

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**SOTILASLENTÄJÄN SELKÄ- JA KAULARANGAN BIOMEKAANINEN  
KUORMITTUMINEN SEKÄ ISTUINERGONOMIAN PARANTAMIS-  
MAHDOLLISUUDET LENTOKONEEN OHJAAMOSSA**

Pro gradu -tutkimus

Kadettikersantti  
Teemu Elonen

Kadettikurssi 90  
Ilmavoimien Ohjaajalinja

Maaliskuu 2007

# MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Koulutustaidon laitos

Kurssi Kadettikurssi 90	Linja Ilmavoimien ohjaajalinja	
Tekijä Kadettikersantti Teemu Elonen		
Opinnäytetyön nimi <b>Sotilaslentäjän selkä- ja kaularangan biomekaaninen kuormittuminen sekä istuinergonomian parantamismahdollisuudet lentokoneen ohjaamossa</b>		
Oppiaine, johon työ liittyy Sotilaspedagogiikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MpKK:n kirjasto)	
Aika: Maaliskuu 2007	Tekstisivuja 84	Liitesivuja 10
<b>TIIVISTELMÄ</b>  <p>Ilmavoimien koulutuksen tehtävänä on tuottaa toimintakykyisiä sotilaslentäjiä, joista koostuu suorituskykyisiä sodan ajan joukkoja. Tämän tutkimuksen viitekehys sijoittuu fyysiseen toimintakykyyn ja sen ylläpitämiseen osana sotilaspedagogiikkaa.</p> <p>Istumatyön ergonomiaa ja riskitekijöitä on tutkittu aikaisemminkin. Tutkimukset korostavat työntekijöiden osallistumisen, kokemuksen ja osaamisen hyödyntämisen tärkeyttä riskien arvioinnissa. Oireiden vähentämiseksi tutkimuksissa on kokeiltu liikuntaa, koulutusta ja ergonomisia tukia. Kuitenkin tarvittavat säädöt ja muutokset ovat yksilöllisiä.</p> <p>Aikaisemmissa tutkimuksissa ei selvitetä selkätuen yksilöllistä vaikutusta selän asentoon mittauksia tekemällä. Myöskään tutkittavien mielikuvaa selkätuen käytöstä ei ole kysytty. Tätä aukkoa paikkaan tällä tutkimuksellani.</p> <p>Tutkimus on selittävä asiakirja- ja kirjallisuuskatsaus, joka sisältää kvantitatiivisen otantatutkimuksen. Tutkittaviksi poimittiin kaksi Hawk-lentokoulutusohjelmaa lentävää kurssia, KadK90 ja KadK91 (n=26). Hawk-heittoistuimessa tehtyjen mittausten avulla selvitettiin selkätuen vaikutusta istuinergonomiaan. Aiheuttaako selkätuen käyttö muutoksia selkä- ja kaularangan asentoon? Tavoitteena oli työolosuhteiden parantaminen sekä niska- ja selkävammojen vähentäminen.</p> <p>Selkätuki siirsi pään asentoa keskimäärin 0,7 cm taaksepäin. Mittausten mukaan lordoosin syvyys, käytettävän selkätuen paksuus ja pään asennon muutos evät korreloineet keskenään. Haastateltavien mukaan lähes 90 prosenttia koki selkätuen parantavan istuma-asentoa.</p>		
Avainsanat ergonomia, työympäristö, fyysinen kuormittavuus, työolosuhteet ohjaamossa, istuma-asento, selkätuki, niska- ja selkävaivat, biomekaniikka		

# **SOTILASLENTÄJÄN SELKÄ- JA KAULARANGAN BIOMEKAANINEN KUORMITTUMINEN SEKÄ ISTUINERGONOMIAN PARANTAMISMAHDOLLISUUDET LENTOKONEEN OHJAAMOSSA**

