liian suuria vääntöjä.

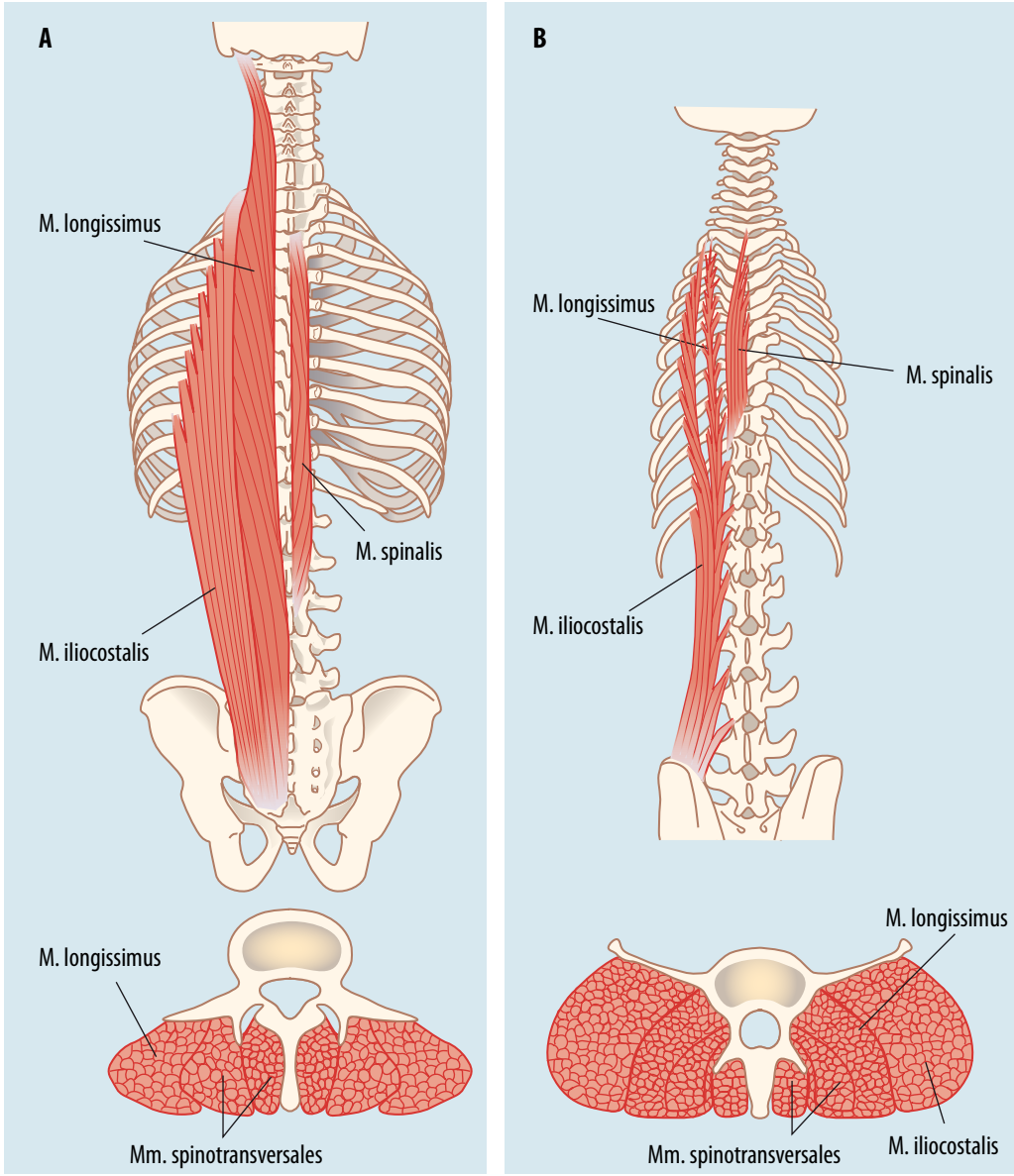
Lannerangan nikamasolmut muuttuvat suuremmiksi kaudaalisesti. Kolmas lannenikama (LIII) toimii lordoosin ylimenokohtana. Ihmisen lanne-ristiluuliitos on poikkeuksellisen vahva. Viimeisen lannenikaman (LV) suhteellinen koko on suurin nisäkäskunnassa tunnettu, samoin fasettinivelten koko ja keskinäinen etäisyys ovat ennätyksellisen suuret (9). Rakenne on optimoitu kestämään vääntöä. Vääntövoimat ovat silti selälle puristusvoimia vaarallisempia. Nykyisin jopa 18 % selkävaivoista syntyy selän kiertoliikkeen aikana (10).

