

Tasapaino ja vibraatiotunto ikääntyvillä urheilijoilla ja ei-urheilijoilla

Kim Lesch
Pro gradu- tutkielma
Liikuntalääketiede
Jyväskylän Yliopisto
Kevät 2018

Tasapaino ja värinätunto ikääntyvillä urheilijoilla ja ei-urheilijoilla

Kim Lesch

Jyväskylän yliopisto, liikuntatieteellinen tiedekunta, Kevät 2018

Tiivistelmä

Asennon hallinta ja siihen liittyvä tasapaino koostuu monimutkaisesta säätelyjärjestelmästä, joka vaatii sensorisen järjestelmän, luurankolihasien ja keskushermoston yhteistyötä ja koordinaatiota. Tasapainon säätelyjärjestelmissä tapahtuu degeneratiivisia muutoksia erityisesti 65 ikävuoden jälkeen. Nämä muutokset heikentävät tasapainoa, mikä on iäkkäillä ihmisillä yhteydessä itsenäiseen selviytymiseen päivittäisissä toimissa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli vastata seuraaviin kysymyksiin: 1. Ovatko tasapaino ja vibraatiotunto yhteydessä toisiinsa? 2. Onko fyysisellä aktiivisuudella vaikutusta tasapainoon? ja 3. Onko fyysisellä aktiivisuudella vaikutusta vibraatiotuntoon?

Tutkimus oli poikkileikkaustutkimus ja osa suurempaa tutkimusprojektia. Tutkimukseen osallistui 52 naista (ikä 66-85v), jotka olivat harrastaneet aktiivisesti urheilua koko elämänsä ajan. Ikäjakaumaltaan vastaava verrokkiryhmä (n=42) koostui satunnaisesti valituista naisista, joilla ei ollut urheilutaustaa.

Staattisen tasapainon mittaukset suoritettiin voimalevyllä tekemällä kolme erilaista tasapainotestiä: 1. seisominen normaalisti silmät auki 2. seisominen normaalisti silmät suljettuna ja 3. ns. tandem-seisominen, eli jalat peräkkäin varpaat kiinni toisen jalan kantapäässä. Värinätuntoa mitattiin Vibrometer-laitteella vallitsevan käden kämmenselän toisen metakarpaaliluun kohdalta, ja jalasta jalkapöydän ensimmäisen metatarsaaliluun distaalisesta osasta.

Tässä tutkimuksessa tasapaino ja vibraatiotunto korreloivat vain tandem-tasapainotestin eteen-taaksehuojunnan ($r\ 0,35$, $p=0,001$) sekä vauhtimomentin ($r\ 0,24$, $p=0,023$) kanssa.

Tutkimustuloksissa heikko tilastollinen ero ryhmien välille saatiin vain normaaliseisonnassa silmät auki tehdyn testin sivuttaishuojunnassa. Ei-urheilijaryhmällä kehon massa ja rasvaprosentti (rasva%) olivat urheilijaryhmää suuremmat. Jaoteltaessa ryhmät painon (mediaani) mukaan painaviin ja kevyisiin, tilastollisesti merkitsevä ero saatiin kevyiden urheilijoiden ja painavien ei-urheilijoiden eteen-taakse huojunnassa. Myös värinätunnon suhteen tilastollisesti merkitsevä ero saatiin ainoastaan kevyiden urheilijoiden ja painavien ei-urheilijoiden välille.

Tuloksista voidaan todeta, että kehon runsaalla rasva%:lla ja inaktiivisuudella saattaisi olla heikentävä vaikutusta tasapainoon. Tässä tutkimuksessa ei huomioitu dynaamista tasapainoa, joka mahdollisesti olisi osoittanut selkeämpiä eroja tutkimusryhmien välillä. Värinätunnon osalta tutkimustulokset olivat linjassa aiempiin tutkimustuloksiin, joissa on osoitettu, että naisilla värinätunnon ja tasapainon korrelaatiota on vaikea saada selville. Tulokset osoittavat myös sen, että rasvakudoksen määrällä ja inaktiivisuudella voisi olla vaikutusta värinätuntoa aistittaessa. Tulevaisuudessa olisi hyvä tehdä pitkittäistutkimus vastaavanlaisesta aiheesta ja verrata sitten kuinka tulokset vaihtelevat eri ryhmien välillä ja iän karttuessa.

Avainsanat: tasapaino, värinätunto, liikunta, ikääntyminen

Postural balance and vibration sense among elderly athlete and non-athlete

Kim Lesch

University of Jyväskylä, Faculty of Sport and Health Sciences, Master's Thesis, Spring 2018

Summary

Posture control with related balance is a complex regulatory system that requires cooperation of peripheral sensory system, skeletal muscle and central nervous system and coordination. In average, balance control systems go through degenerative changes after 65, and these changes affect balance. In the elderly population the good balance is related of self-survival activities of daily living.

The purpose of this study was to answer the following questions: 1. Do the postural balance and vibrotactile sense correlate? 2. Does the physical activity affect postural balance? and 3. Does the physical activity affect vibrotactile sense? The study was a cross-sectional study and a part of a larger research project. The study consist of randomly selected female athletes (n=52, 66-85 years) who had been active athletes throughout their lives and a control group (females, n=42) with similar age distribution and non-athletic background.

Static balance/equilibrium measurements were performed by a force platform using three different balancing tests: 1. Standing eyes open, 2. Standing with the eyes closed, and 3. So-called tandem standing, one foot after another, toes touching the heel. The vibration sense was measured with a vibrometer. Measures were taken on top of the second metacarpal of back-hand palm, and in the foot at the distal part of the first metatarsals.

In this study postural balance and vibration sense correlated only in tandem standing, anterior-posterior direction (r 0,35, $p=0,001$) and velocity moment (r 0,24, $p=0,023$). A weak statistical difference between groups was only achieved in a test of normal standing lateral body sway. In the non-athlete group body mass and body fat percent (fat%) were significantly higher when compared to athletes. When splitting up groups into obese and lean, a statistically significant difference were achieved between the lean athletes and obese non-athletes anterior-posterior body sway. In conclusion, the body fat%, and the inactivity may have an effect on the balance. The only statistically significant difference was seen between lean athletes and obese non-athletes in vibration sense. Thus, it can be stated that the amount of body fat and inactivity may also have an impact to vibration sense.

In this study the dynamic balance is not taken into account, which likely would have produced clearer distinctions between these research groups. The vibration sense results were in line with previous findings where also the correlation in women's vibration sense and the balance is very difficult to elicit. The results point out the fact that the amount of fat tissue and inactivity may have an effect on vibration sense. In the future, it would be beneficial to perform longitudinal studies on a similar topic, and compare how the results vary in different groups and with increasing age.

Key words: Balance/equilibrium, vibration sense, physical activity, elderly population

Rakkaudella vaimolleni, Hannalle

Ja

Tyttärilleni Oonalle ja Aadalle.

Iso kiitos myös Mico ja Diego, parhaat lenkkikaverit silloin, kun ajatus ja kirjoitus jumiutui...

Sisällys

Tiivistelmä	
1 Johdanto	5
2 Tasapaino	7
2.1 Tasapainoon vaikuttavat tekijät	7
2.2 Tasapainoon liitettävät käsitteet	8
2.3 Staattinen ja dynaaminen tasapaino	8
2.4 Tasapainon mittauksiin käytettäviä mittareita	9
2.5 Pystyasento ja seisoma- asennon hallinta	10
3 Tasapainoon vaikuttavat järjestelmät	11
3.1 Visuaalinen järjestelmä	11
3.2 Vestibulaarinen järjestelmä	12
3.3 Somatosensorinen eli proprioseptinen järjestelmä	14
3.4 Tasapainon neuraalinen säätely	17
3.4.1 Tasapainon hallinnan motorinen säätely	19
3.4.2 Tasapainon korjausstrategiat	20
3.5 Tasapainon Neuraalinen ja Motorinen kontrolli	21
3.6 Lihakselta vaadittavat ominaisuudet tasapainon säätelyssä	22
3.7 Tasapainon kannalta oleelliset lihastoimintamallit	22
4 Fyysisen aktiivisuuden vaikutus tasapainoon	22
5 Tasapainoon negatiivisesti vaikuttavat tekijät	24
5.1 Ikääntymisen vaikutus elimistöön	24
5.2 Ikääntymisen vaikutukset aistinjärjestelmiin	24
5.3 Ikääntymisen neuraaliset vaikutukset tasapainoon	25
5.4 Ikääntymisen vaikutus lihas- ja nopeusvoimaan	26
5.5 Muut negatiiviset tekijät	27
6 Vibraatiotunto	29
6.1 Vibraatiotunto ja ikä	30
6.2 Vibraatiotunto ja tasapaino	31
7 Tutkimuksen tarkoitus	32
7.1 Aineisto ja menetelmät	32
7.2 Antropometria	33
7.3 Tasapainotesti	33

7.4 Vibraatiotunnon mittaus	34
8 Tilastolliset analyysimenetelmät	35
9 Tulokset	36
10 Pohdinta	40
11 Johtopäätökset	46
Lähteet	

1 Johdanto

Evoluutio on aikojen saatossa muokannut ihmisestä kahdella jalalla, pystyasennossa liikkuvan eliön. Pystyasennon hallinta ja merkitys jokapäiväisessä elämässämme on kiistatta yksi tärkeimmistä ominaisuuksistamme selviytyäksemme kunnialla arjen haasteista (Anson ym. 2017, Jancova ym. 2008). Päivittäin eteemme tulee tilanteita, joissa tasapainomme joutuu koetukselle (Ziljstra ym. 2010). Ikääntymisen myötä yleinen heikkous lisääntyy, samalla kun hyvinvointi ja itsenäinen selviytyminen hyvine elämänlaatuineen heikkenee (de Labra ym. 2015, Jancova ym. 2008). Asennonhallinnan ja tasapainon kannalta oleelliset aistin- ja elintoiminnot heikkenevät iän myötä, ja varsinkin 60-ikävuoden jälkeen niiden toiminta heikkenee osalla väestöstä hyvinkin nopeasti (Granacher ym. 2011). Tutkimuksissa on kuitenkin pystytty osoittamaan, että fyysisellä aktiivisuudella voidaan osaltaan hidastaa vanhenemisen tuomia muutoksia (Jacopson & Horak 2007).

Erittäin suuren haasteen yhteiskunnalle tuo se, että väestön ikärakenteen muutos on viimeisten vuosikymmenten aikana kiihtynyt huimaa vauhtia. WHO:n ennusteen mukaan yli 65-vuotiaiden osuus tulevaisuudessa on eniten kasvava väestöryhmä maailmassa (de Labra ym. 2015). Suomessakin tuon ikäryhmän kasvamisen ennustetaan kiihtyvän entisestään. Vuonna 2000 yli 65-vuotiaiden osuus koko väestöstä oli n. 780000 ja ennusteen mukaan vuonna 2060 yli 65- vuotiaiden osuuden kasvavan n. 1,7milj. (Valtion tilastokeskus 2018).

Kyky säilyttää hyvä tasapaino vaatii useiden eri järjestelmien ja aistinkanavien saumatonta yhteistyötä. Ihmisellä tasapainon katsotaan määräytyvän pystyasennon hallinnasta ja kehon asennosta suhteessa ympäristöön ja alustaan, jossa kulloinkin olemme (Paillard ym. 2017). Tasapainon säätelymekanismit tapahtuvat hyvin hierarkisesti, ja siihen osallistuvat tasapainon kannalta oleelliset aistijärjestelmät, ääreishermosto, selkäydin refleksikaarineen, lihakset, jänteet sekä keskushermosto (Kauranen 2011).

Pystyasennon hallinta ja hyvä tasapaino ovat edellytyksiä pystyssä pysymiselle. Ikääntymisen tuomat muutokset elimistössä lisäävät kaatumisriskiä, ja mitä vanhemmaksi tullaan sitä isommaksi riski kaatumiselle kasvaa. Lähes joka kolmas kotona asuvista ikääntyneistä (Carter ym. 2001, Fraix 2012, Low ym. 2017) ja yli puolet yli 80-vuotiaista (Low ym. 2017, Piirtola ym. 2002) kaatuu vuosittain. Lisäksi puolet kerran kaatuneista henkilöistä kaatuu uudestaan

(Carter ym. 2001, Eloranta & Punkanen 2008, Low ym. 2017). Huojunnan lisääntymisen tiedetäänkin olevan yksi kaatumisriskiä suuresti lisäävä tekijä (Orr ym. 2010).

Yleisesti tiedetään, että ikääntyminen tuo mukanaan paljon muutoksia, jotka vaikuttavat yksilön itsenäiseen selviytymiseen ja toimintakykyyn. Pahimmillaan tämä voi olla hyvin moniosainen ongelma, joka tuo mukanaan niin fyysisiä, psyykkisiä kuin sosiaaliakin häiriöitä (de Labra 2015). Vuodesta 2000 vuoteen 2030 65-vuotta täyttäneillä kaatumisvammojen hoitokustannuksien arvioidaan tuplaantuvan Suomessa ja kohoavan jopa 72 miljoonaan euroon. Voidaankin siis sanoa, että kaatumisvammojen yhteiskunnalle aiheuttama taloudellinen hinta tulee olemaan hyvin merkittävä (Piirtola ym. 2003).

Tämä tutkimus on osa isompaa tutkimuskokonaisuutta, jossa tarkoituksena on selvittää laajasti iäkkäiden naisten fyysistä terveyttä ja toiminnallista kapasiteettia (Sipilä & Suominen 1994). Vibraatiotuntoa on mitattu jo 1800-luvulla eri sairauksien yhteyksissä (Häkkinen ym. 1980) ja myöhemmin on löydetty yhtäläisyyksiä ääreishermoston toiminnan ja vibraatiotunnon kesken (Era ym. 1997, Peters ym. 2016). Tämän osatutkimuksen tarkoituksena on selvittää tasapainoa, vibraatiotuntoa ja niiden välisiä yhteyksiä toisiinsa. Tutkimuksissa on osoitettu huonon tasapainon ja huonon vibraatiotunnon olevan yhteydessä toisiinsa (Era ym. 1996). Toisena tavoitteena on selvittää pitkäaikaisen (elinikäisen) liikuntaharrastuksen vaikutusta tasapainoon. Tässä tutkimuksessa tulen kirjallisuuskatsauksessa käsittelemään tasapainoon vaikuttavia mekanismeja sekä tasapainoon negatiivisesti vaikuttavia tekijöitä laajemmin. Toinen tärkeä kokonaisuus käsittelee vibraatiotuntoa ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksen yhtenä tavoitteena on löytää keinoja parantaa ikääntyvien tasapainoa ja näin edelleen pitkittää kotona arjessa selviytymistä.

2 Tasapaino

Aikojen saatossa ihminen on muovautunut nelijalkaisuudesta kaksijalkaiseksi. Rakenteelliset muutokset selkärangassa, lantiossa ja alaraajoissa mahdollistivat tämän muutoksen, ja muokkasivat esi-isiamme nykyihmisen suuntaan mahdollistaen mm. pystyasennon optimaallisemman käytön ja taloudellisemman liikkumistavan. Samalla useita miljoonia vuosia kestänyt kehitysprosessi on muokannut myös pystyasennon vaatiman tasapainon ja siihen osallistuvien säätelyjärjestelmien toimintaa yhä vain paremmaksi. Pystyasennon ja liikkumisen myötä tasapainoelimeemme kohdistuu suuriakin haasteita ja vaatimuksia, joihin elimistömme on pakotettu vastaamaan nopealla sopeutumis- ja reagointikyvyllä (Kauranen & Nurkka 2010).

Pystyasennon hallinta ja tasapaino ovat moniselitteisiä käsitteitä. Erilaisia määritelmiä on lukuisia, mutta tasapaino käsitteenä on yleisesti hyväksytty ja käytössä oleva termi terveydenhuollon sarallakin (Karinkanta 2011, Pollock 2000). Ihmisellä tasapainon ajatellaan yleisesti olevan pystyasennon säilyttämistä eri tilanteissa (Papengaaij ym. 2014). Low ym. 2017 määrittelivät asennon ylläpidon kyvyksi ylläpitää, saavuttaa tai palauttaa tasapaino tehtävästä riippumatta. Kirjallisuudessa on myös esitetty, että hyvä tasapaino voidaan määrittellä kyvyksi kontrolloida kehon massaa suhteessa kosketuksissa olevaan tukipintaan (Kauranen & Nurkka 2010).

2.1 Tasapainoon vaikuttavat tekijät

Pystyasennon ylläpito ja tasapaino ovat perustoimintoja, jotka joutuvat koetukselle jokapäivä useammankin kerran. Vakaan tasapainon hallitsemiskyky muodostuu monen eri osatekijän summana. Näihin vaikuttavat kunkin yksilön henkilökohtaiset ominaisuudet ja ns. sisäiset tekijät, kuten ikä, kehonkoostumus, perimä, oppimiskyky ja tuki- ja liikuntaelimistön suorituskyky (Sandström & Ahonen 2011, Paillard ym. 2017). Näihin voidaan katsoa kuuluvan myös yksilön fyysinen kunto ja aktiivisuus sekä psykologinen (mieliala, henkinen sairaus) tila (Paillard ym. 2017). Toinen, jonka katsotaan vaikuttavan tasapainon hallintaan, on suoritettava tehtävä, esimerkiksi tuolilta ylös nousu tai koko kehon hallintaa vaativa monipuolisempi toiminto kuten lattialta esineen nostaminen. Kolmas vaikuttava tekijä on ns. ulkoiset tekijät, joihin fyysisellä toimintaympäristöllä on suuri vaikutus. Esimerkiksi

epätasaisella alustalla, maastossa tai liukkaalla tasapainon hallinta on huomattavasti vaativampaa (Sandström & Ahonen 2011).

2.2 Tasapainoon liitettävät käsitteet

Tutkimuksissa ja tieteellisen alan kirjallisuudessa esiin tulee kolme käsitettä/ termistöä, jotka hyväksytysti liitetään asennonhallitsemiseen ja tasapainoon. *Tukipinta* (Base Of Support=BOS) on alue, jonka kautta olemme kosketuksissa alustaan. Seistessä tämä alue on jalkapohjiemme alle jäävä alue. Jos kehon painopiste ylittää tukipinnan rajat, niin ihminen kaatuu. Kuitenkin lihasvoiman avulla hetkittäinen tukipinnan ”ylitys” on mahdollista ilman kaatumista (Kauranen & Nurkka 2010). Jalkojen alla oleva *painekeskiste* (Center Of Pressure=COP) taas on tukipinnalla liikkuva piste, jota esimerkiksi voimalevyllä tehdyissä mittauksissa mitataan. Tämän pisteen kautta alustasta välittyvät reaktiovoimat (Ground Reaction Forces=GRF) vaikuttavat yksilöön. Kolmas käytössä oleva termi viittaa kehon painopisteeseen (Center Of Gravity= COG), joka kuvastaa kehon massan tasapainopisteen keskimääräistä sijaintia kehossamme (Kerr 2010, McGinnis 2005, Maki & McIlroy 1996, Pollock 2000, Sandström & Ahonen 2011, Watkins 2007, Winter 1995). Kehon painopisteen paikka muuttuu koko ajan liikkeessämme ja se voi jopa sijaita ns. kehomme ulkopuolellakin esimerkiksi tietynlaisissa vartalon taivutusliikkeissä (Kauranen & Nurkka 2010). Keskimääräisesti tämän pisteen katsotaan ihmisellä asettuvan suurin piirtein navan seudulle. Painopisteestä käytetään tarkemmin nimitystä *massakeskiste* (Center Of Mass=COM) (Kerr 2010, McGinnis 2005, Maki & McIlroy 1996, Pollock 2000, Sandström & Ahonen 2011, Watkins 2007, Winter 1995).

2.3 Staattinen ja dynaaminen tasapaino

Tasapaino jaotellaan yleisesti staattiseen ja dynaamiseen tasapainoon. Staattisella tasapainolla tarkoitetaan kykyä säilyttää jokin tietty asento, tavallisimmin seisoma asento vakaana ja hallittuna (Sandström & Ahonen 2011). Staattinen tasapaino määritellään siten, että tukipinta on paikallaan ja vain kehon massakeskiste (center of mass, COM) liikkuu (Horak 2007). Optimaalinen staattinen tasapaino tarkoittaa sitä, että stabiili asento saadaan pidettyä mahdollisimman vähin liikkein (Ricotti ym. 2011). Vaikka puhutaankin staattisesta tasapainosta, tapahtuu kehossamme koko ajan pientä liikettä, koska pystyasennossa ollessaankin elimistö joutuu pitämään yllä pysyvästi tiettyä lihastonusta ja suorittamaan

pieniä tahdosta riippumattomia lihassupistuksia ns. asentoa ylläpitävissä (toonisissa) lihaksissa taistellessaan painovoimaa vastaan (Kauranen & Nurkka 2010).