<b>1. JOHDANTO</b>	<b>1</b>
1.1 Tutkimuksen tausta	1
1.2 Tutkimusongelma ja tutkimustavoitteet	4
1.3 Tutkimuksen viitekehys	6
<b>2. AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET</b>	<b>11</b>
<b>3. IHMISEN TUKIRANKA</b>	<b>15</b>
3.1 Selkärangan rakenne	15
3.2 Välilevyistä johtuvat selkävaivat	20
3.3 Kiihtyvyysoimat ja niiden vaikutus niskaan	24
3.4 Kiihtyvyysoimat ja niiden vaikutus selkään	31
<b>4. ISTUMISTA KUORMITTAVAT JA HELPOTTAVAT TEKIJÄT OHJAAMOSSA</b>	<b>34</b>
4.1 Tutkimukset hyvästä istuma-asennosta	34
4.2 Tutkimukset hyvän istuimen ominaisuuksista	37
4.3 Vatsaontelon paineen vaikutus nikamavälilevyjen paineeseen	40
4.4 Kiihtyvyysoimien vaikutus rasittumiseen	43
<b>5. BIOMEKANIikka</b>	<b>44</b>
5.1 Biomekaaninen tutkimus ja sen käytettävyys	44
5.2 Istumisen biomekaniikka	46
5.3 Selkärankaan kohdistuvia kuormituksia	50

<b>6. OHJAAMOERGONOMIA HAWKISSA JA HORNETISSA</b>	<b>58</b>
6.1 Lentokoneen ohjaamo työtilana	58
6.2 Hawk Mk51 ohjaamoergonomia	59
6.3 F-18 Hornet ohjaamoergonomia	61
6.4 Hawk ja Hornet -suihkukoneiden ohjaamoergonomian vertailu	63
<b>7. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS</b>	<b>66</b>
7.1 Metodologiset ratkaisut	66
7.2 Kyselyyn vastanneiden taustatiedot	69
7.3 Tutkimuksen luotettavuus	70
<b>8. TULOKSET</b>	<b>73</b>
8.1 Selkä- ja niskavaivojen esiintyminen ja niiden ehkäisy	73
8.2 Ennakkokäsitykset selkätuesta	73
8.3 Selkätuen vaikutus selän ja niskan asentoon	74
8.4 Lordoosin syvyyden vaikutus pään eteen työntymiseen	77
8.5 Selkärankaan kohdistuvia kuormituksia Hawkissa	78
<b>9. TUTKIMUSTULOSTEN POHDINTA</b>	<b>80</b>
9.1 Keskeiset johtopäätökset ja niiden hyödynnettävyys	80
9.2 Jatkotutkimusehdotukset	83
<b>LÄHTEET</b>	<b>85</b>
<b>LIITTEET</b>	<b>94</b>