Selkäranka muokkautui tukemaan leveää rintakehää

Varhaiset kädelliset olivat nelijalkaisia puissa liikkuvia otuksia. Niillä oli pitkä selkä, ja lannenikamia saattoi olla jopa seitsemän. Lisäksi nikamat poikkesivat rakenteeltaan ihmisapinoiden nikamista (KUVA 1). Niissä oli nikamakaaren juuressa puikkolisäkkeet (processus styloideus), joihin osa selkärangan poikittaisista lihaksista (muun muassa transversospinales, spinotransversales) ja häntää liikuttavat lihakset kiinnittyivät. Ihmisapinoilla on näistä jäänteenä pieni kyhmy (processus accesorius) nännilisäkkeen (processus mammillaris) vieressä. Selän ojentajalihakset (muun muassa erector spinae) kiinnittyivät nikamasolmuista lähteviin poikkihaarakkeisiin (processus transversus). Ihmisapinoilla poikkihaarake ei lähde nikamasolmusta vaan posteriorisemmin nikamakaaresta. Sekä poikittaiset että ojentajalihakset ovat tämän ansiosta voimakkaammat nelijalkaisilla apinoilla kuin ihmisapinoilla (KUVA 2). Ihmisapinoiden kehitys vei kohti pienempiä selkälihaksia (11).

Rakenteen muutos alkoi yläraajoista. Puissa yläraajojen varassa oksalta toiselle keikkuvat varhaiset ihmisapinat tarvitsivat liikkuvan olkanivelen. Solisluu siirsi olkanivelen rintakehän sivulle lateraalisemmaksi, ja lapaluun asento muuttui transversaaliksi, niin että hartiakaaresta tuli leveä. Samalla rintakehä muuttui tynnyrimäiseksi (8). Takaa (dorsaalisesti) ihmisapinoiden leveää rintakehää siirtyi tukemaan sisäänpäin työntyvä (invaginoitunut) rinta- ja lanneranka. Tämän myötä poikkihaarakkeet siirtyivät nikamasolmusta nikamakaareen ja selän ojentajalihasten kiinnitys muuttui (KUVA 1) (11).

Selkärangan uudelleenmuovautumisen takia pienet ja kapeat selän ojentajalihakset tukevat rangan vääntöliikkeitä huonosti (11,12). Ihmisapinoilla lannerangan liikkuvuutta, ja samalla siihen kohdistuvaa vääntöä, rajoittaa sen lyhyys. Simpanssin lanne koostuu vain neljästä nikamasta. Sitä tukee korkea suoliluu (ilium), joka on melkein kiinni kylkikaaressa. Lanneselkä on aivan suora ja joustamaton. Se toimii tukena simpanssin kiipeillessä puissa sekä rystykävelyssä, jossa paino on takaraajojen ja kämmenselkä alaspäin käännettyjen eturaajojen välissä. Simpanssin kahdella jalalla kävely on kömpelöä. Koska selkä ei jousta, raajat toimivat jousina: sekä polvi että lonkkanivel ovat koko askelsyklin läpi koukussa. Askeltamiseen kuluu paljon energiaa, ja se on hidasta (13).



KUVA 2. Posteriorinen näkymä selän ojentajalihaksista ja transversaalitason leikkaus L3-nikaman kohdalta. Nikamaan on piirretty siihen kiinnittyvät ojentajalihakset ja poikittaiset lihakset. Kuvassa **A** on ihminen, kuvassa **B** on reesusmakaki.

Kaksijalkainen tarvitsee lannerankaansa joustoa

Kaksijalkaisen alkuihmisen selän rakennetta ei täysin tunneta, koska fossiiliaineistossa on säilynyt valitettavan vähän kokonaisia rankoja. Vallitsevan teorian mukaan ihmisen ja muiden ihmisapinoiden viimeisellä yhteisellä esivanhemmalla oli lyhyt lanneselkä (14). Kaksijalkaisten pidempi lanne syntyi, kun alin rintanikama ja ylin ristinikama muuttuivat lannenikamiksi eli lumbalisoituivat (15). Toisaalta on myös esitetty, että ihmisen selkänikamien määrä olisi primitiivinen ja lyhyt lanneselkä olisi kehittynyt erikseen kaikille muille nykyisille ihmisapinoille (13). Tätä teoriaa tukee

Ydinasiat

- Nisäkkään selkäranka on kehittynyt vastaanottamaan puristusvoimia, ihmisen rankaan kohdistuvat voimat eivät ole ainutlaatuisia.
- Ihmisen kapea lanneranka on altis vääntövoimille liikkuvuutensa takia.
- Selän asentovirheitä ja rappeumia esiintyi jo varhaisilla kaksijalkaisilla.

myös se, että nykysimpansseilla esiintyy paljon muuntelua lannenikamien määrässä (16).