Dynaaminen tasapaino taas on liikkeessä tapahtuvaa tasapainoilua, jossa sekä tukipinta että massakeskipiste liikkuvat. Toisin sanoen dynaaminen tasapaino edellyttää kykyä säilyttää tasapaino liikkeessä ja tarkoituksen mukaisessa kehon painopisteen siirtymisessä (Kauranen & Nurkka 2010, Ricotti ym. 2011). Esimerkkinä dynaamisesta tasapainosta on kävely. Luonnollinen kävely on riippuvainen hyvästä asennonhallinnasta ja tasapainosta, sekä myös kaikkien raajojen synergisestä suhteesta toisiinsa. Tasapainon säilyminen liikkeessä vaatii eri aistien yhteistyötä, jossa korostuvat lihasten koordinaatio, tehokas toiminta ja tasapaino (Earhart ym. 2013, Kauranen & Nurkka 2010). Liikkeessä tapahtuvan tasapainon haasteellisuus tulee esiin siinä, että silloin kontakti tukipintaan on hyvin hetkellinen ja tasapainon menettämisen riski on suurempi (Assaiante ym. 2005).

2.4 Tasapainon mittaukseen käytettäviä mittareita

Tasapainomittauksia ja -mittareita maailmalta löytyy hyvinkin paljon. Käytännössä mittaukset voidaan jaotella laboratorio-olosuhteissa suoritettaviin mittauksiin ja ns. toiminnallisiin kentällä suoritettaviin testeihin ja mittauksiin, joihin ei varsinaisesti tarvita erillisiä mittausvälineitä. Laboratoriossa käytössä olevat mittauslaitteet jaetaan kolmeen eri kategoriaan: 1. Kineettiset mittalaitteet, esimerkkinä voimalevy 2. Kinemaattiset mittalaitteet, esimerkkinä liikeanalyysi-mittaukset ja 3. Lihasten sähköistä aktiivisuutta mittaavat laitteet, esimerkkinä EMG-laitteisto (Winter 1990, Gage 2004, Kauranen & Nurkka 2010, Kejonen & Kauranen 2002, Medved 2001). Laboratorio-olosuhteissa yleisimmin käytetty menetelmä tasapainon mittaamiseen on voimalevy, jota myös tässä tutkielmassa käytettiin. Staattisen tasapainon mittaamiseen yleisimmin käytetyt testit ovat seisominen kahdella jalalla silmät auki ja kiinni, kuten myös seisominen yhdellä jalalla silmät auki ja kiinni. Sen sijaan yleisin staattista tasapainoa mittaava kenttä- ja kliininen testi on Rombergin testi, jossa perusversiona seisotaan kahdella jalalla kantapää yhdessä ja silmät suljettuna (Kauranen & Nurkka 2010).

Dynaamisessa tasapainossa mitataan liikkeen aikaisen tasapainon ylläpitämistä. Tähän käytettäviä mittauksia on hyvin monenlaisia. Eniten käytössä ovat variaatiot, joissa tehtävää suoritettaessa tulos mitataan edettynä matkana, hyväksyttynä suorituksen kestonä tai tehtävässä tehtyjen virheiden määränä. Yksinkertaisin esimerkki tällaisesta on erilaiset

”tehdyllä” radalla suoritettavat kävelysuoritteet. Dynaamisiin tasapainotesteihin katsotaan lukeutuvan myös erilaiset funktionaaliset testit, joista tunnetuimmat meillä käytössä olevat lienevät Bergin tasapainotesti ja ”Get up and Go”- testi sekä ”Functional Reach”-testi (Kauranen & Nurkka 2010).

Viime aikoina ns. dual task –testit (kahden toiminnan-testit) ovat yleistyneet arvioitaessa ikääntyneiden pystyasennon hallintaa ja kaatumisriskiä. Tällöin perinteisen tasapainotestin yhteyteen on liitetty jokin kognitiivinen toiminto, esimerkiksi laskeminen ääneen etu- tai takaperin. Näiden testien hyödyllisyys piilee siinä, että ne tuovat tasapainotestit lähemmäksi normaaleja arkitoimintoja. Tutkimukset ovat kuitenkin vielä olleet ristiriitaisia. Osissa tutkimuksissa ikääntyneillä on osoitettu olevan huomattavia vaikeuksia suoriutua motorisen ja kognitiivisen tehtävän yhdistelmästä, esimerkiksi tasapainon ylläpitäminen ja laskeminen yhtä aikaa tuottavat ongelmia tasapainon kanssa lisäten huomattavasti huojuksen määrää (Bergamin ym. 2014). Joidenkin tutkimusten mukaan taas kognitiivinen tehtävä on parantanut tasapainoa, koska testattava on keskittynyt tasapainon sijaan kognitiiviseen toimintoon (Bergamin ym. 2014, van Diest ym. 2013). Iän ja suoritettavien tehtävien vaikeus vaikuttaa myös hyvin paljon dual task -tehtävästä suoriutumiseen (Bergamin ym. 2014, Sprengler ym. 2017). Joidenkin tutkimusten mukaan ikääntyneet selviytyvät dual-task tehtävistä jopa yhtä hyvin verrattuna nuoriin (Bergamin ym. 2014).

2.5 Pystyasento ja seisoma-asennon hallinta

Optimaalinen pystyasento saavutetaan, kun kehon painepiste asettuu mahdollisimman lähelle tukipinnan keskikohtaa. Tällöin asennon ylläpitämiseen ei tarvita suuria lihasvoimia eikä se kuormita niveliä ylimäärin. Ihminen pyrkiikin hakeutumaan asentoon, jossa lihastoiminta ja energiankulutus ovat minimissään (Kauranen & Nurkka 2010, Pollock 2000, Sandström & Ahonen 2011).

Seisoma-asennon hallintaan vaikuttavat monet eri tekijät. Näistä varsinkin nivelten liikkuvuus, selkärangan ja -lihasten joustavuus, passiivisten sidekudosten ominaisuudet sekä kehon eri osien mittasuhteet ja biomekaniset tekijät ovat erittäin tärkeitä seisoma-asennon kannalta. Sivuttaissuunnasta katsottuna seisoma-asento on optimaalinen, kun ylhäältä alas viritetty luotilanka kulkee korvakäytävän, olkapään keskikohdan, lonkkanivelen

keskikohdan, polvilumpion etuosan ja nilkkanivelen etuosan kohdalta (Kauranen & Nurkka 2010).

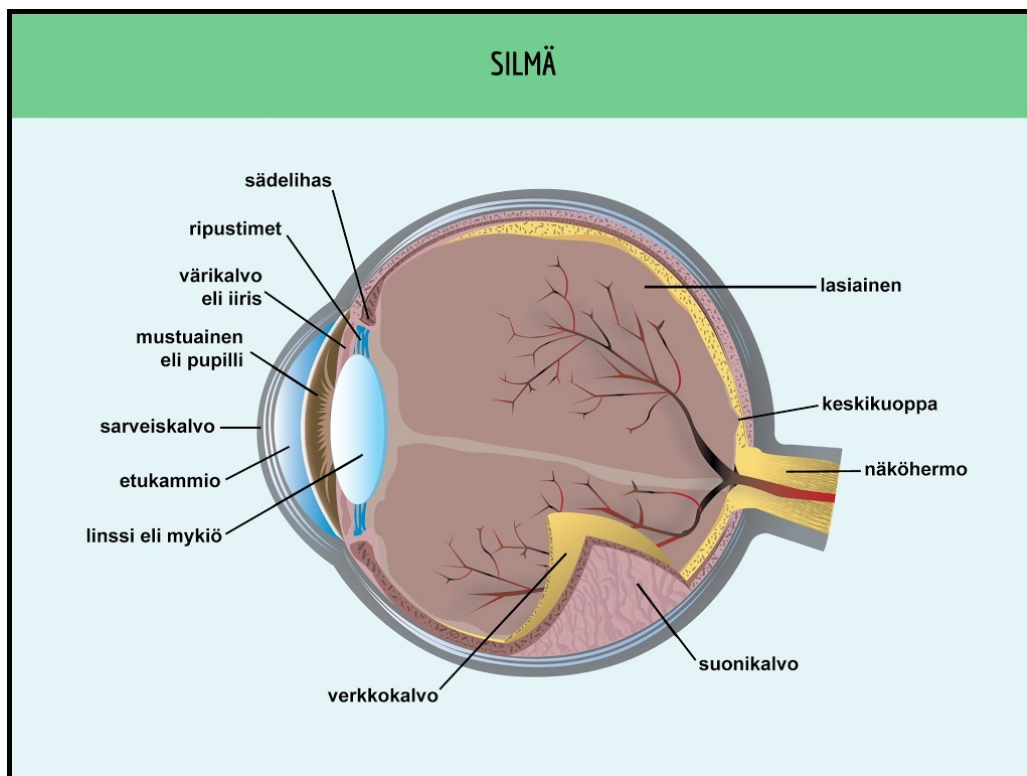
3 Tasapainoon vaikuttavat järjestelmät

Pystyasennon hallinta ja tasapaino ovat kokonaisuutena erittäin monimutkaisia ja monikanavaisia prosesseja (Nakagawa ym. 2017). Aluksi tasapainon säätelyn ajateltiin olevan pelkästään aistinjärjestelmien ja selkäydin refleksijärjestelmien säätelemää, mutta myöhemmin keskushermoston rooli, erityisesti aivojen kortikaalisen alueen rooli, on noussut esiin jopa tärkeimpänä tasapainoa säätelevänä mekanismina (Papengaaij ym. 2014). Näin ollen voidaan sanoa tasapainon ylläpitämisen ja säätelemisen vaativan useiden aistinjärjestelmien yhdenaikaista ja jatkuvaa synkronoitua toimintaa (Chiba ym. 2016, Honeine & Scieppati 2014, Kauranen 2011, Nakagawa ym. 2017).

3.1 Visuaalinen järjestelmä

Visuaalisen järjestelmän tärkein osa on silmä, ja sitä seuraavat näköhermot (kuva 1). Näköjärjestelmän kautta ihminen saa tietoa ympäristöstä, sijainnista, suunnasta ja liikkeen nopeuksista havainnoimalla mitä ympärillä tapahtuu, toisin sanoen muodostaen käsitystä ympäröivästä maailmasta (Anson & Jeka 2016, Jancova ym. 2008). Joidenkin tutkijoiden mukaan visuaalinen aistinjärjestelmä olisikin tärkein juuri tasapainon kannalta (Jancova ym. 2008). Silmissä on lähes kolmannes elimistön kaikista aistinsoluista. Silmässä on kameraa muistuttava linssijärjestelmä, joka kohdistaa valon silmän takaosassa olevaan verkkokalvoon, jossa nämä aistinsolut sijaitsevat. Täällä on sekä valoon reagoivia aistinsoluja, sauva- ja tappi-soluja, että erilaisia, erikoistuneita hermosoluja, jotka synapsoivat toistensa kanssa. Sauvasolut ovat erityisen herkkiä ja ne reagoivat myös hämärässä, ne aistivat ainoastaan harmaan eri sävyjä. Tappi-solut puolestaan reagoivat vain riittävän voimakkaaseen valoon, ja ne aistivat eri värinsävyjä. Verkkokalvon lasiaisen vieressä on erikoistuneita hermosoluja, ns. ganglio-soluja, joista muodostuu näköhermo. Erikoistuneet hermosolut ja aistisolut yhdistyvät ja muodostavat keskenään aistinsolurykelmiä, joista osa toimii inhiboivina ja osa stimuloivina. Tämä mahdollistaa sen, että näköinformaation tehokkaampi ja tarkempi käsittely voi alkaa jo verkkokalvolla. Verkkokalvolle muodostuva tieto lähtee näköhermoa pitkin aivoihin. Näköhermoa pitkin tuleva informaatio on hyvin yksityiskohtaista, ja sisältää

vain ääriärijoja ja muotoja havaitusta kohteesta. Tämä informaatio käsitellään aivoissa hyvin tarkasti ja tämän informaation tulkinta jatkuu ja yhdistyy jo aiemmin hankitun tiedon ja havaintomallin kanssa muokkautuen näköaistimukseksi. Näkö muodostuu, kun silmät liikkuvat jatkuvasti ja työmuisti yhdistää tulevan ja aiemmin hankitun näköhavainnon yhdeksi kokonaisuudeksi (Anson & Jeka 2016, Era & Heikkinen 1985, Haug ym. 2007, Jancova ym. 2008, Sandström & Ahonen 2011).



Kuva 1. Silmän rakenne. Silmä on visuaalisen järjestelmän tärkein osa (Peda.net).

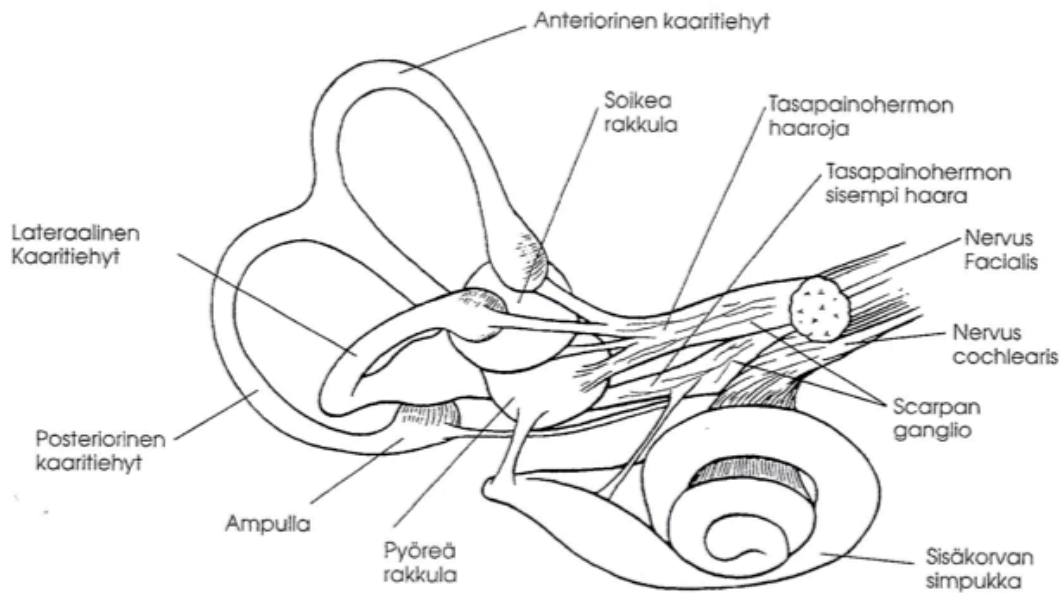
3.2 Vestibulaarinen järjestelmä

Sisäkorvassa sijaitseva tasapainoelin kuuluu ns. vestibulaariseen järjestelmään (kuva 2). Se osallistuu tasapainon säätelyyn aistimalla pään asentoa ja asennon muutoksia suhteessa painovoimaan. Se helpottaa myös avaruudellista toimimista sekä vakauttaa katsettamme kohteeseen samalla ohjaten asentojen ja liikkeiden aistimista (Anson & Jeka 2016, Sandström & Ahonen 2011). Sen toiminta korostuu varsinkin silloin, kun visuaalista aistimusta ei ole käytössä (Green ja Angelagi 2010). Tasapainoelin voidaan karkeasti jakaa kahteen eri

järjestelmään. Ensimmäiseen järjestelmään kuuluvat asentoreseptorit, joita ovat kaksi pientä vesikkeliä; soikea ja pyöreä rakkula. Näiden rakkuloiden reseptorit ovat karvasoluja, ja ne muodostavat kummasakin rakkulassa oman yhtenäisen ryhmänsä. Karvasolut työntyvät solunesteessä hyytelömäiseen tasapainokalvoon, jossa on runsaasti otoliittikiviä (tasapainokiviä). Karvasolut reagoivat eri suuntaisiin liikkeisiin ja aistinkarvat taipuvat otoliittikivien voimasta. Aistinkarvojen liike tapahtuu päinvastaiseen suuntaan suhteessa kiihtyvän liikkeen kanssa (vastareaktio). Soikea ja pyöreä rakkula reagoivat varsinkin pään kallistumisiin, eli ylös-alas sekä eteen-taakse liikkeisiin (Anson & Jeka 2016, Haug ym. 2007, Jancova ym. 2008, Sandström & Ahonen 2011).

Toinen pään liikkeitä ja asentoa aistiva järjestelmä ovat kolme kaarikäytävää. Kaarikäytävät ovat liikereseptoreita ja ne sijaitsevat kolmessa tasossa. Kunkin käytävän tyvessä on erillinen avartuma, jossa kaaritiehyeiden reseptorit sijaitsevat. Nämä ovat värekarvallisista soluja, joiden pintaa peittää hyytelömäinen massa. Karvasolut reagoivat ja aktivoituvat pään liikkeistä heti, kun pientäkin paineen muutosta on havaittavissa. Kaarikäytävät reagoivat varsinkin pään kiertoliikkeisiin. Pään liike saa aikaan hyytelömäisen liikkumisen. Hyytelömäisen liikkumisen aistinkarvat taipuvat ja reagoivat asennon muutoksiin (Anson & Jeka 2016, Era & Heikkinen 1985, Haug ym. 2007, Jancova ym. 2008, Sandström & Ahonen 2011).

Tasapainoelimistä tieto lähtee tasapaino- ja kuulohermoa pitkin aivorungossa oleviin tasapainotumakkeisiin. Siellä tasapainoelimistä tuleva informaatio yhdistetään muista aistinelimistä tulevien, tasapainon kannalta oleellisten tietojen kanssa (Anson & Jeka 2016, Pajala ym. 2008). Tasapainotumakkeiden kautta välittyvät myös tasapainon kannalta tärkeät refleksiradat, kuten vestibulo-okulaarirefleksit, jotka mukauttavat silmän liikkeet pään liikkeisiin ja tällä tavalla osallistuvat katseen vakauttamiseen. Tasapainotumakkeista informaatiota siirtyy suoraan myös pikkuaivoihin, selkäyttimeen ja aivorunkoon. Vestibulaarijärjestelmä on hyvin tärkeässä roolissa myös niska- ja hartialihasten kannalta. Ne aistivat pään asentoa suhteessa alustaan ja osallistuvat näin tasapainon säätelyyn. Eri vestibulospinaaliradat/refleksit osallistuvat tasapainon kannalta oleellisten lihasten aktivoitumiseen ja säätelevät niiden lihasjänteyttä. Niiden toiminta korostuu varsinkin epävakaaalla alustalla ollessamme (Cullen & Soroush 2008, Green & Angelagi 2004, Sandström & Ahonen 2011).



Kuva 2. Vestibulaarinen järjestelmä (Sandström ja Ahonen 2011).

3.3 Somatosensorinen eli proprioseptinen järjestelmä

Somatosensorisen järjestelmän kautta saamme tietoa iho-, lihas- ja nivelreseptoreista (Taulukko 1). Niiden perustehtävänä on tarjota tietoa elimistön omasta ja sen ympäristön tilasta. Tämän järjestelmän kautta saamme jatkuvasti tietoa lihasten pituuksista ja pituuksien muutoksista, lihasten jännitetasoista sekä nivelten asennoista ja nivelkulmista (Spirduso 1995, Shumway-Cook & Woollacott 2001, Pajala ym. 2003). Täältä tuleva informaatio mahdollistaa kehon tarkoituksenmukaisen ja optimaalisen toiminnan. Reseptorit sijaitsevat ympäri kehoa lihaksissa, jänteissä, nivelissä ja ihossa. (Kauranen & Nurkka 2010).

Lihassukkula aistii lihasten pituuksia ja pituuden muutoksia, lihaksen sen hetkistä pituutta. Lihassukkulat venyvät lihaksen aktiivisen sekä passiivisen venytyksen aikana, ja mitä enemmän venytystä tapahtuu sitä enemmän reseptoreita aktivoituu. Nämä ovat hyvin herkkiä ja jo pienikin muutos lihaksen pituudessa saa aikaan niiden aktivoitumisen. Lihakseen menevää lihaskämiä hermottaa gammamotoneuroni, joka kuljettaa tiedon lihaksen venymisestä keskushermostoon, josta taas alfamotoneuroni vie supistumiskäskyn lihakselle. Lihassukkulat ovat erittäin tärkeitä pystyasennon säilyttämisessä (Kauranen 2011, Kauranen & Nurkka 2010, Sandström & Ahonen 2011, Shumway-Cook & Woollacott 2001).