## KUVIOT

KUVIO 1. TUTKIMUKSEN KULKU.	5
KUVIO 2. TUTKIMUKSEN VIITEKEHYS.	6
KUVIO 3. SOTILAAN TOIMINTAKYVYN OSA-ALUEET.	7
KUVIO 4 TOIMINTAKYKYYN JA SUORITUSKYKYYN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ.	8
KUVIO 5. SELKÄRANGAN RAKENNE.	15
KUVIO 6. VÄLILEVYN RAKENNE.	17
KUVIO 7. SELKÄRANGAN TAAKSETAIVUTUS.	18
KUVIO 8. SELKÄRANGAN ETEENTAIVUTUS.	18
KUVIO 9. KAULARANGAN LIIKKUVUUS.	25
KUVIO 10. PÄÄN KIERTOLIIKKEEN VAARALLISET ALUEET KUVATTUNA YLHÄÄLTÄ	29
KUVIO 11. PÄÄN PAINOPISTEEN SIJAINTI.	30
KUVIO 12. TUOLIN SELKÄNOJAN KIINNITETTÄVÄ SELKÄTUKI.	37
KUVIO 13. SATULATUOLIN MALLIT.	37
KUVIO 14. SELKÄNOJAN JA SELKÄTUEN VAIKUTUS VÄLILEVYPAINEESEEN.	39
KUVIO 15. VATSAN SISÄISEN PAINEN SUUNTAUTUMINEN KEHOSSA.	41
KUVIO 16. IHMISEEN VAIKUTTAVAT KIIHTYVYYSVEKTORIT.	43
KUVIO 17. BIOMEKAANISEN KOKEELLISEN ONGELMANRATKAISUN KAAVIO.	46
KUVIO 18. KEHON PAINOVOIMALINJAN SIJAINTI ISTUESSA JA SEISTESSÄ.	47
KUVIO 19. SELKÄTUEN JA ISTUINKULMAN VAIKUTUS VÄLILEVYPAINEESEEN.	49
KUVIO 20. L5–S1 NIKAMAAN VAIKUTTAVA VOIMA.	52
KUVIO 21. KEHON PAINOPISTE L3-LANNENIKAMAAN SEISTEN JA ISTUEN.	53
KUVIO 22. KEHONOSIEN MASSA PROSENTTEINA IHMISEN KOKONAISPAINOSTA.	54
KUVIO 23. SELKÄRANGAN NIKAMIEN LIIKKUVUUS1.	56
KUVIO 24. TUEN VAIKUTUS PÄÄN LIIKKEESEEN.	76
KUVIO 25. TUTKITTAVIEN SELÄN LORDOOSIN SUURUUS.	77
KUVIO 26. TUTKITTAVA HAWKIN HEITTOISTUIMESSA SELKÄTUELLA JA ILMAN.	78

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. KEHONOSIEN MASSA KEHON KOKONAISPAINON MUKAAN.	44
TAULUKKO 2. L3–L4 VÄLILEVYYN KOHDISTUVIA KUORMITUKSIA	50
TAULUKKO 3. OHJAAMOERGONOMIAN EROT HAWKISSA JA HORNETISSA.	65
TAULUKKO 4. TUTKITTAVIEN LENTOTUNTtien MÄÄRÄ.	70
TAULUKKO 5. VASTAAJIEN ENNAKKOKÄSITYKSIÄ SELKÄTUESTA.	74
TAULUKKO 6. TUNTEMUKSET SELKÄTUESTA.	75
TAULUKKO 7. PÄÄN LIIKE ETEEN JA TAAKSEPÄIN.	103
TAULUKKO 8. SELKÄ- JA NISKAVAIVOJEN KORRELOIMINEN LENTOTUNTEIHIN.	103
TAULUKKO 9. SELÄN LORDOOSIN KORRELOIMINEN PÄÄN LIIKKEESEEN.	104
TAULUKKO 10. T-TESTI SELÄN LORDOOSI JA PÄÄN LIIKE.	104

# SOTILASLENTÄJÄN SELKÄ- JA KAULARANGAN BIOMEKAANINEN KUORMITTUMINEN SEKÄ ISTUINERGONOMIAN PARANTAMIS-MAHDOLLISUUDET LENTOKONEEN OHJAAMOSSA

## 1. JOHDANTO

### 1.1 Tutkimuksen tausta

Jo 20 vuotta sitten tiedettiin ilmavoimien liikehtimiskykyisen konekaluston kuormittavan ihmisen tukirankaa normaalia enemmän. Niskan kulumamuutokset saatiin luokiteltua ammattitaudiksi 1990-luvun puolivälissä. Lentämiseen liittyvien tuki- ja liikuntaelinvaivojen on todettu pysyneen yhä merkittävänä ongelmana sotilaslentäjien keskuudessa ja jopa siirtyneen yhä nuorempiin sukupolviin. (Ilmavoimien Esikunta, 16.9.2004. R3114/22.7/D/III. Viranomaiskäyttö.)