Joka tapauksessa kaksijalkaisilla oli aluksi kuusi lannenikamaa (17). Saattoi olla, että varhaiset kaksijalkaiset, etelänapinat, tarvitsivat pitemmän lanneselän ja paremman lordoosin, koska niiltä puuttuivat jalkaholvit. Askelsyklin aikana maahan osuessaan niiden alempi nilkkanivel (articulatio subtalaris) vääntyi voimakkaaseen eversioon (hyperpronaatio). Tämä johti reiden sisäkiertoon, joka puolestaan taivutti lantiota eteenpäin. Korostunut lordoosi korjasi lantion kallistumista niin, että vartalon painopiste pysyi tarpeeksi takana. Kun jalkaholvit kehittyivät ja jalan biomekaniikka kohentui, saattoi lordoosi oieta hiukan ja lanneselkä lyhentyä (18). Nykyihmiselläkin lättäjalka aiheuttaa korostunutta lordoosia (19).

Nikamat, välilevyt ja lihasvoima muodostavat lannenotkoa

Kaksijalkaisen lantio ja lannerangan lordoosi muovautuivat yhdessä (20). Ihmisen leveän ristiluun (sacrum) ansiosta risti-suoliluunivelet (articulatio sacroiliaca, SI-nivel) ovat kaukana toisistaan. Toisaalta lonkkanivel (articulatio coxae) on lateraalinen, vartalon sivulla, joten se on lähellä risti-suoliluuniveltä. Näin reisiluu (femur) suuntautuu suoraan vartalon alle. Suoliluu on matala, ja se antaa lanne-ristinikamaliitokselle vapautta. Liitos muodostaa kulman, jossa lannerangan lordoosi kääntyy ristiluun kyfoosiksi.

Vaikka korostunut lordoosi on nykykädellisten joukossa tyypillinen vain ihmiselle, se on saatu kehittymään myös koe-eläimille. Kun japanilaisessa kokeessa makakit opetettiin ja pakotettiin kävelemään kahdella jalalla ja ilmeisesti estettiin neljällä jalalla kävely, niille kehittyi selkeä lannelordoosi. Asento johtui siitä, että nikamat kehittyivät kiilamaisiksi. Makakien lordoosi olikin jäykkä, eikä niiden alaselkä oiennut edes istuessa, kuten ihmisellä (21).

Ihmisen lordoosi ei olekaan vain lannenikamien kiilamaisen muodon ansiota, vaan sitä tukee myös alueen välilevyjen muoto (22). Monihalkoinen lihas (m. multifidus lumborum) on ihmisellä poikkeuksellisen leveä ja tärkein lordoosia ylläpitävä lihas (7). Vastavaikuttaja, suora vatsalihas (m. rectus abdominis), rajoittaa lordoosia.

Naisilla on luontaisesti voimakkaammin kiilautuneet nikamat, jotka raskauden aikana mahdollistavat lordoosin korostumisen (23). Naisilla on myös suuremmat ja pienemmässä kulmassa olevat (koronaalisemmat) fasettinivelet. Samat sukupuolien väliset erot nikamarakenteessa on löydetty jo varhaisilta apinaihmisiltä (24).

Toiko pystyasento lisää selkävaivoja?

Selkärangan sairauksia tavataan kaikilla selkärankaisilla. Witzmann ym. (25) kuvailivat nuoren dinosauruksen nikamissa tulehduksellisen taudin merkkejä. Eläinlääketieteessä erityisesti koirien ja hevosten selkävaivat ovat yleisiä. Välilevytyrä on yleisin mäyräkoirilla, mutta niitä esiintyy kaikilla muillakin roduilla, koosta tai rakenteesta riippumatta (26). Sekä hevosilla että ihmisillä monihalkoisten lihasten epäsymmetrisyyden on todettu aiheuttavan selkäkipuja (27,28). Mielenkiintoista on, että vankeudessa elävien kädellisten selkärangat rappeutuvat lähes samoin kuin ihmisen, kun taas luonnonvaraisilla kädellisillä ei rappeumatauteja juuri tavata (29).