Golgin-jänne-elin reseptorit sijaitsevat lihas-jänneliitoksen alueilla. Ne ovat myös erittäin

herkkiä ja mittaavat lihaksen supistumisvoimaa ja siinä tapahtuvia muutoksia. Reseptorit toimivat sekä inhiboivina että lihassupistumista stimuloivina (Kauranen 2011, Kauranen & Nurkka 2010, Sandström & Ahonen 2011, Shumway-Cook & Woollacott 2001).

Nivelreseptoreita on hyvin erilaistuneita ja ne sijaitsevat nivelkapseleiden, nivelsiteiden ja niveliä ympäröivien sidekudosten alueilla. Ruffinin-päätteet sijaitsevat nivelpussin, jänteiden ja ligamenttien alueilla ja ne aistivat nivelen aktiivista ja passiivista liikettä. Nämä ovat aktiivisena myös silloin, kun nivelessä ei ole eikä tapahdu liikettä. Pacinin keräset ovat nivelpussissa olevia reseptoreita ja ne aistivat nivelkulmaan kohdistuvia muutoksia, kuten myös paine- ja värinäaistimuksia. Golgi-mazzoli-keräset sijaitsevat ligamenttien ja jänteiden alueilla ja ne reagoivat venymismuutoksiin, puristuksiin sekä paineen muutoksiin, ja ovat aktiivisimmillaan varsinkin liikkeiden ääriasennoissa. Vapaita hermopäätteitä on nivelpussin seinämässä ja ligamenteissa. Ne reagoivat vain mekaanisiin ja kemiallisiin ärsytystiloihin, erityisen suuriin nivelkulmien muutoksiin ja erilaisiin tulehdustiloihin (Kauranen & Nurkka 2010, Sandström & Ahonen 2011).

Ihossa on myös laajalti ns. termo (lämpö)- ja painereseptoreita (Taulukko 2). Ne aistivat elimistön lämmösäätelyä ja ulkopuolista lämpötilaa, painetta sekä kosketusta. Taktiiliset C-aksonipäätteet aistivat mm. kosketusta, ja niiden aktivoitumiskynnys on hyvin matala. Meissnerin-päätteet aistivat kosketusta ja ovat hyvin paikallisia pienellä ihoalueella toimivia. Pacinian-keräset aistivat voimakkaampaa paineen tuntoa, ja ne ovat hyvin laajalla ihoalueella toimivia ja nopeasti adaptoituvia. Merkelin-päätteet aistivat yhtenäistä painetta ja mm. ihokosketuksessa olevan esineen yhtämittaista painetta. Nämä ovat hyvin hitaasti adaptoituvia. Ruffinin-keräset aistivat ihon pitkittäissuuntaista venymistä. (Sandström & Ahonen 2011, Spirduso 1995, Shumway-Cook & Woollacott 2001, Pajala ym. 2003).

Taulukko 1. Nivelreseptorit (Mukaeltu Sandström & Ahonen 2011)

Reseptorityyppi	Toiminta
Ruffinin päätteet	Passiivinen ja aktiivinen liike aktivoiu: lähettää ärsyksen silloinkin, kun nivel ei liiku
Pacinin keräset	Reagoi pieniinkin nivelmuutoksiin--> lakkaa nopeasti toimimasta, kun nivelkulma ei enään muutu
Golgi-mazzoli keräset	Reagoi nivelkapselin puristukseen ja paineeseen
Vapaat hermo(aksoni) päätteet	Mekaaninen stressi. Äärimmäisen suuret nivelkulman muutokset ja tulehdustilat
Golgin jänne-elin	Ligamenttien venytys

Taulukko 2. Ihon kosketus ja painereseptorit (Mukaeltu Sandström & Ahonen 2011).

Reseptorin nimi ja sijainti	Reseptorin ominaisuudet	Tuntemus
Taktilit c-aksonipäätteet	Vapaita aksonipäätteitä, joiden aktivointikynnys on erittäin matala	Miellyttävä iho-ihon kosketus
Pacinin keräset	Liittyvät tyypin RA2-aksoneihin ja ne keräävät tietoa laajalta ihoalueelta--> nopeasti adaptoituvat	Eri voimakkuuksien paineen tuntemukset
Meissnerin keräset	Kosketuksissa tapahtuviin muutoksiin reagoivat meissnerin keräset. Ne liittyvät RA1-aksoneihin ja keräävät tietoa hyvin pieneltä ihoalueelta	Värähdys, sivelemisen tuottama aistim- vaatteiden tuottaman kosketuksen aistimus
Merkelin päätteet	Staattiseen paineeseen reagoivat Merkelin levyt. Nämä liittyvät tyypin SAI-aksoneihin ja niiden vastaanottoalue on pieni-->hi- taasti adaptoituvat	Kevyt yhtenäinen paine, esineen muodon aistiminen
Ruffinin keräset	Ihon pitkittäiseen venymiseen reagoivat Ruffinin päätteet liittyvät tyypin SA2-ak- soneihin ja niiden vastaanottoalue sijaitsee ihopoimujen läheisyydessä sekä kynsiin liittyvässä ihossa	Eivät tuota tietoisia taktilisia tuntemuksia koetilanteessa, mutta osallistuvat nivelten liikkeiden aistimiseen.

3.4 Tasapainon neuraalinen säätely

Edellä mainittujen aistinjärjestelmien lisäksi keskushermoston ja ääreishermoston rooli pystyasennon ja tasapainon säätelyssä on erittäin merkittävä. Joidenkin tutkimusten mukaan ääreishermoston osuuden tasapainon säätelyssä, varsinkin ikääntyneillä, on katsottu olevan yksittäisistä tekijöistä merkittävin. Proprioseptinen järjestelmä ja hermoimpulssien signaalien johtumisnopeus korostuu merkittävästi ikäihmisillä (Anson ym. 2017). Ääreishermoston kautta eri aistinjärjestelmiltä tullut informaatio kulkee selkäytimen takajuureen, josta signaali jatkaa matkaa joko keskushermostoon, tai sitten refleksikaaren/-keskuksen kautta lihaksille. Selkäydin toimiikin sekä välittäjänä keskushermoston ylempien osien ja lihasten välillä, että refleksitoimintojen keskuksena (Anson ym. 2017, Kauranen & Nurkka 2010).

Keskushermoston rooli on tulkita jatkuvaa tiedonvirtaa, ja sen pitää äärimmäisen nopeasti reagoida ja löytää sopiva ja oikealainen ratkaisumalli tasapainon säilyttämisen kannalta (Honeine & Schieppati 2014). Tämän kaiken mahdollistaa hermokudoksen ominaisuus. Hermokudokselle on ominaista sen herkkyyks, johtumiskyky ja kyky muokata informaatiota oikeanlaiseksi tarpeen mukaan (Haug ym. 2007, Simmons 2012).

Isot aivot ja eri toten iso aivokuori ottavat vastaan paljon sensorista informaatiota. Niiden tehtävä on käsitellä ja tulkita sensorinen palaute, ja ne osallistuvat myös tahdonalaisten motoristen käskyjen viimeistelyyn ja ohjelmointiin. *Basaaligangliot* eli tyvitumakkeet osallistuvat lihastonuksen kontrolloimiseen. Niillä on myös tärkeä rooli motorisen oppimisen ja motoriikan kannalta. Ne suhteuttavat ja muokkaavat raajojen liikkeistä tarpeisiin sopivat, ja ovat mukana jo ennen varsinaisen liikkeen alkamista. Niillä on siis merkittävä rooli toiminnan suunnittelussa ja kontrolloinnissa. *Aivorunko*, johon kuuluvat mm. keskiaivot ja aivosilta, osallistuu tasapainon säätelyyn toimimalla yhdyskäytävänä aivojen ja selkäytimen välillä. Aivosilta välittää tietoa ihmisen liikkeistä isojen aivojen kautta pikkuaivoihin. Aivorungossa sijaitsee tasapainon kannalta oleelliset neljä tasapainotumaketta. Näiden tehtävänä on koota tasapainoelimestä ja keskushermostosta tulevat impulssit ja jakaa ne edelleen muille aivoalueille. Aivorunko osallistuu alaraajojen lihastonuksen säätelyyn ja tasapainon kannalta oleellisten lihasten synkronoimiseen ohjaamalla niiden yhteistoimintaa. *Pikkuaivojen* osuus tasapainon säätelijänä on hyvin merkittävä. Pikkuaivot osallistuvat pystyasennon hallintaan ja lihastonuksen säätelyyn toimien yhteistyössä aivorungon kanssa. Pikkuaivot toimivat ns. motorisen toiminnan keskuksena ohjaamalla ja koordinoimalla haluttua liikettä sekä säätelemällä mm. stabiloivien lihasten aktiivisuutta. Pikkuaivot toimivat vertailijana suunnitellun ja toteutetun liikkeen välillä; jatkuva informaatiovirta, johon pikkuaivot reagoivat yhdistelemällä ja vertailemalla nykyistä ja jo aiemmin oppittua informaatiota. Tätä kautta ne osallistuvat liikkeiden korjaamiseen haluttuun malliin, kontrolloivat tasapainoa, kontrolloivat lihasten toimintaa ja niiden aktivaation oikeanlaista järjestystä sekä säätelevät oikeanlaista lihastonusta. Tässä pikkuaivot toimivat hyvin läheisessä yhteistyössä Deitersin-tasapainotumakkeen kanssa. Pikkuaivoilta lähtee inhiboivia impulsseja Deitersin-tasapainotumakkeeseen, josta pystyasennon hallinnan kautta tärkeille ojentalihaksille lähtee eteenpäin eksitoivia impulsseja. Tämä yhteistyö mahdollistaa jatkuvan tasapainon hallinnan ja on erittäin merkityksellinen mm. tasapainon kannalta hyvin oleellisten niskalihasten kontrollin säätelyssä. Pikkuaivot toimivat myös useiden hermoratojen väliasemana. Osa informaatiosta jatkaa eteenpäin muille aivoalueille, ja osan tiedoista pikkuaivot käsittelevät

itse. Tämä kuuluu merkittävänä osana palautejärjestelmän toimintaa (Haug ym 2007, Kauranen 2011, Kauranen & Nurkka 2010, Paillard ym. 2017, Simmons 2012).

3.4.1 Tasapainon hallinnan motorinen säätely

Erilaiset tasapainomekanismit kontrolloivat pystyasennon hallintaa ja tasapainoa erilaisissa tilanteissa (Muehlbauer ym. 2015, Papengaaij ym. 2014). Tasapainon säätelyyn ihminen käyttää joko proaktiivista eli ennakoivaa tai reaktiivista eli korjaavaa säätelymekanismia. Tämä tapahtuu refleksitoiminnan tai keskushermoston suunnitellujen ja kontrolloitujen liikekäskeyjen kautta (Kauranen & Nurkka 2010, Orr ym. 2010). Ennakoivan säätelymekanismin kannalta visuaalinen aistijärjestelmä on oleellisessa roolissa tasapainon säätelyssä. Visuaalisen informaation kautta saadaan havainnoimalla tietoa ulkoisesta maailmasta ja siinä olevista häiriötekijöistä. Näihin häiriötekijöihin keskushermostossa on valmiina ennakolta suunnitellut ja kontrolloidut mallit, joista valitaan kulloiseenkin tilanteeseen sopiva vaste. Tämä on ns. hitaampi reagoititapa tasapainon muutoksiin. Tällöin aivoilla kuluu aikaa oikean vasteen valitsemiseen, suunnitteluun ja ohjelmointiin, ennen kuin tieto ja toimintakäskey keskushermostosta lihaksille on välitetty. Korjaava, yllättäviin tasapainon häiriöihin liitettävä säätelymekanismi pohjautuu refleksitoimintaan. Refleksit ovat automaattisia, tahdosta riippumattomia sensorisen ärsyksen aikaansaamia liikkeitä. Sensorisen ärsyksen saa aikaan lihaksen nopea venyntyminen, tai jopa ihon ärsyttäminen. Tämä ärsyke saa aikaan motorisen impulssin aktivoitumisen ja lihaksen supistumisen. Refleksit säätelevät luurankolihasen pituutta vartalon sekä raajojen lihaksissa. Toinen keskeinen tehtävä reflekseillä on säädellä ja mukaila liikkeeseen osallistuvien lihasten pituuksia ja näin ollen tehdä liikeistä sujuvampia. Paikallaan seistessäkin refleksitoiminta osallistuu pystyasennon ja tasapainon hallintaan. Ilman refleksitoimintaa maanvetovoima vaikuttaisi ihmiskehoon negatiivisesti ja pystyssä pysyminen olisi mahdotonta. Refleksit säätelevät vartalon asentoa ylläpitävien lihasten lihastonusta ja –jänteyttä mahdollistaen asennon säilymisen. Tätä ojentajalihasen aktivaatiota kutsutaan myös ojennusheijasteeksi. Näiden kahden erilaisen mekanismin lisäksi on kirjallisuudessa esiintynyt kolmas ns. ennaltaohjelmoidut/-opitut järjestelmät. Nämä tulevat toimintaan esimerkiksi liukkaalla alustalla käveltäessä, silloin kun liukkaus tiedostetaan ja siihen osataan etukäteen valmistautua. Tämä monisäikeinen palautejärjestelmä on aktiivisena koko ajan ja tämä ihmisen motoriikkaa säätelevä mekanismi voidaankin nähdä järjestelmäksi, johon koko ajan

tulee eri aistijärjestelmiltä informaatiota, johon elimistö vastaa joko refleksikaaren tai keskushermoston liikevasteiden avulla (Chiba ym. 2016, Earhart ym. 2013, Kauranen 2011, Kauranen & Nurkka 2010, Orr ym. 2010, Paillard ym. 2017, Papengaaij ym. 2014, Sandström & Ahonen 2011).

3.4.2 Tasapainon korjausstrategiat

Pystyasennon ja tasapainon häiriötiloihin ihminen käyttää pääsääntöisesti kolmea eri strategiaa (Horak ym. 2006). Eri strategiat toimivat monesti synergiassa keskenään. Siihen mikä strategioista on dominantti, vaikuttaa yksilölliset erot, suoritettava tehtävä ja tasapainon säilyttämiseen vaadittava voima (Blenkinsop ym.2017). Paikallaan seistessä yleisin strategia on **nilkkastrategia**. Tällöin tasapainoa häiritsevät voimat ovat hyvin pieniä ja vain vähän spontaania huojuntaa lisääviä. Tasapainoa säädellään pääsääntöisesti eteen-taakse huojunnan korjaukseen ja aistiminen tapahtuu käyttäen nilkan seudun propriosensoreiden sensorista informaatiota hyödyksi. Nilkkastrategian kannalta pohkeen ja säären alueen lihakset ovat merkittävässä roolissa pystyasentoa ylläpidettäessä (Blenkinsop ym. 2017, Horak ym. 2006, Nagy ym. 2007, Talvitie ym. 2004, Williams ym. 1997, Winter ym. 1996). **Lonkkastrategiassa** tasapainoa häiritsevä voima on jo usein niin suuri ja nopealla voimalla tapahtuva, että nilkkastrategia yksistään ei riitä tasapainoa ylläpitämään. Korjaava toimenpide tapahtuu tällöin lonkkanivelen fleksio-ekstensio-liikkeellä. Korjausliike tapahtuu käyttäen suuria ja vahvoja lonkankoukistaja lihaksia, mutta myös vatsan ja selän lihakset aktivoituvat. Lonkkastrategiaa katsotaan käytettävän eritoten sivuttaishuojunnan korjaamiseen, varsinkin jos nilkkastrategia on estynyt tai hankaloitunut. Lonkkastrategia on yleensä käytössä myös epävakaa alustalla tapahtuvissa horjahduksissa (Blenkinsop ym. 2017, Horak ym. 2006, Kauranen 2011, Nagy ym. 2007, Talvitie ym. 2004, Williams ym. 1997, Winter ym. 1996). Kolmantena strategiana on ns. **askellusstrategia**. Tämä otetaan käyttöön, kun kaksi edellä mainittua strategiaa ei riitä. Tällöin painopiste on ylittänyt jo tukipinnan eikä lihasvoima riitä palauttamaan tasapainoa ja kehon painopistettä tukipinnan rajojen sisäpuolelle. Askelluksessa ihminen pyrkii laajentamaan ja siirtämään tukipintaa kehon alle. Askellusstrategia korostuu varsinkin ikääntyneillä (Horak 2006, Kauranen & Nurkka 2010, Talvitie ym. 2004). Joidenkin asiantuntijoiden mukaan näiden kolmen strategian lisänä käytössä on vielä **polvi-strategia eli painopisteen alentamisstrategia**. Tässä tasapainon ylläpitäminen tapahtuu nimensämukaisesti muuttaen painopistettä koukistamalla

polvia ja lonkkaa. Tätä strategiaa käytetään monesti tietoisesti liikkeessä liukkaalla alustalla, mutta myös kamppailulajeissa tämä strategia on valloillaan (Kauranen & Nurkka 2010). Näiden lisäksi tiedetään olevan joukko ns. avustavia korjaavia strategioita. Avustavat liikkeet tulevat käyttöön yleensä jo hyvin pian tasapainon horjumisen yhteydessä, ja apuna käytetään käsien tasapainottavia liikkeitä sekä selkärangan kierto liikkeitä. Myös pään asennolla on suuri merkitys tasapainon kannalta (Sandstöm & Ahonen 2011).

3.5 Tasapainon neuraalinen ja motorinen kontrolli

Vakaa pystyasento ja tasapainon hallinta ei olisi mahdollista ilman neuraalista ja motorista kontrollia. Neuraalinen kontrolli on dynaamista stabiliteettiä säätelevän järjestelmän keskus. Eri aistinjärjestelmistä ja rakenteista välittyvän signaalien avulla keskushermosto yhdistää ja muodostaa tarvittavat informaatiot ja lähettää käskyt eteenpäin kohde-elimineensä. Jos neuraalinen aktivaatio jostain syystä heikkenee, hidastuu ja heikkenee samalla tahdonalainen lihasaktivaatio. Neuraalinen fasilitaatio tehostaa ylempien motoneuronien tehokkaampaa rekrytointia, tehostaa lihassolujen toimintaa ja tehostaa toimivien lihassolujen aktivoitumista samalla kiihdyttäen niiden kasvua (Hunter ym. 2016, Kauranen 2011, Orr ym. 2006, Orr 2010, Reid & Fielding 2012). Motorinen kontrolli on kykyä hallita ja säädellä niitä kehon osia ja mekanismeja, jotka ovat välttämättömiä liikkeen tuottamiseksi. Myös tasapainon kontrolli on riippuvainen motorisesta kontrollista. Neuraalisen kontrollin ohella motorinen kontrolli ohjaa eri lihasten yhteistoimintaa. Motorinen kontrolli on tärkeä liikkeen säätelyssä ja koordinaatiossa. Motorinen kontrolli korostuu varsinkin asennon ja tasapainon säilyttämisen ja kontrolloimisen suhteen. Häiriöt motorisessa kontrollissa johtuvat aistitiedon tai tiedon prosessoinnin vaikeutena, tällöin motorisen hermotuksen eteneminen on häiriintynyt. Motorisista hermoradoista tunnetuin on pyramidirata, jonka toiminta korostuu suurta tarkkuutta vaativissa liikkeissä. Pyramidirata kulkee aivokorteksilta suoraan selkäyttimeen ja synapsoi siellä etusarven motoneuronin kanssa. Toinen merkittävä hermorata on ekstrapyramidirata, joka synapsoi aivorungon tumakkeisiin. Siihen vaikuttaa oleellisesti myös pikkuaivot. Ekstrapyramidirata aktivoi suuria lihaksia, jotka ovat tärkeitä pystyasennon, tasapainon ja koordinaation kannalta. Se on myös merkittävässä roolissa automaattisten liikkeiden osalta (Kauranen 2011, Orr ym. 2006, Orr. 2010, Paillard ym. 2017, Shumway-Cook & Woolacott 2012).

3.6 Lihakselta vaadittavat ominaisuudet tasapainon säätelyssä

Tasapainon kannalta lihaksilta vaaditaan erilaisia ominaisuuksia, jotta optimaalinen tasapaino saadaan pidettyä. Asentoa ylläpitävät, tooniset lihakset osallistuvat nivelten stabiloimiseen ja asennon ylläpitämiseen vastustaen samalla maanvetovoimaa. Staattisen pystyasennon kannalta tärkeiden lihasten lihassolujakauma on pääasiallisesti 1-tyyppin hitaita soluja. Hitaat lihassolut ovat voimantuotoltaan heikompia ja hitaasti syttyviä, hyvin väsymystä sietäviä ja taloudellisia. Nopeisiin tasapainoa korjaaviin liikkeisiin tarvitaan tyyppin 2b-nopeita soluja. Ne ovat nopeasti ja voimakkaasti syttyviä, mutta vastaavasti nopeasti väsyviä. Näiden välissä katsotaan olevan vielä tyyppin 2a-soluja, jotka ovat suhteellisen nopeita syttymään ja sietävät myös väsymystä (Ijkema-Paassen ym. 2005, Paillard ym. 2017, Era ym. 1996).