Vuonna 1990 Suomen ilmavoimissa 48 prosenttia sotilaslentäjistä<sup>1</sup> oli kokenut äkillisiä niskakipuja. Suurimmaksi osaksi niskakivut olivat syntyneet Hawkilla<sup>2</sup> taisteluharjoituksessa pään ollessa normaalista poikkeavassa asennossa. Niskakipuja voidaan jo ilman tarkempaa tietoa määritellä johtuvaksi muun muassa suurista kiihtyvyysoimista. (Aho, Hämäläinen & Vanharanta 1990, 74.) Myös ulkomailla on raportoitu hävittäjälentäjien<sup>3</sup> äkillisistä niskavammoista. Syyksi kipuihin on löydetty nikamamurtumia ja välilevytyriä.

2000-luvulla Suomen ilmavoimat ovat kiinnittäneet enemmän huomiota tukiranka- ja niskavaivoihin. Ahon ym. (1990, 74–75) mukaan vuonna 1987 noin 97 prosenttia vastanneista valitti niskakipuja kaularangan ollessa poikkeavassa asennossa.

---

<sup>1</sup> Sotilaslentäjällä tarkoitetaan tässä tutkielmassa Ilmavoimien lentokoneilla säännöllisesti lentävää henkilöä.

<sup>2</sup> Hawk (British Aerospace Hawk Mk51) on Ilmavoimien suihkuharjoituskone/harjoitushävittäjä, jota käytetään ohjaajien koulutuksessa ennen siirtymistä Hornet-kalustoon.

<sup>3</sup> Hävittäjälentäjällä tarkoitetaan tässä tutkimuksessa Hawkilla tai Hornetilla lentävää henkilöstöä

Vapaavuori ja Sorsa (2001) huomauttavat, että ohjaamoergonomiaan<sup>4</sup> ei ole Suomessa kiinnitetty riittävästi huomiota. Tähän puutteeseen tämä työ vastaa osaltaan tutkimalla istumatyötä ohjaamossa.

Istuma-asennon merkitys ohjaamossa voi tuntua vähäiseltä, mutta pitkäaikainen istuminen puuduttaa helposti niskan ja selän lihakset, joiden tehtävänä on tukea ja suojata luustoa sekä pehmytkudoksia (Kanninen & Rintala, 1996, 28). Lihasvoimien heikennyttyä paino kohdistuu yhä enemmän selän pehmytkudoksiin ja luihin. Tutkimusten mukaan istumatyötä tekevillä esiintyy yleensäkin runsaasti selkävaivoja (Saari 1982, 87). Vaivat voivat rajoittaa lentämistä ja pahimmassa tapauksessa estää sen.

Sotilaslentäjät joutuvat sopeutumaan Suomen ilmavoimien valitsemaan konekalustoon. Ilmavoimien kalustosta Hawk-suihkuharjoituskoneen on todettu aiheuttavan suurimman määrän niska- ja selkäkipuja. Oireisto on saanut nimekseen ”hawk neck”. (Aho ym.1990, 75.) Asia on vakava ja siihen tulee hakea ratkaisua. Selkävaivoihin on olemassa prototyyppejä selkätuesta (Oksa, Linja & Rintala 2003). Vuonna 2007 Suomen ilmavoimien Hawk-lennonopettajat kokeilivat selkätuen vaikutuksia lentokoneessa. Niskavaivoihin ei ole kehitteillä konkreettista apuvälinettä. Sovelius, Oksa, Rintala, Huhtala, Ylinen ja Siitonen (2006) suosittelevat trampoliini tai voimaharjoittelua niskavaivojen ehkäisemiseksi.

Englannissa selän rasitusongelma on ratkaistu siten, että Kuninkaallisten ilmavoimien Hawk-lentäjät sekä laivaston ja maavoimien sotilaslentäjät käyttävät selkätukea<sup>5</sup> (Luoma-aho 2005, Winfieldin 1999. mukaan), mikä pitää ala-selän mutkan (lordoosin) oikeassa asennossa. Selkätuki on ollut heillä käytössä jo vuodesta 1973 asti. Selkätukea käyttämällä on pystytty vähentämään sotilaslentäjien selkävaivoja. (Winfield 1999, 321–325.)