Etelänapinoilta on löydetty paljon nikamasolmun patologisia muutoksia (30). Fossiilisissa nikamissa näkyy Scheuermannin tautiin viittaavaa solmun epätasaista kasvua. Havain-

toja on paljon enemmän kuin nykyihmisillä taudin ilmaantumisen perusteella voisi odottaa. Etelänapinat näyttävät siis kärsineen Scheuermannin taudista ja siitä aiheutuvista selän virheasennoista enemmän kuin nykyihmiset. Etelänapinoiden nikamasolmut olivat ruumiinpainoon verrattuna pienemmät kuin nykyihmisellä. Ne ovat saattaneet olla alttiimpia häiriöille juuri tämän takia (31). Etelänapinoiden nikamissa esiintyy myös osteofyyttejä (32).

Välilevyrappeumaan viittavia muutoksia on havaittu myöhemmillä kaksijalkaisilla (33). Välilevyn repeämät näkyvät fossiilisissa luuaineistoissa nikamasolmussa kuoppina, Schmorlin keräsinä. Keskiajalla eläneiden nykyihmisten luuaineistoa tutkittaessa havaittiin, että nikaman muoto vaikutti Schmorlin kerästen esiintymiseen. Tutkimuksessa kaksijalkaisten alkukantaisiksi tulkituissa, enemmän nelijalkaisten ihmisapinoiden rakenneta muistuttavissa nikamissa, esiintyi enemmän välilevyn repeämiä (24). Tutkimuksen voisi tulkita niin, että nykyihmisen nikamissa on muuntelua, joka valinnan kohteeksi joutuessaan (jos primitiivinen selkäranka vaikuttaisi elinkykyyn ja jälkeläisten hankintaan) ohjaisi selkäämme kestävämmäksi.

Lopuksi

Ihmisselkä on toimiva ratkaisu kaksijalkaiselle, jonka täytyy liikkua tehokkaasti ja turvallisesti. Se on sopeutunut myös nopeaan etenemiseen eli juoksemiseen. Evoluutiohistoria selittää selän rakenteen. On hyvä muistaa, että selkä ei ole sopeuma nykyiseen elämäntyyliin vaan yli viisi miljoonaa vuotta pystyssä kulkeneen keräilijän, ja myöhemmin myös metsästäjän, liikkuvaan elämään. ■

SUVI VIRANTA-KOVANEN, FT, paleobiologian dosentti, anatomian yliopistonlehtori
Helsingin yliopisto, lääketieteellinen tiedekunta, anatomian osasto

SIDONNAISUUDET
Ei sidonnaisuuksia

VASTUUTOIMITTAJA
Ville Sallinen

SUMMARY

On the evolution of human back

This paper is a review of the evolution of the human spine and back. The human vertebral column is very similar to mammals in general. It is regionalized into five regions with different functions and vertebrae shapes. The adjacent vertebrae join by the intervertebral discs and two synovial joints. As a result of the morphology of the pectoral girdle and the shape of the thorax, the hominid erector spinae muscles are slender and the transversospinales muscles are short as compared with other primates. Compared with the apes, humans have a long lumbar spine. It has evolved to balance the bipedal locomotion. The mobility of the spine has resulted in decreased stability. The mammalian vertebral column has evolved to sustain compression, but less torsion. The flexible lumbar spine of the bipedal humans is protected against the torsion by muscles, facet joints, ligaments and fascia.