3.7 Tasapainon kannalta oleelliset lihastoimintamallit

Tasapainon kontrolli on riippuvainen lihasten motorisesta kontrollista ja tarkemmin ottaen siitä miten lihasten synergia toimii. Seisoessamme paikoillaan palautejärjestelmä on aktiivinen koko ajan lähettäen signaaleja eteenpäin keskushermostolle. Keskushermosto säätelee agonisti-antagonisti-lihasten yhteistyötä: kun agonistilihas(suorittaja) on aktiivisena niin antagonisti (vastavaikuttaja) lihas on rentona. Jos tämä agonisti-antagonisti lihasten yhteistyö on häiriintynyt, niin lihasten supistumisominaisuudet ja ajoitus ei toimi, eikä lihastyö toimi optimaalisesti (Honeine & Schieppati 2014, Orr 2010, Paillard ym. 2017, Wiesmeier ym. 2017).

4 Fyysisen aktiivisuuden vaikutus tasapainoon

Fyysinen aktiivisuus pitää sisällään eri liikuntamuotojen harjoittelun sekä päivittäisten fyysistä aktiivisuutta vaativien toimintojen suorittamisen eli niin sanotun hyötyliikunnan. Ikäihmisillä fyysisen toimintakyvyn edellytys perustuu riittävään lihasvoimaan, hyvään pystyasennon hallintaan ja lihasten koordinaatioon (Carter ym. 2001), joten fyysisellä aktiivisuudella on ikäihmiselle suurta merkitystä (Buchner ym. 1997, Cadore ym. 2013). Fyysisellä aktiivisuudella tiedetään olevan vaikutuksia myös psyykkiseen ja sosiaaliseenkin hyvinvointiin. Pystyasennon ja tasapainon kannalta heikon fyysisen aktiivisuuden tiedetään olevan yksi suurimpia kaatumisriskiä lisäävistä tekijöistä. American College of Sports Medicinen (ACSM) mukaan oikeanlaisella fyysisellä aktiviteetilla saadaankin positiivisia vaikutuksia edellä mainittuihin hyvinvoinnin kannalta tärkeisiin tekijöihin. Myös Karinkanta

2011 väitöskirjassaan osoitti, että oikeanlaisella fyysisellä harjoittelulla voidaan vaikuttaa alaraajojen lihasvoimaan, dynaamiseen tasapainoon ja ketteryyteen sekä toimintakykyyn. Viimeaikaisissa tutkimuksissa yhdistelmäharjoittelulla ja ns. moniosaharjoittelulla on saatu parhaat vaikutukset lihasvoiman, pystyasennon hallinnan ja tasapainon kannalta. Harjoittelumenetelmät, jotka sisälsivät varsinkin voima- ja nopeusvoimaharjoittelua alaraajoille ja tasapaino-/ketteryysharjoittelua, hidastivat ja vähensivät fysiologisia muutoksia kehossa (Cadore ym. 2013, Capodaglio ym. 2005, de Labra ym. 2015, Gill ym. 2002, Lord ym. 2003). Näiden lisäksi harjoittelun tulisi sisältää sydän- ja hengityselimiä kehittävää harjoittelua (Cadore ym. 2013, de Labra ym. 2015). Vastus-/voimaharjoittelulla on todettu olevan neuromuskulaarista aktivaatiota parantava vaikutus. Sen on todettu lisäävän lihasmassaa ja voimaa. Nopeusvoimaharjoittelun vaikutuksista tasapainoon iäkkäillä on viimeaikoina tutkittu laajasti (Granacher ym. 2011, Muehlbauer ym. 2015, Orr ym. 2006, Paillard ym. 2017). Sen tiedetään kiihdyttävän neuraalista kontrollia, reaktioaika paranee, latenssiaika pienenee, aktiivisten lihassolujen rekrytointi paranee ja hermoston syttymis- ja johtumisnopeus paranee. Nopeusvoimaharjoittelun katsotaankin olevan ikääntyneille erittäin tärkeää, jopa tärkeämpää kuin perinteisen lihasvoimaharjoittelun. Viime aikoina myös sen suuri vaste toiminnallisuuden kannalta on pystytty osoittamaan (Granacher ym. 2011). Kestävyysharjoittelu parantaa yleistä toimintakykyä ja peruskuntoa. Jo pienelläkin kestävyysharjoittelulla voidaan parantaa maksimaalista hapenottokykyä, lihasten aineenvaihduntaa ja kykyä parantaa energiantuottoa lihaksissa. Sillä on myös suuri merkitys sydän-, verenkierto- ja hengityselinten toimivuuden kannalta (Cadore ym. 2013). Tasapaino- ja liikkuvuusharjoittelun tiedetään kehittävän tasapainoa (Low ym. 2017). Tasapainoharjoittelulla voidaan vähentää antagonistilihasten aktivaatiota, parantaa refleksitoimintaa ja sitä kautta lyhentää latenssiaikaa. Ikääntyneillä tasapainoharjoittelun on osoitettu myös parantavan ja herkistävän proprioseptistä aistijärjestelmää (Wiesmeier ym. 2017).

Karinkanta 2011 myös totesi tutkimuksessaan, että kehitettävä harjoitusvaste saattaa olla hyvin tehtäväspesifinen. Tutkimuksen mukaan vastusharjoittelu lisäsi alaraajojen lihasvoimaa, mutta ei yksin parantanut dynaamista tasapainoa ja dynaaminen tasapainohypellysharjoittelu taas paransi dynaamista tasapainoa, mutta ei yksin lihasvoimaa alaraajoissa (Karinkanta 2011). Tämän tehtäväspesifisyyden osoitti myös Wolfston ym. (1996) omassa tutkimuksessaan.

5 Tasapainoon negatiivisesti vaikuttavat tekijät

Vakaa pystyasento ja tasapaino vaatii monien eri järjestelmien tarkkaa ja saumatonta yhteistyötä (Nakagawa ym. 2017). Se on niin herkkä ja haavoittuvainen kokonaisuus, että pienikin särö jossain järjestelmässä voi horjuttaa sen toimintaa (Kauranen & Nurkka 2010).

5.1 Ikääntymisen vaikutus elimistöön

Eri aistinjärjestelmien ja rakenteiden toiminta heikkenee iän myötä. Vanhenemisen muutokset alkavat jo 20-ikävuoden jälkeen ja mitä vanhemmaksi tullaan sitä enemmän kiihtyy muutosten aikaansaama rappeutuminen. Vanhenemismuutokset linkitetään yleensä solujen toiminnan heikkenemiseen ja solukuolemiin. Solujen vanhetessa fysiologiset muutokset lisääntyvät, elimistössä alkaa tapahtua kuihtumista, kuivumista ja rasvoittumista. Tämä taas saa aikaan elimistön jäykistymistä, ja esimerkiksi kudosten vesipitoisuus ja kimmoisuus vähenevät. Tätä biologista vanhenemista ja siihen vaikuttavia mekanismeja ei vielä ihan tarkasti tiedetä (Karhumäki ym. 2008). Useita teorioita on kuitenkin esitetty: 1. Geneettinen teoria, jossa geneettisen kellon vaikutuksen uskotaan olevan kytköksissä soluaineenvaihdunnan sammumiseen, 2. Hormonaalinen teoria, jossa aineenvaihdunnan hidastumisen uskotaan johtavan solunjakautumisen loppuun, 3. Hapettumisteoria, jossa vapaiden happiradikaalien uskotaan lisäävän soluvaurioita erityisesti keskushermostossa ja samalla kiihdyttävän elimistön hapettumista, 4. Immuuni- ja autoimmuuniteoria, jossa elimistön oma entsyymitoiminta vapaiden happiradikaalien eliminoimiseen on heikentynyt eli ns. elimistön oma antioksidanttijärjestelmä ei toimi (Karhumäki ym. 2008, Simmons 2012, Vallejo ym. 2006).

5.2 Ikääntymisen vaikutukset aistinjärjestelmiin

Visuaalinen aistinjärjestelmä heikkenee iän myötä. Tasapainon ja asennonhallinnan kannalta oleelliset asiat, kuten silmän tarkentamiskyky, syvyysnäkö, kontrastien erotuskyky ja mukautumiskyky heikkenevät (Era 1997, Karhumäki ym. 2008). Visuaalinen järjestelmän kautta saatu näköaisti auttaa meitä sopeutumaan ja mukautumaan ympäristöön. Ikääntyneillä visuaalinen aistinjärjestelmä on proprioseptisen aistinjärjestelmän kanssa dominoivia aistinelimiä. Häiriö varsinkin ns. perifeerisessä näköaistissa vaikuttaa huojunnan stabilointiin (Carter 2001, Honeine & Schieppati 2014). Huono tai virheellinen aistimus vääristää

aistinkuvaa ja lisää lihasten turhaa aktivaatiota, joka näkyy ikääntyneillä mm. lyhyinä ”teputtelevina” askeleina (Jancova ym. 2008).

Sisäkorvan tasapainoelimessä olevien tasapainoelinten karvasolut häviävät ja tuhoutuvat. Jopa 40% karvasoluista häviää ikääntymisen myötä. Aistinsolujen häviämisen johdosta vestibulaarisen järjestelmän kautta lähtee vähemmän signaaleja keskushermostolle ja aivoihin. Tästä seurauksena on refleksitoiminnan häiriöt, mm. vestibulo-okulaarirefleksi heikkenee. Seurauksena vestibulaariongelmista voi olla tasapaino-ongelmat, asennonsäilyttämis- ja kävelyongelmat, huimaus, nystagmus, hahmottamisvaikeudet ja kehon kokonaishuojunnan lisääntyminen (Anson & Jeka 2016).

Somatosensorisen eli probrioseptisen järjestelmän häiriöt viittavat usein siihen, että aistiherkkyys heikkenee ja niiden kyky lähettää aistimuksia kehon asennoista ja asennon muutoksista sekä ympäristöön liittyvistä muutoksista keskushermostolle hidastuu ja muuttuu epätarkemmaksi. Somatosensorisista aistimuksista mm. ihotunto (cutaneous vibratory sensation) ja nivelten asentotunto on todettu olevan merkitsevästi alentuneet ikäihmisillä (Carter ym. 2001, Era 1997). Ihon elastisuus laskee ja tätä kautta myös ihoaistien herkkyys ja johtumisnopeus laskee (Peters ym. 2016). Muutokset somatosensorisessa aistinjärjestelmässä johtaa hidastuneeseen vasteeseen tasapainon korjausmekanismin kannalta (Papegaaij ym. 2014, Simmons 2012).

5.3 Ikääntymisen neuraaliset vaikutukset tasapainoon

Ikämuutokset näkyvät myös aivoissa. Aivoissa tapahtuvat rakenteelliset muutokset johtavat atrofiaan eli aivojen rappeutumiseen. Tämän johdosta aivojen paino pienenee ja rakenteellisia muutoksia on näkyvissä mm. aivokuorikerroksen paksuuntumisena ja aivokammioiden suurentumisena. Samoin harmaan ja valkean aineen suhde heikkenee ja hermosolujen määrä vähenee lähes puoleen. Hermo- ja gliasoluihin kertyy proteiinipitoista massaa, joka heikentää hermosolujen toimintaa (Hunter ym. 2016, Papegaaij ym. 2014).

Rakenteelliset muutokset heikentävät sekä neuraalista että motorista toimintaa. Ääreishermoston heikkeneminen johtaa hermon heikentyneeseen syyttymis- ja johtumiskykyyn, eli herkkyys ärsykkeeseen reagoimiseen laskee. Tällöin heikentynyt informaation eteneminen saa aikaan sen, että reaktiokyky ja vaste lihaksille liikkeen

aikaansaamiseksi on hidastunut. Refleksitoiminnan ja palautejärjestelmän heikkeneminen johtaa siihen, että reagoiminen äkillisiin tasapainoa häiritseviin tilanteisiin hidastuu ja esimerkiksi korjaavien askelten ottaminen muuttuu vaivalloisemmaksi (Hunter ym. 2016, Orr ym. 2006). Ääreishermoston ohella myös keskushermostossa hermon syttymis- ja johtumisnopeus heikkenee. Hermosolujen ja motoristen yksiköiden määrän väheneminen heikentää niiden toimintaa merkittävästi johtaen keskushermostoon tulevan informaation tulkinnan ja käsittelyn hidastumiseen. Tästä johtuen impulssien tulkinta saattaa muuttua epätarkaksi tai jopa virheelliseksi (Simmons 2012, Wiesmeier ym. 2017). Tätä kautta yleinen huomiokyky ja vasteeseen reagointi hidastuu (Bergamin ym. 2014, Hunter ym. 2016).

Neuraalisen aktivaation heikkeneminen vaikuttaa suoraan motorisen kontrollin toimintaan. Heikentynyt alfa-motoneuronin johtuminen on seurausta mm. motoristen yksiköiden tuhoutumisesta ja johtaa heikentyneeseen informaation etenemiseen. Neuromuskulaarinen heikkous on seurausta heikentyneestä lihassupistuksesta, heikentyneestä lihasjänteystä/aktivaatiosta, heikentyneestä lihassynergiasta agonisti-antagonisti lihaksissa ja johtaa mm. alentuneeseen ketteryyteen, liikkuvuuteen (Jancova ym. 2008, Orr 2010) sekä heikentyneeseen liikkumiskykyyn (Reid & Fielding 2012). Varsinkin ikääntyneillä näyttäisi olevan vaihtelevuutta lihasten aktivoitumisjärjestyksessä ja niiden yhteistoiminnassa. Tämä näkyy varsinkin antagonisti-lihasten turhan suurena aktivaationa. Joidenkin tutkijoiden mielestä tämä voisi johtua siitä, että neuraalinen kontrolli ja motorinen kontrolli on hidastunut, eli ärsykkeen eteneminen aivoihin ja sieltä takas lihaksiin on heikentynyt (Wiesmeier ym. 2017).

5.4 Ikääntymisen vaikutus lihas- ja nopeusvoimaan

Lihassoiman ja varsinkin nopeusvoiman yhteys tasapainoon on monissa tutkimuksissa osoitettu (Granacher ym. 2008, Orr ym. 2006). Toki ristiriitaisiakin tuloksia on kirjallisuudessa nähty voimaharjoittelun vaikutuksesta tasapainoon (Muehlbauer ym. 2015). Jo 20-ikävuoden jälkeen lihasvoima laskee jopa 2% vuosittain, nopeusvoiman osalta heikkeneminen on jopa puolet suurempaa. Lihassolujen koko ja määrä pienenee, lihasten poikkipinta-ala pienenee, lihasten rasvoittuminen johtaa rakenteellisiin muutoksiin, mikä aikaansaa lihasvoiman ja voimantuoton laskua sekä lihasjänteveyden laskua. Nykyään tiedetään nopeusvoiman laskulla olevan absoluuttista voimantapua suurempi merkitys tasapainon ja toiminnallisuuden kannalta. Nopeusvoimaharjoittelun vaikutukset neuraalisen

kontrollin parantamiseen on tutkimuksissa osoitettu: tehokkaampi lihassolujen rekrytointi, parantunut sensoristen informaatioiden signalointi aistinelimiltä aivoihin ja sieltä kohde- elimiin, parantunut reaktioaika ja vähentynyt latenssiaika. Toisin sanoen se parantaa neuromuskulaarista toimintaa (Hunter ym. 2016, Kauranen & Nurkka 2010). Nopeusvoimalla on osoitettu olevan myös vaikutus hermo-lihasliitoksen tehokkaampaan toimintaan sekä lihasten proteiinisynteesin paranemiseen (Reid & Fielding 2012).

Fyysinen inaktiivisuus johtaa lihasmassan ja –voiman katoamiseen. Tämä johtaa anabolisen potentiaalin laskuun eli kataboliaan. Anabolisen potentiaalin vähentyessä insuliiniresistenssi lisääntyy, hormonaalinen toiminta, varsinkin kasvuhormonin, testosteronin ja estrogeenin osalta heikkenee, lihasmetabolian häiriöt (rasvoittuminen) lisääntyy, lihasten tulehdustilat lisääntyy johtaen lihassolujen tuhoutumiseen ja tämän seurauksena lihasten koko ja lihasvoima pienenee. Pahimmillaan tämä johtaa lihasheikkouteen eli haurautteen tai jopa sarkopeniaan. Sarkopenian ja haurauden seurauksena toiminnallisuus alenee, liikkuvuus ja tasapaino heikkenee ja kaatumisriski ja jopa enneaikainen kuoleman riski lisääntyy (Cadore ym. 2013, de Labra ym. 2015, Montero-Fernandez 2013).

5.5 Muut negatiiviset tekijät

Väsymisellä on suuri vaikutus pystyasennon hallintaan ja tasapainoon. Ihmisen väsyessä voimantuottokyky heikkenee ja vaadittu kuormitus/suoritustaso asennon ylläpitämiseksi hankaloituu. Väsymisen tasosta voidaan periaatteessa eritellä kaksi eri mekanismia. Sentraalinen väsymys johtaa neuraalisen kontrollin ja ohjauksen heikkenemiseen. Käytännössä tämä siis tapahtuu keskushermosto tasolta, jolloin ärsykkeiden aistiherkkyys laskee ja hermoimpulssin johtuminen hidastuu vaikuttaen lihaksen kykyyn supistua nopeasti. Toisin sanoen tasapainon palautejärjestelmä toimii heikommin ja hitaammin. Perifeerinen väsyminen voidaan ajatella olevan esimerkiksi yksittäisen lihaksen väsymistä. Tällöin hermo-lihasliitoksen välittäjäaineiden erityis motorisessa päätelevyssä on hidastunut, ja kalsium-ionien toiminta heikentynyt johtaen lihaksen pH-arvon laskuun. Näistä seurauksena lihassolun supistumiskyky laskee huomattavasti (Enoka & Duchateau 2008, Helbostad ym. 2010, Steinberg ym. 2016, Papa ym. 2015).

Tutkimuksissa on osoitettu väsymisen vaikuttaneen pystyasennon hallintaan ja tasapainoon niin nuorilla kuin aikuisillakin. Lihäsväsymisen tiedetään vaikuttavan perifeeriseen proprioseptiseen järjestelmään sekä keskushermoston sensorisen aistijärjestelmän prosessointikykyyn (Steinberg ym. 2016, Papa ym. 2015). Ristiriitaisuuksia tuloksien suhteen löytyy siitä, että joidenkin tutkimusten mukaan ikääntyneet ovat nuoria paremmin väsymystä sietäviä. Tämä mahdollisesti johtuisi siitä, että ikääntyneillä on enemmän ns. hitaita lihassoluja, lihasten rakenne erilainen ja lihasmassaa vähemmän (Helbostad ym. 2010). Toisaalta nuoret ovat monesti fyysiseltä kunnoltaan parempia, ja tämän tiedetään olevan yhteyksissä parempaan väsymisen sietoon ja tasapainon hallintaan (Steinberg ym. 2016).

Lihäsväsymys vaikuttaa voimantuoton heikkenemisen lisäksi nivelien asentoihin. Tutkimuksissa osoitettu voimantuoton heikkenemisen johtavan reiden ja lonkan seudun ekstensori-lihasten heikentyneeseen kykyyn ylläpitää asennonhallinnan kannalta tarvittavia nivelkulmia. Toisena vaikuttavana tekijänä on pidetty heikentyntä refleksitoimintaa, jolloin nivelten stabiliteetti laskee (Papa ym. 2015).

Kivun tiedetään olevan yksittäinen itsenäinen tekijä kaatumisriskille. Krooninen kipu vaikuttaa elämän laatuun, rajoittaa normaalia elämää niin arkiaskareiden kuin harrasteiden osaltakin. Tämä johtaa monesti inaktiivisuuteen ja liikkumattomuuteen, joka näin ollen heikentää myös asennon hallintaa ja tasapainoa. Kipu rajoittaa liikkeitä, ja johtaa virheellisiin kehon asentoihin ja liikkeisiin. Monissa tutkimuksissa on osoitettu kivun vaikuttavan varsinkin ikääntyneillä liikkumiseen ja kävelyyn (Lihavainen 2012).