Lordoosin syvyyden ollessa lähellä seisoma-asennon arvoja, selkä on sellaisessa asennossa, jossa se on suunniteltu kestämään. Sotilaslentäjät voivat säätää jossain

---

<sup>4</sup> Ergonomia (engl. human engineering) on teknisten työmenetelmien ja työvälineistön kehittämistä ihmisen biologisten kykyjen ja toimintojen mukaisiksi. Pyrkimyksenä on elimistön ja koneiden toiminnan rationalisointi, jolloin rasitukset jakautuvat mahdollisimman tasaisesti ja työstä saatavaa hyötysuhdetta voidaan nostaa. (Fakta 2001 1981, 534.)

<sup>5</sup> Selkätuki tarkoittaa tässä tutkimuksessa ristiselän alueelle asetettavaa lordoosia ylläpitävää tukea.

määrin istuimen asentoa lentokoneen ohjaamossa. Vaikka istuin olisi epäsojiva, sotilaslentäjä voi vaikuttaa itse esimerkiksi selkärankaan lihaksia jännittämällä.

Nykyaikaiset hävittäjät<sup>6</sup> ja suihkulentokoneet<sup>7</sup> ovat tehokkaita, pystyen ylläpitämään 8–10 G:n -arvoja<sup>8</sup> pitkään. Nykyaikainen hävittäjä voi tuottaa 18 G/sekunti, eli puolessa sekunnissa kuormituskerroin on kasvanut yhdeksään G:hen. Yhdeksän G:n voima estää niskasta alaspäin taipuneen pään nostamisen takaisin ylös, jopa ilman kypärän tuomaa lisäpainoa. Kypärän ja maskin kanssa lennettäessä kuusi G:tä riittää pitämään pään alhaalla. (Hämäläinen 1993, 25–26.) Suuren G:n alaisuudessa niska ja selkäranka joutuvat kovan paineen alaisiksi. Haitallisin vaikutus kohdistuu niskaan päätä käännellessä (Aho ym. 1990). Äkillinen suuri G, kuten heittoistuinhyppyssä, voi murtaa selkärangan (Visuri & Aho 1990, 83).

Kaksipaikkaisten suihkukoneiden (Hawk ja Hornet<sup>9</sup>) lennonopettajat työskentelevät erityisen vaarallisissa oloissa, koska takana istuva hävittäjälentäjä ei voi tietää milloin kuormituskerroin yllättäen kasvaa. Esimerkiksi ilmataistelun aikana etuohjaamossa vedetään äkillisesti sauvasta jolloin kuormituskerroin kasvaa nopeasti. Jos lennonopettaja katsoo samalla taaksepäin tai istuu kiertyneessä asennossa, selkä- ja kaularangalla on suuri todennäköisyys vaurioitua. (Kapandji 1997, 168–250).

On tutkittu, että osa hävittäjälentäjistä ei koe urallaan yhtään niskavaivoja. Hämäläisen (1993, 53) mukaan niskavaivojen ilmeneminen on suoraan verrannollinen lentotuntien määrään. Hänen tutkimuksessaan on otettu huomioon sotilaslentäjän ikä, terveys, lihasvoima ja antropometriset<sup>10</sup> mitat, mutta ei eri konetyypeillä lennettyjen tuntien määrää.

<sup>6</sup> Hävittäjä tarkoittaa tässä tutkielmassa erittäin suorituskykyistä suihkulentokonetta. Se pystyy kantamaan suuria kuormia ja aseistusta. Suomessa harjoitushävittäjä on Hawk ja varsinainen hävittäjä on Hornet.