KIRJALLISUUTTA

1. Kardong KV. Vertebrates. Comparative anatomy, function, evolution. New York: McGraw-Hill 2012.
2. Putz RL, Müller-Gerbl M. The vertebral column – a phylogenetic failure? A theory explaining the function and vulnerability of the human spine. Clin Anatomy 1996;9: 205–12.
3. Partanen J, Salminen M, Sainio K. Somiitit. Kirjassa: Sariola H, Frilander M, Heino T, ym, toim. Kehitysbiologia. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim 2015, s. 160–3.
4. Luoma K, Vehmas T, Raininko R, ym. Lumbosacral transitional vertebra: relation to disc degeneration and low back pain. Spine 2004;29:200–5.
5. Kapandji IA. Kinesiologia III: selkärangan, rintakehän ja lantion nivelten toiminta. Suom. Laukaa: Medirehab 1997.
6. Ng JKF, Parnianpour M, Richardson CA, ym. Functional roles of abdominal and back muscles during isometric axial rotation of the trunk. J Orthop Res 2001;19: 463–71.
7. Macintosh JE, Bogduk N. The biomechanics of the lumbar multifidus. Clin Biomech 1986;1:205–13.
8. Ankel-Simons F. Introduction to primate anatomy. New York: Elsevier 2007.
9. Boszczyk BM, Boszczyk AA, Putz R. Comparative and functional anatomy of the mammalian lumbar spine. Anat Rec 2001; 264:157–68.
10. Arjmand N, Shirazi-Adl A, Parnianpour M. Trunk biomechanics during maximum isometric axial torque exertions in upright standing. Clin Biomech 2008;23:969–78.
11. Lovejoy CO. The natural history of human gait and posture: part 1. Spine and pelvis. Gait Posture 2005;21:95–12.
12. Macintosh JE, Pearcy MJ, Bogduk N. The axial torque of the lumbar back muscles: torsion strength of the back muscles. Aus NZ J Surg 1993;63:205–12.
13. Lovejoy CO, McCollum MA. Spinopelvic pathways to bipedality: why no hominids ever relied on a bent-hip–bent-knee gait. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 2010; 365:3289–99.
14. Thompson NE, Almécija S. The evolution of vertebral formulae in Hominoidea. J Hum Evol 2017;110:18–36.
15. Williams SA, Russo GA. Evolution of the hominoid vertebral column: the long and the short of it. Evol Anthropol 2015;24: 15–32.
16. McCollum MA, Rosenman BA, Suwa G, ym. The vertebral formula of the last common ancestor of African apes and humans. J Exp Zool B Mol Dev Evol 2010; 314:123–34.
17. Williams SA, Ostrofsky KR, Frater N, ym. The vertebral column of Australopithecus sediba. Science 2013;340:1232996.
18. DeSilva JM, Holt KG, Churchill SE. The lower limb and mechanics of walking in Australopithecus sediba. Science 2013; 340:1232999.
19. Khamis S, Yizhar Z. Effect of feet hyperpronation on pelvic alignment in a standing position. Gait Posture 2007;25: 127–34.
20. Tardieu C, Hasegawa K, Haeusler M. How did the pelvis and vertebral column become a functional unit during the transition from occasional to permanent bipedalism? Anat Record 2017;300:912–31.
21. Preuschoft H, Hayama S, Günther MM. Curvature of the lumbar spine as a consequence of mechanical necessities in Japanese macaques trained for bipedalism. Folia Primatol 1988;50:42–58.
22. Been E, Barash A, Marom A. ym. Vertebral bodies or discs: which contributes more to human-like lumbar lordosis? Clin Ortop Relat Res 2010;468:1822–9.
23. Bailey JF, Sparrey CJ, Been E, ym. Morphological and postural sexual dimorphism of the lumbar spine facilitates greater lordosis in females. J Anat 2016;229:82–91.
24. Whitcome KK, Shapiro LJ, Lieberman DE. Fetal load and the evolution of lumbar lordosis in bipedal hominins. Nature 2007;450:1075.
25. Witzmann F, Schwarz-Wings D, Hampe O, ym. Evidence of spondyloarthropathy in the spine of a phytosaur (Reptilia: Archosauriformes) from the Late Triassic of Halberstadt, Germany. PLos One 2014;9: e85511.
26. Brisson BA. Intervertebral disc disease in dogs. The veterinary clinics of North America. Small Animal Pract 2010;40:829–58.
27. Gildea JE, Hides JA, Hodges PW. ym. Size and symmetry of trunk muscles in ballet dancers with and without low back pain. J Orthop Sports Physical Ther 2013;43: 525–33.
28. Stubbs NC, Kaiser LJ, Hauptman J, ym. Dynamic mobilisation exercises increase cross sectional area of musculus multifidus. Equine Vet J 2011;43:522–9.
29. Sparrey CJ, Bailey JF, Safaee M, ym. Etiology of lumbar lordosis and its pathophysiology: a review of the evolution of lumbar lordosis, and the mechanics and biology of lumbar degeneration. Neurosurg Focus 2014;36:E1.
30. Cook DC, Buikstra JE, DeRousseau CJ, ym. Vertebral pathology in the Afar australopithecines. Am J Physical Anthropol 1983; 60:83–101.
31. Rühli FJ, Galassi FM, Haeusler M. Palaeopathology: current challenges and medical impact. Clin Anat 2016;29:816–22.
32. Sanders WJ. Comparative morphometric study of the australopithecine vertebral series Stw-H8/H41. J Hum Evol 1998;34: 249–302.
33. Berger TD, Trinkaus E. Patterns of trauma among the Neandertals. J Archaeol Sci 1995;22:841–52.
34. Plomp KA, Viðarsdóttir US, Weston DA, ym. The ancestral shape hypothesis: an evolutionary explanation for the occurrence of intervertebral disc herniation in humans. BMC Evol Biol 2015;15:68.