Monesti tasapainon heikkeneminen yhdistetään kaatumisriskin kasvuun. Kaatumisen etiologiaan kuuluu huojunnan lisääntyminen, lihasvoiman- ja voimantuottonopeuden (nopeusvoima) heikkeneminen (Granacher ym. 2011). Alaraajojen heikkous, huono tasapaino ja kävelyongelmat ovat ikääntyneillä linkitetty kaatumisriskiin (Muehlbauer ym. 2015). Varsinkin heikentyneen nopeusvoiman tiedetään olevan aikainen indikaatio tasapainon huononemiseen ja sitä kautta kaatumiseen (Era ym. 2006, Lord ym. 1996, Orr ym. 2006). Huonon tasapainon taas tiedetään toimivan ennustavana tekijänä kaatumisriskeille, itsenäisesti selviytymiselle jokapäiväisistä askareista ja jopa kuolemanriskille (Era ym. 2002, Lord 1994). Kaatumiset ja siitä seurauksena syntyvien vammojen ja murtumien vaikutukset yhteiskunnalle, terveydenhuoltojärjestelmälle ja yksilölle itselleen ovat hyvin suuret (de Labra ym. 2015, Lord ym. 1993).

Tasapainon kannalta nivelten liikkuvuus on tärkeää. Varsinkin nilkan koukistamisella ja kaatumisen riskillä on todettu olevan merkitys toisiinsa. Huonolla nilkan liikkumisella on kaatumisriskiä lisäävä vaikutus (Bird ym. 2001, Menz ym. 2005). Nilkan ja lantion hallitun pidon ja optimaalisen liikkuvuuden tiedetään vähentävän lateraalista huojuntaa ikääntyneillä (Chiba ym. 2016).

6 Vibraatiotunto

Vibraatiotunnon mittauksia on tehty jo 1800-luvulla. Tuolloin sitä käytettiin osana kliinisiä tutkimuksia tutkittaessa vibraatiotunnon yhteyttä eri sairauksiin. Mekaaninen värinä saa aikaan vibraatioaistimuksen. Aikojen alussa sitä tutkittiin vain alueilta, joilla ärsyke on vaikutuksessa luun kanssa. Silloin luultiin, että tunteoreseptorit sijaitsevat ainoastaan luukalvossa. Myöhemmin ymmärrettiin, että vibraatio(värinä)herkkiä reseptoreita on laajasti ympäri ihoa (Häkkinen ym. 1980). Nykyään vibraatiotunnon tutkiminen on yleinen neurologinen tutkimusmuoto selvittäessä esim. kosketusaistin toimintaa. Kiinnostus sen tutkimiseen on kasvanut, koska sen on ehdotettu olevan yhteyksissä toiminnalliseen liikkuvuuteen iäkkäillä (Resnick ym. 2000). Vibraatiotunnon tutkimista käytetään edelleen työkaluna kliinisessä tutkimuksessa, kun on haluttu selvittää vibraatiotunnon yhteyksiä erilaisten sairauksien kohdalla, esimerkiksi diabetes ja erilaiset neurologiset sairaudet (Era 1986, Sima ym. 2005). Markkinoilla olevien useiden laitteiden tarkoituksena on mitata pienin mahdollinen voimakkuus vibraatiotunnolle, jonka ihminen kehossaan tunnistaa. Mittauksissa käytetään sekä matalataajuisia, 5-40Hz värinää, sekä suurempitaajuisia yli 40Hz:n värinää. Eri reseptorit reagoivat eri taajuuksiin, matalataajuinen värinä aktivoi ihon uloimmassa kerroksessa olevia Meissnerin-keräsiä ja suurempi taajuinen värinä Pacinian-keräsiä ihonalaiskudoksessa. Ihon herkin reagointitaajuus on 200-400Hz:a ja vain Pacinian-keräset kykenevät aistimaan näin korkeita taajuuksia (Häkkinen ym. 1980, Peters ym 2016). Yleisesti tutkimuksissa käytetään voimakkuudeltaan alle 250 Hz olevan ärsykkeen tunnistamista (Greenstein ym. 1987, Kendel 2000).

6.1 Vibraatiotunto ja ikä

Tutkimukset ovat osoittaneet vibraatiotunnon heikkenemisen olevan vahvasti suhteessa ikään (Goldberg 1979, Era 1986, Gesheider 1996, Sands 1998, Wells 2003, Lin 2005). Erot vibraatiotunnossa tulevat esille jo vertailtaessa nuoria aikuisia ja keski-ikäisiä keskenään (Era ja Heikkinen 1985, Era 2006). Era osoitti jo 1985 tutkimuksessaan, että hyvä tasapaino ja vibraatiotunto ovat yhteyksissä toisiinsa. Brocklehurst ym. (1982) osoittivat samanlaisia tuloksia tutkimuksessaan iäkkäillä ihmisillä. Etenkin 70-ikävuoden jälkeen vibraatiotunnon aistimuskynnyksen, sekä matalaan että korkeaan taajuuteen, on todettu nousevan selkeästi (Perry 2006, Peters ym. 2016, Stuart ym. 2003). Kuitenkaan ei aivan varmasti pystytä sanomaan, mikä vanhenemiseen liittyvä fysiologinen muutos olisi tämän aistin heikkenemisen takana. Tutkimuksissa on osoitettu, että ihoreseptoreiden tiheys, rakenne ja toiminta muuttuvat iän myötä. Tästä seurauksena ihon elastisuus heikkenee ja alueellinen hermotustiheys laskee vaikuttaen hermon johtumisnopeuden hidastumiseen (Peters ym. 2016). Toiset tutkijat taas olettavat sen liittyvän tuntoaistien ja reseptorien häviämiseen, verenkierron ongelmiin ja ääreishermoston heikkenemiseen (Stuart ym. 2003). Varsinkin Pacinian-kerästen tuhoutumisen tiedetään heikentävän vibraatiotuntoa ikääntyneillä (Häkkinen ym 1980, Stuart ym. 2003). Toisaalta vibraatiotunnon kynnysarvon nousun on oletettu kuuluvan synnyntäisen vanhenemismekanismiin muutoksiin ikääntyvillä, varsinkin hermostoon kohdistuvien muutoksien osalta (Era 1986). Jotkut selittävät näitä muutoksia muun muassa siten, että vanhenemiseen liittyvät patologiset muutokset hidastaisivat hermostollista toimintaa. Esimerkiksi diabetekseen on liitetty merkittävä hermoimpulssin johtumisen hidastuminen ja kasvanut kynnys aistia monia ärsykejä (Inami ym. 2005). Samoin on havaittu motorisen impulssin hidastumista esim. henkilöillä, joilla on heikentynyt glukoosin sietokyky (Van Dam ym. 1995, Viswanathan ym. 2004). Kuitenkaan ei varmuudella tiedetä, onko iäkkäillä huonontunut vibraatiotunto liitettävissä metaboliseen häiriötilaan. Iäkkäillä on myös todettu säätelyjärjestelmän häiriötoiminnan mahdollisesti johtavan krooniseen tulehdustilaan (Caruso ym 2005). Tämä taas johtaa tulehdusaineiden lisääntymiseen verenkierrossa, mistä voi olla seurauksena jopa solukuolema, ja sillä taas mahdollisesti on vaikutusta iäkkäillä hermoimpulssin johtumisnopeuden hidastumiseen (Akiyama ym. 2000, Caruso ym. 2005). Joten on järkevää olettaa, että myös krooninen tulehdustila johtaa alentuneeseen vibraatiotuntoon iäkkäillä. Lisäksi on todettu tupakan ja alkoholin sekä joidenkin lääkkeiden nostavan vibraatiotunnon kynnysarvoa (Era ym. 1986, Whangler 1974).

6.2 Vibraatiotunto ja tasapaino

Huono tasapaino ja korkea vibraatiokynnys eli heikentynyt herkkyys tunnistaa ärsykettä ovat yhteyksissä toisiinsa. Oletetaan, että huono vibraatiotunto alaraajoissa, heikentynyt refleksiherkkyys akillesjänteessä ja huojunnan lisääntyminen korreloivat huonon tasapainon hallinnan kanssa. Kun herkkyys mekanisille ärsykkeille heikkenee, johtaa se informaatioherkkyuden laskuun (Peters ym. 2016). Varsinkin miehillä huono tasapaino korreloi huonon alaraajasta mitattun vibraatiotunnon kanssa (Era ja Heikkinen 1985, Era 2006). Samassa tutkimuksessa vastaavanlaista yhteyttä ei kuitenkaan voitu osoittaa naisilla, koska heillä oli kauttaaltaan parempi vibraatiotuntoherkkyys alaraajasta mitattuna. Halonen (1986) osoitti tutkimuksessaan, että vibraatiotunnon kynnsarvo voi alkaa nousta jo suhteellisen nuorella iälläkin, ja sekin oli selvästi yleisempää miehillä. Vibraatiotunnon heikkeneminen on myös tärkeä tekijä miehien kauttaaltaan todettuun huonompaan tasapainoon. Tutkimuksissa on myös todettu, että lisääntynyt huojunta seisoma-asennossa on yhteyksissä huonontuneeseen vibraatiotuntoon alaraajasta mitattuna (Brocklehurst 1982). Huono vibraatiotunto korreloi pituuden kanssa siten, että pitemmillä ihmisillä on todettu korkeammat kynnsarvot eli heikompi herkkyys iästä riippumatta (Era 1986).

7 Tutkimuksen tarkoitus

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli vastata seuraaviin kysymyksiin:

1. Ovatko tasapaino ja vibraatiotunto yhteydessä toisiinsa?
2. Onko fyysisellä aktiivisuudella vaikutusta tasapainoon?
3. Onko fyysisellä aktiivisuudella vaikutusta vibraatiotuntoon?

7.1 Aineisto ja menetelmät

Tutkimus on poikkileikkaustutkimus ja osa suurempaa tutkimusprojektia. Kaikenkaikkiaan postitse oli lähetetty kyselyt 600:lle veteraaniurheilujärjestön jäsenelle, joista 60 tutkittavaa valikoituivat testattaviksi. Heidän ikänsä oli 66-85 –vuotta. Koeryhmä koostui naisista, jotka olivat nuorena harrastaneet urheilua ja olivat edelleen aktiivisia liikunnan suhteen. Heidän lajeinaan oli ollut yleisurheilu, maastohiihto tai voimistelu. Useimmilla oli takanaan lähes koko elämänsä ajan kestänyt harjoitushistoria ja urheilijoiden keskimääräinen liikunnanharrastamisen historia oli 50 vuotta. Tutkimushetkellä 70 % aktiivisista naisista harjoitteli vielä intensiivisesti, tarkoittaen hengästyttä ja hikoilua aiheuttavaa liikuntaa yli kolme kertaa viikossa. Monet heistä harrastivat kilpaurheilua veteraanisarjoissa. Näistä 60:stä naisesta 52 (87 %) osallistui laboratoriotesteihin. Verrokkiryhmä koostui 71:stä satunnaisesti valituista Jyväskylän ja lähialueen ihmisistä, joiden ikähaaralla oli 70-81-vuotta. Verrokkiryhmästä 42 (59 %) osallistui laboratorio mittauksiin (Taulukko 3). Verrokkiryhmä oli liikunnallisesti melko inaktiivinen. Kukaan heistä ei harrastanut mitään tiettyä urheilulajia. Suurimmalle osalle heistä (90%) päivän fyysinen aktiivisuus tuli peruskotitöistä tai kevyestä kävelystä. Yleisin syy tutkimuksesta poissulkemiselle oli tutkittavien itse raportoima huono toiminnallinen kapasiteetti. Tutkimus oli hyväksytty keski-Suomen sairaanhoitopiirin eettisen lautakunnan puolelta ja kaikilta mittauksiin osallistuneilta oli saatu kirjallinen suostumus mittauksiin (Sipilä ja Suominen 1994).

7.2 Antropometria

Antropometrisistä mittauksista (Taulukko 3.) kehon pituus, paino ja rasvaprosentti mitattiin sähköistä bioimpedanssi-laitetta käyttäen (Lukashi & Bolonchuk 1987).

Taulukko 3. Koehenkilöiden keskiarvot ja –hajonnat iän, pituuden, painon, rasva%:n ja rasvattoman painon suhteen.

	Ryhmä I Urheilijat	Ryhmä II Kontrolliryhmä
Henkilömäärä	52	42
Ikä (vuosi)	73,9 ± 4,3	74,6 ± 3,1
Pituus (cm)	158,6 ± 5,4	156,7 ± 4,4
Paino (kg)	61,3 ± 10,4	72,3 ± 13,4
Rasva%	26,2 ± 6,8	33,8 ± 7,1
Rasvaton paino	44,9 ± 4,8	46,7 ± 5,4

7.3 Tasapainotesti

Voimalevyillä suoritetuissa staattisissa tasapainotesteissä lasketaan voimavaikutusten keskipiste voimalevyyn kohdistuvien pystysuorien (vertikaalisten) sekä vaakasuorien (horisontaalisten) voimien avulla. Voimavaikutusten keskipisteen siirtymisen perusteella lasketaan myös huojunnan keskimääräinen nopeus eteen, taakse ja sivusuunnassa.

Tasapainotesti tehtiin käyttämällä Kistler 9861A (Kistler Group, Sveitsi) piezoelektronista voimalevyä, jonka mittausalue oli 600mm X 1200mm. Piezoelektroniset muuttimet sijaitsivat jokaisessa kulmassa voimalevyllä ja ne rekisteröivät vertikaalisen (Z), antero-posterisen eli eteen-taakse (Y) sekä medio-lateraalisen eli sivuttaishuojunnan (X) voimat itsenäisesti jokaisesta kohdasta. Kerätyt signaalit vahvistettiin (Kistlerin vahvistin) ja tallennettiin käyttämällä moni-kanavaista analogista tallenninta (Racal 7). Saatu analoginen data vahvistettiin ja muunnettiin digitaaliseen muotoon tietokoneen ja analogi-kortin avulla. Digitaalinen data suodatettiin käyttämällä digitaalista suodatinta ja siitä poistettiin ylimääräiset häiriötekijät. Vertikaalisten voimien ja horisontaalisten voimien tasoista saatiin laskettua voimankeskipisteen (COF) sijainti. Kun COF:n sijainti oli saatu laskettua, tämä laskettu data suodatettiin käyttämällä samaa suodatinta kuin aiemmin yläpuolella kerrottiin.

Tämän saadun datan perusteella laskettiin seuraavat muuttujat: Voimalevyllä toteutetuissa mittauksissa analysoidaan kehon paineakeskipisteen/kehon voimavaikutuksen liikettä seisoma-asennossa. Nämä tulomuuttujat kuvastavat kehon sivuttaissuuntaisen (med-lat) huojunnan keskimääräistä nopeutta x-suunnassa mm/s ja eteen – taakse (ant-post) suuntaisen huojunnan keskimääräistä nopeutta y-suunnassa mm/s, sekä keskimääräistä vauhtimomenttia (v.mom) mm²/s. Vauhtimomentti kertoo painopisteen liikkeen keskimääräisen siirtymän testisekunnin aikana niin sanotusta vaikuttavien voimien aloituspisteestä (paineakeskipisteestä) (Era 1996, Kauranen & Nurkka 2010).

Tässä tutkimuksessa tehtiin kolme erilaista tasapainotestiä kaikille testattaville: 1. seisominen normaalisti, silmät auki (RO1), kädet lanteilla ja jalat merkityillä paikoilla hieman erillään (kantapäiden väli 5-6 cm), katse suoraan edessä olevan seinään merkittyyn kohtaan (silmien tasolla). 2. Muuten sama kuin ensimmäinen testi, mutta silmät suljettuna (RO2) ja 3. ns. Tandem seisominen, eli jalat perätysten ja varpaat kiinni toisen jalan kantapäässä siten, että paino on molemmilla jaloilla tasaisesti, kädet lanteilla ja katse suoraan edessä olevan seinän merkittyyn kohtaan (RO3). Jokainen testeistä kesti 40 s. ja ne suoritettiin kaikille samassa järjestyksessä. Testien välissä oli muutaman minuutin lepo ja palautushetki. Testin sai mahdollisesti uusia, jos testattava ei pystynyt suorittamaan koko vaadittua aikaa. Näin tapahtui usein varsinkin kolmannessa ”tandem” testissä. Testiä aloittaessa mittalaite resetoitiin eli nollattiin ja kalibroitiin siten, että testattava henkilö seiso i neutraalissa, tasapainoisessa asennossa voimalevyn päällä. Tämä tehtiin siksi, että voitiin eliminoida staattisen painon vaikutus tulokseen ja parantaakseen laitteen tarkkuutta. Absoluuttisten tulosten lisäksi suoritettiin skaalaus, jossa ennen analyysyä (a-p) ja (m-l) suuntaisen huojunnan muuttujat skaalattiin henkilön pituuden suhteen seuraavan kaavan mukaan: (huojunnan muuttuja (mm/s) / pituus (cm) x 180cm) ja vauhtimomentti (huojunnan muuttuja (mm/s) / pituus (cm)² x 180cm²).

7.4 Vibraatiotunnon mittaus

Tässä tutkimuksessa vibraatiotuntoa eli värinätuntoa mitattiin Vibrometer-laitteella (Sonomedic, Ruotsi). Vibraatiotunto mitattiin jalasta jalkapöydän ensimmäisen metatarsaaliluun distaalisesta osasta. Mittauksessa käytettiin 100 Hz frekvenssiä arvioitaessa vibraatiotunnon kynnsarvoa. Laitteen värinäpää asetettiin testattavan iholle siten, että

ylimäärästä painoa/painetta ei siihen kohdistettu. Vibraatiotunnon kynnyksisarvo määritettiin siten, että stimulus aloitettiin nollopisteestä ja sitä nostettiin niin kauan kunnes testattavan vibraatiotunnon kynnyksisarvo ensimmäisen kerran ylittyy (vibraatiotunnon kynnyksisarvon ilmenemispiste) (Goldberg ja Lindblom 1979). Saadut vibraatiotunnon arvot olivat absoluuttisia mikrometrimääriä, jotka kuvasivat mittaustilanteessa ihon pinnalle asetettavan tärinän liikkeen amplitudia sillä kynnyksitasolla, jonka tutkittava juuri ja juuri tunnisti tärinäksi. Saadut tulokset muunnettiin logaritmitaulukon mukaisesti luettavaan muotoon.

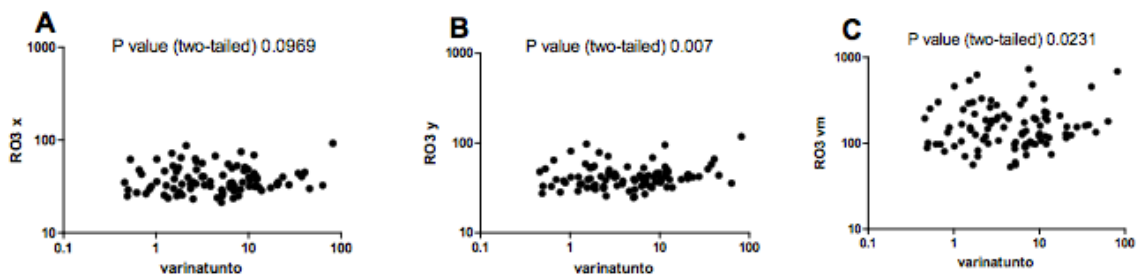
8 Tilastolliset analysointimenetelmät

Ryhmien välisiä eroja analysoitiin käyttämällä unpaired t-testiä (two-tailed), jossa tilastollisesti merkitsevä ero (*) p-arvo<0.05, (**) p-arvo< 0.01 tai (***) p-arvo < 0,001. Tutkimusaineiston muuttujista laskettiin keskiarvot ja –hajonnat. Väriä tuntoa ja tasapainon yhtäläisyyksiä analysoitiin käyttämällä Pearsonin korrelaatiokerrointa. Analyysit tehtiin käyttämällä GraphPad Prism 5- analyysiohjelmaa.