<sup>7</sup> Suihkulentokone tarkoittaa suihkumoottorilla varustettua lentokonetta. Suihkumoottori on tehokkaampi verrattuna potkurikoneeseen. Suomen Ilmavoimissa suihkulentokoneita ovat Hawk, Hornet ja Learjet.

<sup>8</sup> Kuormituskertoimella ja G:llä sekä +Gz:lla tarkoitetaan päästä istuimeen suuntautuvaa pitkittäiskiihtyvyyttä, joka aiheuttaa päästä jalkoihin vaikuttavan keskipakoisen inertiaivoiman. Sen lukuarvo on maan pinnalla vallitsevan painovoiman kerrannainen. Esimerkiksi kuusi G:tä tarkoittaa kuusinkertaista vetovoimaa normaaliin maan vetovoimaan verrattuna. Kyseinen kiihtyvyys voi vaikuttaa mihin suuntaan tahansa.

<sup>9</sup> Hornet F-18 on Suomen ilmavoimien käyttämä suihkuhävittäjä. Hawk-koulutusohjelman menestyksekkäästi läpäisseen lentäjät siirtyvät lentämään Hornet-kalustolla.

<sup>10</sup> Antropometrialla tarkoitetaan kehon ja sen eri osien rakennetta ja mittasuhteita, sekä kehon koostumusta (Väyrynen, Nevala & Päivinen 2004, 56).