9 Tulokset

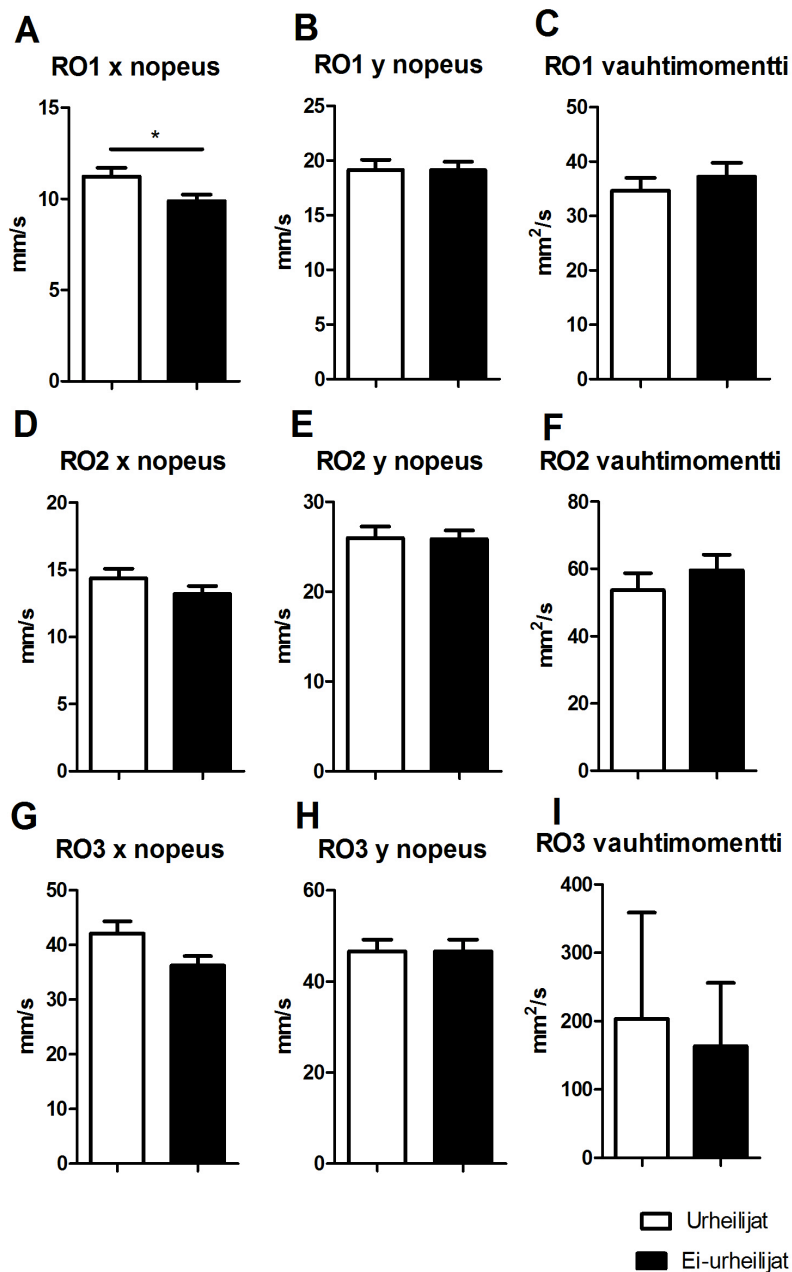
Kehonkoostumus-mittauksien arvot osoittivat tilastollisesti merkitseviä eroja tutkittujen ryhmien välillä. Merkitsevät eroavuudet saatiin kehon painon (kg) ja kehon rasva%:n tuloksissa. Ei-urheilija ryhmällä oli selkeästi korkeampi kehon massa, joka oli 72,3 kg kun taas urheilijaryhmän painon keskiarvo oli 61,3 kg (taulukko 3). Kehon rasva% noudatti samaa linjaa kehon painon kanssa, eli ei-urheilijoilla 33,8 % ja urheilijoilla 26,2 %. Muuten taustamuuttujat eivät eronneet tilastollisesti toisistaan.

Testiryhmiltä mitattiin tasapaino kolmella eri menetelmällä ja värinätunto mitattiin jalasta jalkapöydän ensimmäisen metatarsaaliluun distaalista osasta. Tutkimuksessa haluttiin vertailla tasapainon ja värinätunnon yhteyksiä toisiinsa. Tässä vertailussa molemmat ryhmät yhdistettiin yhdeksi kokonaisuudeksi. Kun tutkittiin värinätunnon korrelaatiota tasapainoon, voimakasta korrelaatiota ei havaittu. Tilastollisesti merkitsevä yhteys saatiin ainoastaan jalan värinätunnon ja tasapainon kolmannen testin, tandem- testi, eteen-taaksehuojunnassa (r 0,35, $p=0,001$) sekä vauhtimomentissa (r 0,24, $p=0,023$) välille (kuva 3).



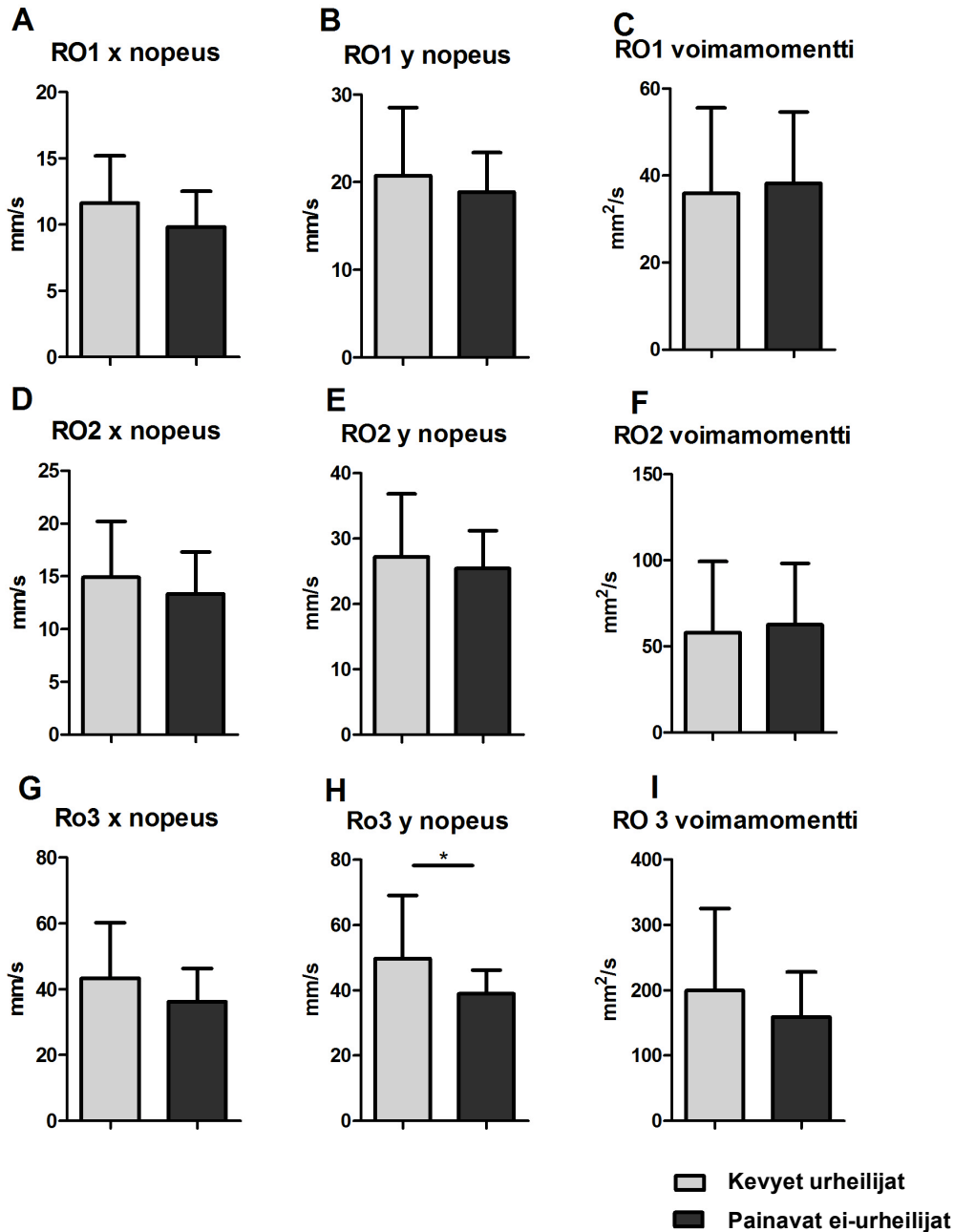
Kuva 3. Värinätunnon korrelaatio tandem – tasapaino seisomiseen.

Kun vertailtiin urheilun vaikutusta tasapainoon, testeissä vain ensimmäisen testin, normaali seisominen silmät auki, sivuttaishuojunnassa saatiin tilastollisesti merkittävä ero ryhmien urheilijat ja ei-urheilijat välillä. Muissa tasapainoon liittyvissä testeissä ei saatu tilastollisia eroja ryhmien kesken (kuva 4). Vaikka tulokset vakioitiin pituuden suhteen, ryhmien välille ei muodostunut suurta merkittävää eroa kolmessa tasapainotestissä.



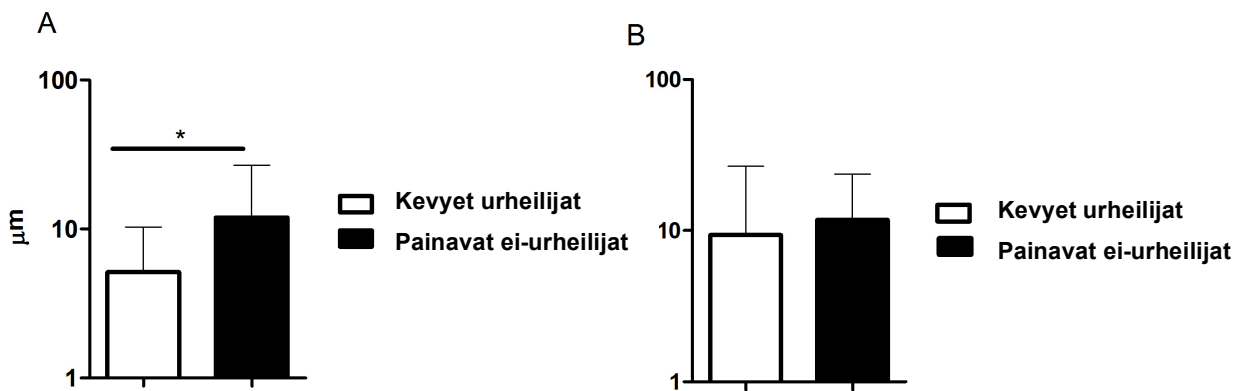
Kuva 4. Kolmen eri tasapainotestin ryhmäkohtaiset vertailut urheilijoilla (n=52) ja ei-urheilijoilla (n=42). RO1 (a-c) normaali seisominen silmät auki, RO2 (d-f) normaali seisominen silmät kiinni ja RO3 (g-i) tandem seisominen silmät auki. Tuloksissa ilmenevät RO x-nopeus (mm/s), RO y-nopeus (mm/s) ja RO vauhtimomentti (mm²/s). Tilastollisesti merkittävä ero saatiin vain RO1 sivuttaishuojunnassa.

Kun tarkasteltiin otantaa painon mukaan jakaen molemmat ryhmät mediaanin (urheilijat 59,7kg, ei-urheilijat 71,5kg) perusteella kevyempiin ja painavampiin, saatiin tilastollisesti merkitsevä ero kevyiden urheilijoiden ja painavien ei-urheilijoiden välille kolmannen testin, tandem testi, eteen-taakse-huojunnassa. Muutoin ei tilastollisia eroavuuksia saatu näinkään jaoteltuna (kuva 5).



Kuva 5. Tasapainotestin tulokset ryhmät jaoteltuna kevyisiin urheilijoihin ja painaviin ei-urheilijoihin. RO1 (a-c) normaali seisominen silmät auki, RO2 (d-f) normaali seisominen silmät kiinni ja RO3 (g-i) tandem seisominen silmät auki. Tuloksissa ilmenevät RO x-nopeus (mm/s), RO y-nopeus (mm/s) ja RO vauhtimomentti (mm²/s).

Väriäntunnuksessa ei saatu tilastollisesti merkittäviä eroja urheilijoiden ja ei-urheilijoiden välille absoluuttisten eikä pituuden suhteen normalisoitujen tulosten suhteen. Kun ryhmät jaettiin kevyisiin ja painaviin, saatiin tilastollisesti merkittävä ero kevyiden urheilijoiden ja painavien ei-urheilijoiden välillä mitattuna jalkapöydän päältä. Kuitenkaan painavien urheilijoiden ja kevyiden ei-urheilijoiden välillä ei saatu eroa (kuva 6). Tulosten mukaan rasvakudoksen määrällä saattaisi olla vaikutus väriäntunnon aistimisessa. Sen sijaan pituudella ei ollut vaikutusta väriäntuntoon. Johtopäätöksiä tuloksista voidaan todeta, että tulosten analysoinnissa ei ollut merkitystä, esitettiinkö tulokset absoluuttisten tai pituuden suhteen normalisoitujen tulosten mukaan, mutta painolla saattaisi olla vaikutusta.



Kuva 6. Väriäntunnon tulokset (jalkapöytä) ryhmät jaoteltuna A) kevyet urheilijat verrattuna painaviin ei-urheilijoihin ja B) painavat urheilijat ja kevyet ei-urheilijat

10 Pohdinta

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää korreloiko tasapaino ja vibraatiotunto keskenään iäkkäillä koehenkilöillä. Tasapainon ja vibraatiotunnon korrelaatiota tarkasteltaessa ainoa tilastollisesti merkittävä yhteys saatiin jalan vibraation tunnon ja tasapainon kolmannen testin, tandem testin, eteen-taaksehuojunnassa sekä vauhtimomentissa. Näin ollen vaikeimman tasapainotestin mukaan voitaisiin päätellä, että huonoimman tasapainon omaavilla on myös huono vibraatiotunto mikä olisi yhtäläinen Brocklehurstin (1982) saatujen tulosten kanssa. Myös Lord ym. (1991), ovat saaneet yhtäläisyyksiä huonon vibraatiotunnon ja heikentyneen tasapainon välille. Monesti yhtäläisyydet ovat kuitenkin saatu esille vain miesten osalta, kuten Era ym. (1996) tutkimuksessaan toi esille. Tämä voi osaltaan johtua siitä, että naisilla on pienempi vaihtelu ja alempi vibraation kynnystaso (Era ym. 1996). Toisaalta kirjallisuudessa on vielä ristiriitaisia tuloksia sukupuolen vaikutuksesta värinätuntoon. Deshpande ym. (2008) totesi, että miehillä saattaisi vibraatiotunnon kynnysarvo olla suurempi siksi, että miehet ovat keskimääräisesti pidempiä ja isompia, jolloin myös mitattavan kohdan pinta-ala on monesti isompi.

Tämän tutkimuksen tulokset eivät olleet kuitenkaan yksiselitteisiä, koska korrelaatiota tasapainon ja vibraatiotunnon välillä ei saatu kaikissa testeissä. Näin ollen voidaan myös tulkita että vibraatiotunto ja tasapaino eivät selkeästi ole yhteydessä keskenään. Vastaavanlaisen tuloksen on saanut aiemmin myös Era ja Heikkinen (1985) ja Era ym. (1996). Toisin sanoen tutkimustulokset ovat yhtä ristiriitaisia kun olemassa olevat tiedot antaa ymmärtää, joten varmuudella ei näiden tulosten perustella voi sanoa korreloiko tasapaino ja vibraatiotunto selkeästi ainakaan naisilla.

Pituuden vaikutusta tasapainoon ja vibraatiotuntoon on osoitettu lähinnä miehillä. On todistettu, että vibraatiotunto voi olla huonompi pidemmällä ihmisillä, varsinkin jos vibraatiotuntoa mitataan kehon kaukaisemmasta osasta, kuten jalkaterän alueelta. Tällä voi olla myös vaikutusta siihen, että pidemmällä henkilöillä on huonompi suoritus taso tasapainotesteissä (Era ym. 1996). Samalla lailla pituuden vaikutusta värinätuntoon selittivät Gerr & Letz (1994) ja Rivner ym. (2001) viitaten hermoradan pituuteen mitattaessa jalkapöydän tai muuten jalan ääreisosissa. Tässä tutkimuksessa pituus ei antanut yksiselitteistä yhtäläisyyttä naisten tasapainon ja vibraatiotunnon välillä.

Toisena tarkoituksena oli selvittää, onko ikääntyvien koehenkilöiden yleisellä fyysisellä aktiivisuudella vaikutusta tasapainoon verrattuna verrokkiryhmään. Kun tasapainotesteissä tarkasteltiin absoluuttisia tuloksia, niin ainoa tilastollinen ero urheilua harrastaneiden ja ei-aktiivisten ryhmien välillä tasapainotestissä saatiin ensimmäisen testin, normaali seisominen silmät auki, sivuttaishuojunnassa. Kun tulokset normalisoitiin painon suhteen, niin tämän tutkimuksen mukaan tilastollisesti merkitsevät erot tasapainotestissä saatiin nyt ainoastaan kolmannen testin, tandem testi, eteen-taaksehuojunnassa. Tämä taas olisi linjassa Era ym. 2006 tutkimuksen kanssa koskien iän ja vaikeimpien tasapainotestien yhtäläisyyttä. Tämä viittaisi siihen, että ns. vaikeimmissa eniten tasapainoa vaativissa testeissä liikunnan harrastuksella ja painon hallinnalla saattaisi olla vaikutus tasapainoon. Kaiken kaikkiaan selkeästi tulkittavaa yleisen fyysisen aktiivisuuden vaikutusta tasapainoon ei saatu ja nämä tulokset olisi linjassa aiempien tutkimusten kanssa, että liikuntaharrastuksella ei olisi niin paljon vaikutusta staattiseen tasapainoon.

Monet tutkimukset ovat osoittaneet nopeusvoimaharjoittelun ja tasapainoharjoittelun merkityksen pystyasennon hallinnan ja tasapainon kannalta (Low ym. 2017, Paillard ym. 2017). Aiemmin on tutkittu, että ns. korkeamman motoriikan vaativissa lajeissa, kuten maila- ja pallopeleissä, yhteys parempaan dynaamiseen tasapainoon on olemassa johtuen lajissa tarvittavan tasapainon ja nopeiden refleksien takia (Räty ym. 2002). Samansuuntaisia tuloksia saivat Hahn ym. (1999) tutkimuksessaan, jossa verrattiin nuorien aktiiviurheilijoiden dynaamista tasapainoa keskenään. Heidän tutkimuksessa koripalloilijat osoittivat parempaa yhden jalan tasapainoa verrattuna muihin tutkimuksen urheilijoihin. Samoin Paillard ym. 2017 ovat osoittaneet, että lajeissa, joissa nopeat pyrähdykset ja suunnanmuutokset ovat oleellisia lajin kannalta, tasapaino kehittyy huomattavasti. He osoittivat myös, että lajeissa, joissa ollaan avojaloin tai ohuiden tossujen kanssa, proprioseptinen aistinjärjestelmä oli herkempi ja vibraatiotunto oli parempi. Räty ym. (2002) toivat esille tutkimuksessaan, että entisten aktiiviurheilijoiden dynaaminen tasapaino oli verrattavissa 24-30-vuotta nuorempiin ei-aktiivisiin ihmisiin. Kuitenkin huomioitavaa oli, että he eivät saaneet omassa tutkimuksessaan yhteyttä paremman dynaamisen tasapainon ja elinikäisen harjoittelutyypin/-muodon vaikutuksien välille, eli liikuntalajien välillä ei heidän tutkimuksessaan ollut eroavuuksia. Nämäkin tulokset olivat linjassa tämän tutkimuksen kanssa. Tutkimuksessa liikunnan vaikutuksesta ei saatu merkittäviä eroja koe- ja kontrolliryhmän välille. Tämä voisi olla seurausta koeryhmän lajivalikoimasta, joka sisälsi vain maastohiihtoa, yleisurheilua ja voimistelua.

Kun tarkastellaan huojuntaa ryhmien kesken, voidaan todeta, että huojunta lisääntyi molemmilla ryhmillä vaikeustason noustessa. Huojunta myös lisääntyi testien vaikeutuessa, kuten esimerkiksi toisen testin, silmät kiinni, testissä, jossa visuaalinen järjestelmä oli suljettu pois käytöstä. On todettu, että huojunnan määrä on iäkkäillä suurempi verrattuna nuoriin. Suuremman huojunnan määrän tiedetään myös olevan yhteyksissä kaatumistapaturmiin iäkkäillä (Blenkinsop ym. 2017, Laughton ym. 2003, Nagy ym. 2007, Wiesmeier ym. 2017). Lisääntyneeseen huojuntaan yleensä vastataan lisääntyneellä lihasjännityksellä. On kuitenkin vielä epäselvää, onko lisääntynyt lihasaktiivisuus estämässä suurempaa huojuntaa, vai onko suurentunut lihasaktiivisuus kompensoiva vaste kasvavalle huojunnalle (Laughton ym. 2003, Wiesmeier ym. 2017). Wiesmeier ym. 2017 osoittivat tutkimuksessaan, että osalla ikääntyneillä oli paikallaan seistessäkin suurempi lihasjännitys aina ylävartalon lihaksia myöten. Tämä saattaisi olla seurausta eri aistinjärjestelmien ylikuormittumisesta, jolloin signaalitulva on epämääräinen ja epätarkka. Toisaalta se voi myös olla seurausta ennenaikaisesta valmistautumisesta mahdollisiin ulkoisiin häiriötekijöihin. Tämä on sinänsä hyvin loogista, koska näin ollen tasapainon ylläpitäminen ja siihen vaadittava lihastyö myös lisääntyy (Galganski ym. 1993, Wiesmeier ym. 2017). Lihasaktivaation lisääntyessä ihminen pystyy paremmin ja nopeammin reagoimaan vaadittaviin muutoksiin tasapainon ylläpidossa (Lord ym. 1991).

Vaikeimmassa testissä vauhtimomentti oli urheilijaryhmällä suurempi verrattuna ei-urheilijoihin. Tämä voisi viitata siihen, että urheilijaryhmä joutuisi tekemään enemmän lihastyötä tasapainoa ylläpitäessä. Toisaalta se voisi kertoa herkemmästä kyvykkyydestä reagoida pieniin kehon suunnanmuutoksiin. Tiedetään, että ikääntyneillä matala kehon massa ja huono tasapaino korreloivat keskenään (Era ym. 1996). Tämä on todettu myös kliinisesti, koska tyypillinen kaatuja on pienen kehon massan omaava vanhempi nainen. Tässäkin tutkimuksessa urheilijaryhmällä oli pienempi kehon kokonaismassa ja se omalta osaltaan varmasti vaikutti tutkimustuloksiin. Tuloksissa ei voi myöskään olla näkymättä se, että jo alkuvaiheessa tästä otoksesta on tiputettu ns. huonompi kuntoiset pois. Näin ollen tulokset eivät aivan kokonaisuudessaan anna realistista kuvaa ei-urheilija ryhmän tasosta yleisesti.

Monet tutkimukset nostavat esiin väsymisen ja kivun merkityksen ikääntyneiden toimintakykyä tutkittaessa. Steinberg ym. 2016 sekä Papa ym. 2015 osoittivat väsymyksen heikentävän tasapainoa niin nuorilla kuin ikääntyneilläkin. Joissakin tutkimuksissa ikääntyneet sietivät nuoria paremmin väsymystä. Tämä johtuu mahdollisesti siitä, että

ikäntyneillä on suhteessa enemmän ns. hitaita lihassoluja. Toisaalta nuoret palautuvat nopeammin ja ovat kykeneväisempiä ns. haastavimpiin tasapainotesteihin. Tässä tutkimuksessa väsymystä eikä kipua erikseen mitattu, joten niiden vaikutusta tuloksiin ei tiedetä. Tasapainotestiaika oli 40s, joka monessa suhteessa voi olla ikääntyneelle liian pitkä eikä väsymisen vaikutusta itse tasapainoon voida pois sulkea.

Monet tutkimukset ovat osoittaneet staattisen tasapainon parantamisen vaativan toiminnallisia, monella tasolla tehtäviä spesifisiä harjoitteita. Tässä tutkimuksessa urheilulla ei saatu selkeää vaikutusta staattiseen tasapainoon. Merkittävät erot saatiin oikeastaan vain vaativammassa tasapainotestissä, joka viittaisi siihen, että fyysisellä aktiivisuudella voisi olla vaikutusta vaativimmissa tasapainon liikkeissä. Syynä voi olla ”vääränlainen” liikunnan harjoittelu. Tasapainon kannalta on hyvin oleellista haastaa ja harjoitella tasapainoa riittävästi, jotta harjoitusvaste olisi hyvä (Goel ym. 2017, Paillard ym. 2017). Tiedetään, että ikääntyneillä tulisi olla yksilöllisesti rakennetut harjoitusohjelmat. Hyväksi osoitetut harjoitteet ovat vaativia tasapainoa ja liikkuvuutta kehittäviä harjoitteita, sekä vapailla painoilla suoritettavia harjoitteita (Baker ym. 2007, Mian 2007, Orr ym. 2008). Voimatyypillisellä harjoittelulla on saatu parempia tuloksia dynaamisen tasapainon parantamisessa (Ramsbottom ym. 2004, Orr ym. 2006, Holviala ym. 2012). Viimeaikoina on edelleen korostettu nopeus-/räjähtävävoimaharjoittelun merkitystä myös ikääntyneille. Tutkimuksissa on todettu sen kehittävän liike- ja supistumisnopeutta, joilla näyttäisi olevan tasapainon hallinnan kannalta merkitystä. Tätä kautta sen oletetaan parantavan myös reaktionopeutta (Orr ym. 2006, Paillard ym. 2017). Lesinski ym. 2015 toivat tutkimuksessaan esille myös sen, että harjoittelun tulokset eivät ole pysyviä, eli jos harjoittelu lopetetaan niin kunto heikkenee.

Sellaisia tutkimuksia, joissa on tarve vaihtaa aistinelinten priorisointia tasapainon säilyttämiseksi, on tehty verrattain vähän (Honeine & Schieppati 2014). Tällainen lähes luonnollisissa olosuhteissa tehtävä tasapainotesti haastaisi tasapainojärjestelmää todennukaisemmin, esimerkkinä jokin moniulotteinen tasapainoa vaativa tehtävä tai testiolosuhde, jossa valaistus vaihtelee satunnaisesti. Vaikka tiedetään, että eri aistinjärjestelmät toimivat synergisesti ja limittäin keskenään, niin olisi äärimmäisen mielenkiintoista pystyä spesifisesti mittaamaan vain yhden aistinjärjestelmän toimintaa tasapainon ylläpidossa. Valitettavasti tällaista testiprotokollaa ei minun tietämykseni mukaan

ole pystytty luomaan, jossa voitaisiin absoluuttisen tarkasti kohdentamaan testi vain yhdelle halutulle aistijärjestelmälle (Goel ym. 2017).

Kolmannessa tutkimuskysymyksessä eli fyysisen aktiivisuuden vaikutusta vibraatiotuntoon ei saatu tilastollisesti merkitseviä eroja urheilijoiden ja ei-urheilijoiden välille absoluuttisten eikä pituuden suhteen normalisoitujen tulosten suhteen. Kun ryhmät jaettiin painon suhteen kevyempiin ja painavempiin, niin tilastollisesti merkittävä ero saatiin kevyempien urheilijoiden ja painavampien ei-urheilijoiden välille jalkapöydästä mitattuna. Mielenkiintoiseksi huomion tekee se, että pääsääntöisesti tilastolliset merkitsevyydet saatiin kolmannen eli vaikeimman tasapainotestin tuloksissa. Näin ollen voitaisiin olettaa, että rasvakudoksen määrällä ja/tai fyysisellä aktiivisuudella voisi olla vaikutuksensa vibraatiotunnon aistimisessa. Toisaalta tukevammilla ihmisillä voi olla myös enemmän nesteturvotusta jalkojen alueella, joka voisi myös heikentää vibraatiotunnon herkkyyttä. Lopullisten johtopäätösten tekeminen vaatii vielä lisätutkimuksia, mutta näiden tulosten perusteella vibraatiotunnon perusteella yksistään ei voidan vetää johtopäätöskä ihmisen tasapainosta.

Monet tutkimukset ovat osoittaneet iällä olevan merkitystä vibraatiotuntoa aistittaessa. Varsinkin kun ikä alkaa olla yli 70 vuotta, vibraatiotunnon kynnysarvo nousee (Gesheider ym. 1996, Kenshalo 1986, Lin ym. 2005, Perry 2006, Sands ym. 1998, Wells ym. 2003). Tutkimuksissa on osoitettu erityisesti alaraajojen vibraatiotunnon heikkenevän iän myötä. Täysin tätä ikääntymisen vaikutusta ei tunneta. Monet tutkijat olettavat sen liittyvän tuntoaistien ja reseptorien tuhoutumiseen. Samoin ihon mekaaniset muutokset, kuten ihon hermotustiheyden laskeminen, elastisuuden ja impulssin johtumisnopeuden lasku, heikentävät vibraatiotunnon aistimista (Peters ym. 2016, Stuart ym. 2003). Tutkijat ovat tulleet siihen olettamukseen, että jotkin patologiset muutokset elimistössä vaikuttavat mm. ääreishermoston toimintaan ja hermosolun kulkeutumisenopeuteen. Esimerkkinä patologisista muutoksista voi olla aineenvaihdunnalliset sairaudet, erityisesti huonontunut glukoosin sietokyky diabeteksessä (Inami ym. 2005, Viswanathan ym. 2004). Toisaalta tiedetään ikääntyneillä olevan myös kroonisen tulehdustilan seurauksena muutoksia keskushermoston toiminnassa. Tämä heikentää aivojen kykyä vastaanottaa ja tulkita sensorisia viestejä, sekä lähettää eteenpäin motorisia käskyjä kohti kohde-eliimiinsä (Akiyama ym. 2000, Prolla & Mattson 2001).

Viime aikoina on myös paljon tutkittu eri vibraatioterapian muotoja sekä kuntoutukseen että urheilijoiden suorituskykyä parantamaan. Tutkimuksissa on pystytty osoittamaan vibraation parantavan lihasvoimaa, lisäävän luumassaa ja parantavan tasapainoa (Rauch 2009, Rogan ym. 2011). Vibraation välilliset vaikutukset lihaksessa ovat verenkierron vilkastuminen, hapenkulutuksen kasvu ja lämpötilan nousu. Iäkkäillä on huomattu myös hormonaalisia muutoksia insuliinin ja kortisolin osalta (Rauch 2009). Rogan ym. 2011 huomasivat vibraation parantavan asennon ylläpitoa ja tasapainoa myös neurologisilla potilailla. Spiliopoulou ym. 2013 osoittivat vibraatiolaitteharjoittelun parantavan nilkan seudun lihasvoimaa. Neuromuskulaarisen toiminnan paraneminen johtui heidän mielestään nopeiden lihassolujen rekrytoinnin ja syttymisen parantumisesta. Näiden tutkimuksissa esille tulleiden hyötyjen johdosta vibraatioharjoittelua tulisi enemmänkin hyödyntää kuntoutuksessa. Honeine & Schieppati 2014 huomasivat tasapainotestin aikana niskan seudulle annettun vibraation lisäävän jopa koko kehon lihasaktivaatiota.

Nykyteknologia mahdollistaa lähes kaikenlaisen aktiivisuuden seurannan. Tulevaisuudessa voisikin olla hyvä miettiä, kuinka ikääntyneet saataisiin seurantaan ja voisiko esimerkiksi kaikki yli 65-vuotiaat ”screenata” aktiivisuudenkin saralta. Tulevaisuudessa tulisi vielä enemmän pyrkiä hyödyntämään teknologiaa mm. ”biohakkeroinnin” merkeissä. Älyvaatteet ja erilaiset Wii-konsolipelin tyylliset teknologiset laitteet mahdollistavat jo aika hyvän biofeedback-järjestelmän toimimisen, ja innovatiivisen tuotekehittelyn avulla niistä saataisiin varmasti tehtyä tavan kuluttajalle helppokäyttöisiä. Verrattain vähäisen tutkimuksen johdosta näistä ei vielä tieteellisesti yhdenmukaisia tuloksia ole voitu esittää (Alhasan ym. 2017).

11 Johtopäätökset

Fyysisellä aktiivisuudella on suuri merkitys yksilölle sekä yhteiskunnalle, ei pelkästään kaatumisten ennaltaehkäisevänä tekijänä vaan myös psyykkisen ja sosiaalisen hyvinvoinnin osalta. Ikääntyvällä väestöllä kaatumiset aiheuttavat usein luiden murtumia ja pitkiä sairaalajaksoja, joka voi johtaa yksilöiden masentuneisuuteen. Yhteiskunnalle kaatumisen riski ja sen seuraukset maksavat vuosittain miljoonia euroja. Tämän vuoksi oikeanlaisen ja sopivan harjoittelumenetelmän löytäminen tasapainon parantamiseksi ja sitä kautta kaatumisen ehkäisyksi olisi tulevaisuuden kannalta erittäin tärkeää. Tässä tutkimuksessa ei saatu tilastollisesti suuria eroja ryhmien välille, joten staattiset tasapainotestit eivät välttämättä ole riittäviä tasapainonmittausmenetelmiä, kun tutkittavana on hyvän tasapainon omaavia henkilöitä. Tutkimusprotokollat tulisi rakentaa siten, että ne parhain mahdollisuuksien mukaan palvelisi yhteiskuntaa mahdollisimman luonnonmukaisesti. Tämän tutkimuksen mukaan harjoitteluinterventioiden ja mitattavien muuttujien tulisi olla tarkoin mietittyjä ja toiminnallisuutta tukevia. Tämän tutkimuksen johtopäätöksinä voidaan todeta, että tasapainoa olisi tarpeellista mitata myös dynaamisella ja toiminnallisella tasapainotesteillä ja testiolosuhteet tulisi rakentaa mahdollisimman luonnollisiksi. Huolimatta siitä, että tässä tutkimuksessa ei selkeää korrelaatiota näiden muuttujien välille juuri saatukaan, tuloksista voidaan päätellä, että hankalimmissa tasapainoa vaativissa tehtävissä ne saattaisivat olla yhteyksissä toisiinsa. Toisin sanoen aktiivisella elämäntavalla voisi olla positiivinen vaikutus sekä tasapainoon että värinätuntoon. Tiedetään myös, että pituudella olisi vaikutusta vibraatiotuntoon. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan näin pystytty todistamaan, koska molemmat ryhmät olivat kauttaaltaan saman pituisia ja ryhmät koostuivat pelkästään naispuolisista jäsenistä. Naisilla vibraatiotunnon kynnyksarvon ja vaihtelun sen havaitsemisessa tiedetään olevan pienempi miehiin verrattuna.

Tässä tutkimuksessa tutkittavien keski-ikä oli molemmilla ryhmillä myös yli 70 v joten iän tuomat muutokset näkyvät varmasti myös molempien ryhmien tuloksissa. Tutkimuksen alkuvaiheessa karsiutuivat pois kaikki huonokuntoiset ihmiset, joten myös verrokkiryhmä oli kauttaaltaan hyvässä kunnossa. Tämä viittaisi siihen, että tämän tutkimuksen tuloksia ei täysin voida yleistää, varsinkaan ikääntyvien inaktiivisten ihmisten kohdalla. Tulevaisuudessa kannattaisi myös miettiä, voisiko vastaavanlaisen tutkimuksen tehdä eri ikäisille, aina nuorista myöhempään keski-ikään ennättäneille henkilöille. Näin ollen voitaisiin saada selville

paremmin fyysisen aktiivisuuden, ja iän vaikutukset ihmisillä. Tulevaisuudessa tulisi ehdottomasti myös lisätä jokin dynaaminen tasapainotesti staattisen testin tueksi.

Lähteet

Akiyama H, Barger S, Barnum S, Bradt B, Bauer J, Cole GM, Cooper NR, Eikelenboom P, Emmerling M, Fiebich BL, Finch CE, Frautschy S, Griffin WS, Hampel H, Hull M, Landreth G, Lue L, Mrazek R, Mackenzie IR, McGeer PL, O'Banion MK, Pachter J, Pasinetti G, Plata-Salman C, Rogers J, Rydel R, Shen Y, Streit W, Strohmeyer R, Tooyoma I, Van Muiswinkel FL, Veerhuis R, Walker D, Webster S, Wegrzyniak B, Wenk G, Wyss-Coray T, 2000. Inflammation and Alzheimer's disease. *Neurobiol Aging*, 21(3): 383–421.

Alhasan H, Hood V, Mainwaring F, 2017. The effect of visual biofeedback on balance in elderly populations: A systematic review. *Clinical Interventions in Aging*, 12: 487-497.

Angelaki DE, Cullen KE, 2008. Vestibular system: The many faces of multimodal sense. *Annu.Rev. Neurosci.*31:125-150.

Anson E, Bigelow R, Swenor B, Deshpande N, Studenski S, Jeka J, Agrawal Y, 2017. Loss of peripheral sensory function explains much of the increase postural sway in healthy older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9: 202.

Anson E & Jeka J, 2016. Perspectives on aging vestibular function. *Frontiers in Neurology*, 6: 269.

Assaiante C, Mullau S, Viel S, Javer M, Schmitz C, 2005. Development of Postural Control in Healthy Children: A Functional Approach. *Neural Plasticity*, 12:2-3.

Baker MK, Atlantis E, Fiatarone-Singh MA, 2007. Multi-modal exercise programs for older adults. *Age Ageing*, 36: 375-381.

Bergamin M, Gobbo S, Zanotto T, Sieverdes JC, Alberton CL, Zaccario M, Ermolao A, 2014. Influence of age postural sway during different dual-task conditions. *Front Aging neurosci.*6: 271.

Bird ML, Hill K, Ball M, Williams AD, 2009. Effects of resistance- and flexibility-exercise interventions on balance and related measures in older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 17: 444-454.

Blenkinsop G, Pain M, Hiley M, 2017. Balance control strategies during perturbed and unperturbed balance in standing and handstanding. *Royal Society open Science*, 4.

Buchner, DM. Cress, ME. de Lateur, BJ, 1997. The effect of strength and endurance training on gait, balance, fall risk and health services use in community-living older adults. *J Gerontol Med Sci*, M218–24.

Brocklehurst JC, Robertson D, James-Groom P, 1982. Clinical correlates of sway in old age-sensory modalities. *Age Ageing*, 11:1-10.

Cadore E, Rodriguez-Manas L, Sinclair A, Izquierdo M, 2013. Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: A systematic review. *Rejuvenation Research*, 16:2.

Cadore E, Pinto R, Bottaro M, Izquierdo M, 2014. Strength and endurance training, prescription in healthy and frail elderly. *Aging and Disease*, 5:183-195.

Cadore E & Izquierdo M, 2013. How to simultaneously optimize muscle strength, power, functional capacity, and cardiovascular gains in the elderly: An update. *Age*, 35: 2329-2344.

Capodaglio P, Capodaglio EM, Ferri A, Scaglioni G, Marchi A and Saibene F, 2005. Muscle function and functional ability improves more in community-dwelling older women with a mixed-strength training programme. *Age Ageing*, 34: 141-147.

Carter, ND. Kannus, P. Khan, KM, 2001. Exercise in the prevention of falls in older people: a systematic literature review examining the rationale and the evidence. *Sport Medicine*, 31: 427-438.

Caruso C, Candore G, Colonna-Romano G, Lio D, Franceschi C, 2005. Inflammation and life-span. *Science*, 14307(5707): 208–209.

Chiba R, Takakusaki K, Ota J, Yozu A, Haga N, 2016. Human upright posture control model based on multisensory inputs in fast and slow dynamics. *Neuroscience Research*, 104: 96-104.

Cullen K & Soroush S, 2008. Vestibular system. *Scholarpedia* 3,1: 1-22.

De Labra C, Guimares-Pinheiro C, Maseda A, Lorenzo T, Millan-Calanti J, 2015. Effects of physical exercise interventions in frail older adults: A systematic review of randomized controlled trials. *BMC Geriatrics*, 15: 154.

Deshpande N, Ferrucci L, Metter J, Faulkner KA, Strotmeyer E, Satterfield S, Schwartz A, Simonsick E, 2008. Association of lower limb cutaneous sensitivity with gait speed in the elderly. *Am J Phys Med Rehabil*, 87: 921–928.

Deshpande N, Metter J, Ling S, Conwit R, and Ferruggi L, 2008. Physiological Correlates of Age-Related Decline in Vibrotactile Sensitivity. *Neurobiol Aging*, 29(5): 765–773.

Earhart GM, 2013. Dynamic control of posture across locomotor tasks. *Mov Disord*. 28(11):1501-08.

Eloranta, Tuija & Punkanen, Tiina, 2008. *Vireään vanhuuteen*. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Era P & Heikkinen E, 1985. Postural Sway During Standing and Unexpected Disturbance of Balance in Random Samples of Men of Different Ages. *Journal of Gerontology*, 40(3): 287-295.

Era P, Jokela J, Suominen H, Heikkinen E, 1986. Correlates of vibrotactile threshold in men of different age. *Acta Neorol Scand*. 74; 210-217.

Era P, Schroll M, Ytting H, Gause-Nilsson I, Heikkinen E, Steen B, 1996. Postural Balance and Its Sensory-Motor Correlates in 75-Year Old Men and Women: A Cross-National Comparative Study. *Journal of Gerontology: Medical Science*, 51A, 2M53-M63.

Era, P, 1997. Ikääntyminen ja liikunta. Liikunnan ja kansanterveyden julkaisuja 108. Jyväskylä: Likes.

Era, P, 1997. Havaintomotoriikan ja kehon asennonhallintakyvyn muutokset vanhetessa ja liikunta. Teoksessa Era, P. (toim.) Ikääntyminen ja liikunta. (2. painos). Liikunnan ja kansanterveyden julkaisuja 108. Jyväskylä: LIKES, 49-62.

Era P, Sainio P, Koskinen S, Haavisto P, Vaara M, Aromaa A, 2006. Postural balance in a random sample of 7979 subjects aged 30 years and over. *Gerontology*, 52(4); 204-213.

Fraix M, 2012. Role of musculoskeletal system and the prevention of falls. *J Am Osteopath Assoc*. 112(1): 17-21.

Gage WH, Winter DA, Frank JS, Allan L, Adkin AL, 2004. Kinematic and kinetic validity of the inverted pendulum model in quiet standing. *Gait and Posture* 19:124–132

Galganski ME, Fuglevand AJ, Enoka RM, 1993. Reduced Control of Motor Output in a Human Hand Muscle of Elderly Subjects During Submaximal Contractions. *J Neur Phys*:69.

Gerr F & Letz R, 1994. Covariates of human peripheral nerve function: II. Vibrotactile and thermal thresholds. *Neurotoxicol Teratol*, 16(1): 105–112.

Gescheider GA, Edwards RR, Lackner EA, Bolanowski SJ, Verrillo RT, 1996. The effects of aging on information-processing channels in the sense of touch: III. Differential sensitivity to changes in stimulus intensity. *Somatosens Mot Res*. 13(1): 73–80

Gill TM, Baker DI, Gottschalk M, Peduzzi PN, Allore H and Byers A, 2002. A program to prevent functional decline in physically frail, elderly persons who live at home. *N Engl J Med*, 347: 1068-1074.

Goel R, de Dios Y, Gadd N, Caldwell E, Peters B, Reschke M, Bloomberg J, Oddsson L, Malavara A, 2017. Assessing somatosensory utilization during unipedal postural control. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 11:21.

Goldberg JM & Lindblom U, 1979. Standardised method of determining vibratory perception thresholds for diagnosis and screening in neurological investigation. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 42: 793-803

Granacher U, Bridenbaugh SA, Muehlbauer T, Wehrle A, Kressig RW, 2011. Age-related effects on postural control under multi-task conditions *Gerontology*, 57:247-255.

Granacher U, Muehlbauer T, Kressig R, Zahner L, 2011. An intergenerational approach in the promotion of balance and strength for fall prevention: A mini- review. *Gerontology*, 57:304-315.

Green AM & Angelaki DE, 2010. Internal models and neural computations in the vestibular system. *Exp Brain Res*. 200 (3-4) 197-222.

Greenstein J, Kavanagh P, Rowe MJ, 1987. Phase coherence in vibration-induced responses of tactile fibres associated with Pacinian corpuscle receptors in the cat. *J Physiol*. 386:263–275.

Hahn T, Foldspang A, Vestergaard E, Ingemann-Hansen T, 1999. One-leg standing balance and sports activity. *Scand J Med Sci Sports*, 9:15–18.

Halonen P, 1986. Quantitative vibration perception thresholds in healthy subjects of working age. *Eur J Appl Physiol*, 54: 647-655.

Haugh E, Sand O, Sjaastad Q V. & Toverud, KC, 2007. *Ihmisen fysiologia*. WSOY, 1.-3. painos. Porvoo.

Heinonen, A. Kannus, M. Oja, P. Pasanen, M. Sievänen, H. Uusi-Rasi, K. Vuori, I, 1996. Randomized controlled trial of effect of high-impact exercise on selected risk factors for osteoporotic fractures. *Lancet*, 384:1343-1347.

Heinonen, A. & Karinkanta, S, 2003. Liikunta osteoporoosin ja osteoporoottisten murtumien ehkäisyssä. *Suomen Lääkärilehti*. 38: 3755-3759.

Helbostad J, Sturnieks D, Menant J, Delbaere K, Lord S, Pijnappels M, 2010. Consequences of lower extremity and trunk muscle fatigue on balance and functional tasks in older people: A systematic literature review. *BMC Geriatry*.10:56.

Holviala J, Kraemer WJ, Sillanpää E, Karppinen H, Avela J, Kauhanen A, Häkkinen A, Häkkinen K, 2012. Effects of strength, endurance and combined training on muscle strength, walking speed and dynamic balance in aging men. *Eur J Appl Physiol*, 112:1335-1347.

Honeine J & L & Schieppati M, 2014. Time- interval for stabilizing haptic and visual information in subjects balancing under static and dynamic conditions. *Frontiers in Systems neuroscience*, 8: 90.

Horak FB, 2006. Mechanistic and physiological aspects postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls. *Age Ageing*, 35(S2): 7-11.

Horak FB, 2010. Postural compensation for vestibular loss. *Restor Neurol Neuroscience*, 28(1):57-68.

Hunter S, Pereira H, Keenan K, 2016. The aging neuromuscular system and motor performance. *J Appl Physiol*.121: 982-995.

Häkkinen V, Tuovinen T, Ignatius J, 1980. Vibraatiotunnon kliininen tutkimus. *Suomalainen lääkärilehti*. Duodecim Oy, 96.

Inami K, Chiba K, Toyama Y, 2005. Determination of reference intervals for vibratory perception thresholds of the lower extremities in normal subjects. *J Orthop Sci*.10(3):291–297.

Jacopson JV & Horak F, 2007. Cortical control of postural responses. *J Neural Transm*. 1339-1348.

Jancova J, 2008. Measuring the balance control system. *ACTA MEDICA*, 51:129-137.

Kaikkonen, H, 2001. Sykeohjattu liikunta ja kuntosaliharjoittelu ikääntyneillä. Teoksessa Suominen, M. Kannus, P. Käyhty, M. Ahvo, L. Rahikainen, M-L. Kaikkonen, H. Timonen, L. Koivula, M. Berg, T. Salmelin, M. Jalkanen-Mayer, A. Ikääntyvien liikunta, terveys ja toimintakyky. Gummerus Kirjapaino Oy: Jyväskylä: 219-242.

Kauranen K, 2011. Motoriikan säätely ja motorinen oppiminen. Liikuntatieteellinen Seura ry. Helsinki.

Kauranen K & Nurkka N, 2010. Biomekaniikkaa liikunnan ja terveydenhuollon ammattilaisille. Liikuntatieteellinen Seura ry. Helsinki.

Karhumäki E, Lehtonen M, Nieminen K, Syrjäkallio-Ylitalo M, 2008. Päästä varpaisiin- ihmisen anatomia ja fysiologia. Edita Prima: 1-3. Helsinki.

Karinkanta S, 2011. To keep fit- Effects of three exercise programs on multiple risk factors for falls and related fractures in home-dwelling older women. Academic Dissertation, University of Tampere.

Kenshalo, DR Sr, 1986. Somesthetic sensitivity in young and elderly humans. J Gerontol, 41(6): 732-742.

Kerr A, 2010. Introductory Biomechanics 1st published edition, Churchill Livingstone, Elsevier. UK.

Laughton CA, Slavin M, Katdare K, Nolan L, Bean JF, Kerrigan DC, Phillips E, Lipsitz LA, Collins JJ, 2003. Aging, muscle activity, and balance control: physiologic changes associated with balance impairment. Gait Posture, 18(2):101-8.

Lesinski M, Hortobagyi T, Muehlbauer T, Gollhofer A, Granacher U, 2015. Effects of balance training on balance performance in healthy older adults: A systematic review and meta-analysis. Sports Med. 45: 1721-1738.

Lihavainen K, 2012. Mobility Limitations, Balance impairment and Musculoskeletal Pain among people aged over 75. Academic dissertation, University of Jyväskylä.

Lin YH, Hsieh SC, Chao CC, Chang YC, Hsieh ST, 2005. Influence of aging on thermal and vibratory thresholds of quantitative sensory testing. *J Peripher Nerv Syst*, 10: 269–281.

Lord SR, Clark RD, Webster IW, 1991. Postural stability and associated physiological factors in a population of aged persons. *J Gerontol Med Sci*, 46: M69-M76.

Lord SR, Caplan GA, Ward JA, 1993. Balance, reaction time, and muscle strength in exercising and nonexercising older women: a pilot study. *Arch Phys Med Rehabil*. 74(8): 837-839.

Lord SR & Ward JA, 1994. Age-associated differences in sensori-motor function and balance in community dwelling women. *Age Ageing*, 23: 452-460.

Lord SR, Ward JA, Williams P and Zivanovic E, 1996. The effects of a community exercise program on fracture risk factors in older women. *Osteoporos Int*, 6(5): 361-367.

Lord SR, Hylton, BM, Tiedemann, A, 2003. A physiological profile approach to falls risk assessment and prevention. *Physical Therapy*, 83(3): 237-251.

Lord SR, Castell S, Corcoran J, Dayhew J, Matters B, Shan A and Williams P, 2003. The effect of group exercise on physical functioning and falls in frail older people living in retirement villages: a randomized, controlled trial. *J Am Geriatr Soc*, 51:1685-92.

Low D, Walsh G, Arkesteija M, 2017. Effectiveness of exercise interventions to improve postural control in older adults: A systematic review and meta-analysis of centre of pressure measurements. *Sports Med*. 47:101-112.

Lukaski HC & Bolonchuk WW, 1987. Theory and validation of the tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. In: *in-vivo body composition studies* (eds Ellis KJ, Wasumura S; Morgan WD) 410-414. Institute of Physical Science in Medicine, London.

Luukkonen P. Peda.net.eBiologia 9, Ihmisen biologia, 12. Näkökyky: silmän rakenne. (Viitattu 4.4.2018).

Maki, BE. & McIlroy, WE, 1996. Posture control in the older adult. *Clinics in Geriatric Medicine*, 12:635-658.

McGinnis PM, 2005. *Biomechanics of sport and exercise 2nd edition*, Human Kinetics. USA.

Medved, V, 2001. *Measurement of human locomotion*, CRC Press LLC. USA.

Menz HB, Morris ME, Lord SR, 2005. Foot and ankle characteristics associated with impaired balance and functional ability in older people. *Journal of Gerontology*, 60A: 1546.

Mian OS, Baltzopoulos V, Minetti AE, Naciri MV, 2007. The impact of physical training on locomotor function in older people. *Sports Med.* 37(8): 683-701.

Montero-Fernandez N, & Serra-Rexach JA, 2013. Role of exercise on sarcopenia in the elderly. *Eur J Rehabil Med.* 49:131-143.

Muehlbauer T, Gollhofer A, Granacher U, 2015. Associations between measures of balance and lower extremity muscle strength/power in healthy individuals across the lifespan: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 45:1672-1692.

Nakagawa H, Ferraresi J, Prata M, Scheicher M, 2017. Postural balance and functional independence of elderly people according to gender and age: Cross-sectional study. *San Pedro Med J.* 135: 260-265.

Nagy E, Feher-Kiss A, Barnai M, Domján-Preszner A, Angyan L, Horvath G, 2007. Postural control in elderly subjects participating in balance training. *Eur J Appl Physiol.* 100: 97–104.

Orr R, 2010. Contribution of Muscle weakness to postural instability in the elderly: A systematic review. *Eur J Phys Rehab Med.* 46:183-220.

Orr R, de Vos NJ, Singh NA, Ross DA, Stavrinou TM, Fiatarone-Singh MA, 2006. Power training improves balance in healthy older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*61(1):78-85.

Orr R, Raymond J, Fiatarone-Singh MA, 2008. Efficacy of progressive resistance training on balance performance in older adults: a systematic review of randomized controlled trials. *Sports Med.*38(4): 317-343.

Paillard T, 2017. Relationship between muscle function; muscle typology and postural performance according to different postural conditions in young and older adults. *Frontiers in Physiology*, 8:585.

Paillard T, 2017. Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 72:129-152.

Pajala, S, Sihvonen, S, Era, P, 2008. Asennonhallinta ja havaintomotorinen kyvykkyys. Teoksessa *Gerontologia*, 2. painos. Heikkinen, Eino (toim.) & Rantanen, Taina (toim.). Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu. 136-157.

Pajala, S., Sihvonen, S., Era, P, 2003. Asennonhallinta ja havaintomotorinen kyvykkyys. Teoksessa Heikkinen, E. & Rantanen, T. (toim.) *Gerontologia*. Tampere: Duodecim. 123-142.

Papa E, Bo Foreman K, Dibble L, 2015. Effects of age and acute muscle fatigue on reactive postural control in healthy adults. *Clin Biomech.*30:1108-1113.

Papa E, Dong X, Hassan M, 2017. Resistance training for activity limitations in older adults with skeletal muscle function deficit.: A systematic review. *Clinical interventions in Aging*, 12: 955-961.

Papegaaij S, Taube W, Baudry S, Otten E, Hortobagyi T, 2014. Aging causes a reorganizations of cortical and spinal control of posture. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6: 28.

Perry SD, 2006.Evaluation of age-related plantar-surface insensitivity and onset age of advanced insensitivity in older adults using vibratory and touch sensation tests. *Neurosci Lett.* 392(1–2): 62–67.

Peters RM, McKeown MD, Carpenter MG, Inglis TJ, 2016.Losing touch: age-related changes in plantar skin sensitivity, lower limb cutaneous reflex strength, and postural stability in older adults.*J Neurophysiol.* 1:116(4):1848-58.

Piirtola, M. Akkanen, J. Sintonen, H. Isoaho, R. Ryyänen, O-P. Kivelä, S-L, 2002.Iäkkäiden kaatumisvammojen akuuttihoiton kustannukset. *Suomen Lääkärilehti*, 47:4841-4848.

Pollock AS, Durward BR, Rowe PJ and Paul JP, 2000.What is balance? *Clin Rehabil* 14:402-406.

Prolla TA & Mattson MP, 2001.Molecular mechanisms of brain aging and neurodegenerative disorders: lessons from dietary restriction. *Trends Neurosci.* 24(11 Suppl): S21–S31.

Reid KF & Fielding RA, 2012.Skeletal muscle power: a critical determinant of physical functioning in older adults. *Exer sport Sci Rew.*40: 4-12.

Ramsbottom R, Ambler A, Potter J, Jordan B, Nevill A, Williams C, 2004.The effect of 6 Months training on leg power, balance and functional mobility of independently living adults over 70 years old. *Journal of Ageing and Physical Activity*, 12:497-510.

Resnick HE, Vinik AI, Schwartz AV, Leveille SG, Brancati FL, Balfour J, Guralnik JM, 2000.Independent effects of peripheral nerve dysfunction on lower-extremity physical function in old age: the Women's Health and Aging Study. *Diabetes Care*, 23(11):1642–1647.

Ricotti L, 2011.Static and dynamic balance in young athletes. *J Hum Sport Exerc.*6:616-628.

Rivner MH, Swift TR, Malik K, 2001.Influence of age and height on nerve conduction. *Muscle Nerve.* 24(9):1134-41.

Rogers, ME. Rogers, NL. Takeshima, N. Islam, MM, 2003. Methods to assess and improve the physical parameters associated with fall risk in older adults. *Prev Med.* Mar. 36(3):255 – 264.

Räty HP, Impivaara O, Karppi SL, 2002. Dynamic balance in former elite male athletes and in community control subjects. *Scand J Med Sci Sports*, 12:111–116.

Sands ML, Schwartz AV, Brown BW, Nevitt MC, Seeley DG, Kelsey JL, 1998. Relationship of neurological function and age in older women. The study of osteoporotic fractures. *Neuroepidemiology*, 17(6): 318–329.

Sandström M, Ahonen J, 2011. *Liikkuva ihminen-aivot, liikuntafysiologia ja sovellettu biomekaniikka*. 1. painos VK-kustannus Oy, Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu.

Shumway-Cook, A & Woollacott, MH, 2001. *Motor Control– Theory and Practical Applications* (2nd edition). Baltimore: Lippincott, Williams & Wilkins. USA.

Simmons, R, 2012. *Physical growth and Development*. Course book ENS 301, USA.

Sima AA, Calvani M, Mehra M, Amato A, 2005. Acetyl-L-Carnitine Study Group. Acetyl-L-carnitine improves pain, nerve regeneration, and vibratory perception in patients with chronic diabetic neuropathy: an analysis of two randomized placebo-controlled trials. *Diabetes Care*, 28(1):89–94.

Sipilä S & Suominen H, 1994. Knee extension strength and walking speed in relation to quadriceps muscle composition and training in elderly women. *Clinical Physiology*, 14:433-442.

Spiriduso, WW, 1995. *Physical Dimensions of Aging*. Human Kinetics. USA.

Sprenger A, Wojak JF, Jandl NM, Helmchen C, 2017. Postural control in bilateral vestibular failure: its relation to visual, proprioceptive, vestibular and cognitive input. *Frontiers of Neurology*, 8: 444.

Spiliopoulou SI, Amiridis IG, Tsigganos G, Hatzitagi V, 2013.Side-alternating vibration training for balance and ankle muscle strenght in untrained women. *Journal of Athletic Training*, 48(5): 590-600.

Steinberg N, Nemet D, Pantanowitz M, Zeev A, Hallami M, Sindiani M, Meckel Y, Eliakini A, 2016.Longitudinal study evaluating postural balance of young athletes. *Percept Mot Skills*, 122(1): 256-79.

Stuart M, Turman AB, Shaw J, Walsh N, Nguyen V, 2003.Effects of aging on vibration detection thresholds at various body regions. *BMC Geriatrics*, 3:1.

Suominen, H, 1997.Kehon rakenteen ja fyysisen suorituskyvyn muutokset vanhetessa ja liikunta. Teoksessa Era. P.(toim.) Ikääntyminen ja liikunta. Jyväskylä Liikunnan ja kansanterveyden julkaisuja 108: 17- 48.

Talvitie, U, Karppi, S-L, Mansikkamäki, T, 2004.Fysioterapia. Edita Prima Oy, Helsinki.

Tilastokeskus. 2018. Suomi lukuina / Väestö / Väestöennuste. Saatavilla [www- muodossa <URL:http://www.tilastokeskus.fi>](http://www.tilastokeskus.fi). Päivitetty 15.05.2017. (Viitattu 25.1.2018.)

Vallejo M, Vehviläinen S, Haukka U-M, Pyykkö V, Kivelä S-L. Vanhustenhoito. WSOY. 2006.

Van Dam PS, Van Asbeck BS, Erkelens DW, Marx JJ, Gispen WH, Bravenboer B, 1995.The role of oxidative stress in neuropathy and other diabetic complications. *Diabetes Metab Rev*.11(3):181–192.

Van Diest M, Lamoth CJL, Stegenga J, Verkerke GJ, Postema K, 2013.Exergaming for balance training of elderly: state of the art and future development. *J Neuroengineering and rehab*.10: 101.

Viswanathan V, Seena R, Nair MB, Snehalatha C, Bhoopathy RM, Ramachandran A, 2004.Nerve conduction abnormalities in different stages of glucose intolerance.*Neurol India*, 52(4): 466–469.

Watkins J, 2007. An introduction to Biomechanics of Sport and Exercise, Churchill Livingstone, Elsevier. UK.

Wells C, Ward LM, Chua R, Inglis JT, 2003. Regional variation and changes with ageing in vibrotactile sensitivity in the human footsole. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*58(8): 680–686.

Whangler AD & Wang HS, 1974. Clinical correlates of the vibratory sense in elderly psychiatric patients. *J Gerontol.*29:39-45.

Wiesmeier I, Dalin D, Wehrle A, Granacher U, Muehlbauer T, Dietterle J, Weiller C, Gollhofer A, Maurer C, 2017. Balance training enhances vestibular function and reduces overactive proprioceptive feedback in elderly. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9:273.

Williams HG, McCleanaghan BA, Dickerson J, 1997. Spectral characteristic of postural control in elderly individuals. *Arch Phys Med Rehabil.*78: 737–744.

Winter, DA, 1990. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement* (2nd edition). Toronto: John Wiley and Sons Inc. Canada.

Winter DA, 1995. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture*, 3:193–214.

Winter DA, Prince F, Frank JS, Powell C, Zabjek KF, 1996. Unified theory regarding A-P and M-L balance in quiet stance. *J Neurophysiol.*75: 2334–2343.

Wolfson L, Whipple R, Derby C, Judge J, King M, Amerman P, Schmidt, Smyers D, 1996. Balance and strength training in older adults: intervention gains and Tai Chi maintenance. *J Am Geriatr Soc.*44: 498-506.

Zijlstra A, Mancini M, Chiari L, Zijlstra W, 2010. Biofeedback for training balance and mobility tasks in older populations: A systematic review. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 7: 58.