## 1.2 Tutkimusongelma ja tutkimustavoitteet

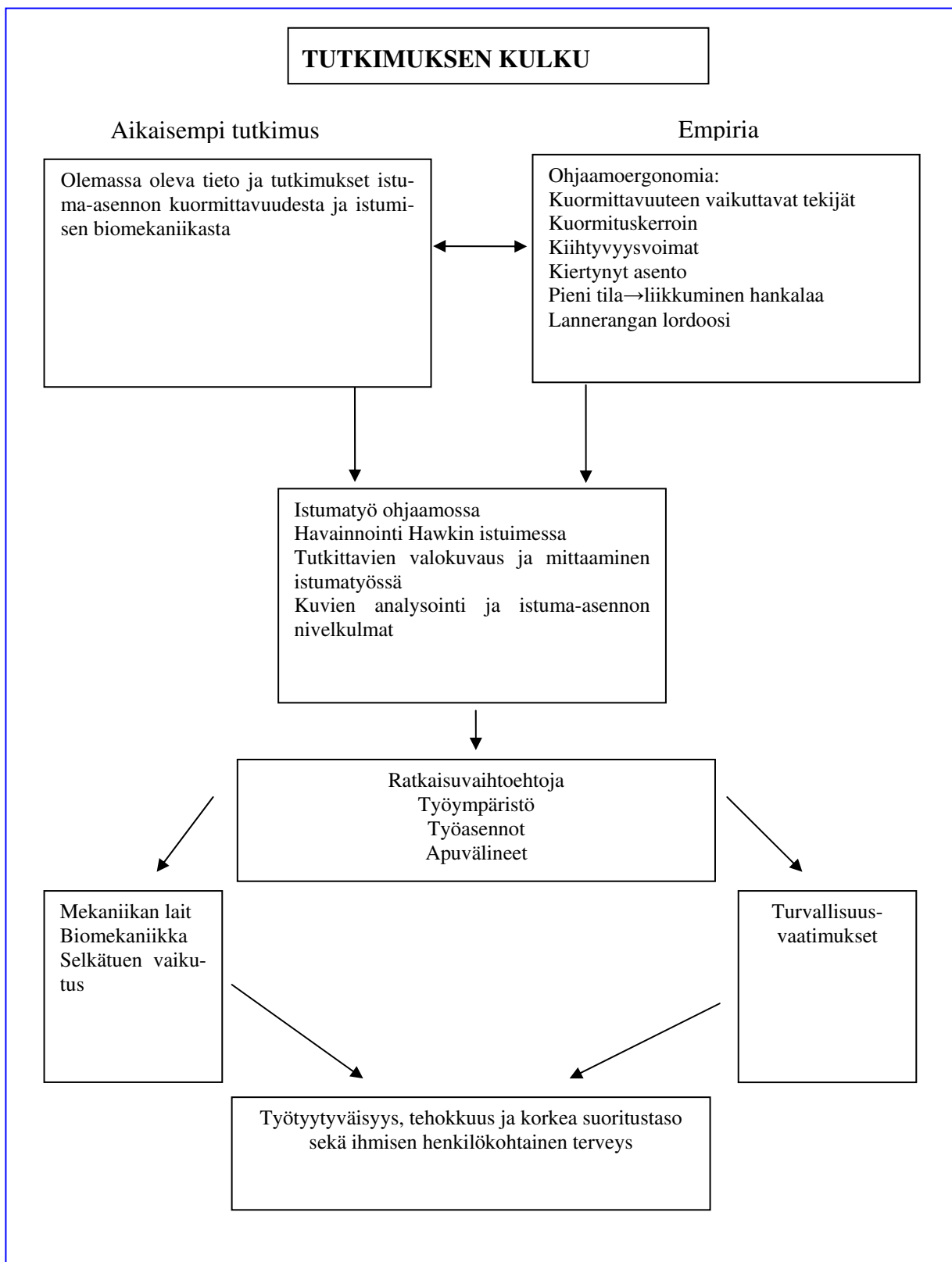
Kandidaatin tutkielmassani perehdyin istuma-asennon biomekaniikkaan ja istuinergonomiaan Hawkissa ja Hornetissa peilaten sitä tietoon istumatyön kuormittavuudesta. Tässä työssä tutkitaan muuttaako selkätuki istuma-asentoa Hawkin heittoistuimessa siten, että selän ja niskan asento paranee ergonomisesti? Lisäksi muita tutkimuksen kysymyksiä olivat: a) onko lannerangan lordoosin suuruudella yhteyttä pään eteen työntymiseen Hawkin heittoistuimessa ja hyötyykö suurilordoosinen sotilaslentäjä teoreettisesti enemmän selkätuesta lannerangan kulman korjauksen myötä? b) Millainen voima lannerankaan teoreettisesti vaikuttaa Hawkilla lennettäessä? c) Esiintyykö selkä- ja niskavaivojen tutkittavilla ja kuinka niitä ehkäistään? d) Millaisia ennakkokäsityksiä tutkittavilla oli selkätuen käytöstä?

Tutkimuksen tavoitteena on ergonomian parantaminen sekä selkä- ja niskavaivojen ennaltaehkäisy. Selvittämällä selkätuen käytön ennakoasenteita, voidaan tuen kehittelyä ja käyttöönottoa jatkaa. Istuma-asennon muutostarve lentokoneessa ja instrumenttien sijainnin kritisointi on teoreettisen pohdinnan tulos. Muutoksia voi toteuttaa vain tinkimättä lentoturvallisuudesta.

Ergonomia on rajattu koskemaan istuma-asentoa lentokoneen ohjaamossa, jossa keskitytään tarkastelemaan heittoistuimen säädettävyyttä, korkeutta ja selkänojan kulmaa. Myös ulottuvuudet kaasukahvalle ja ohjaimiin ovat tärkeitä, koska kiertynyt istuma-asento johtuu sauvan ja kaasun sijoittelusta ohjaamossa, sekä tähyttämisestä koneen takasektoriin. Monessa konetyypissä ohjaimia käytettäessä vartalo joutuu olemaan kiertyneenä vasemmalle johtuen ohjainten sijoittelusta. Poikkeuksena on esimerkiksi F-16 Fighting Falcon lentokone, jossa ohjaussauvan paikka on ohjaamon oikeassa laidassa. Tällöin hävittäjälentäjän ei tarvitse lentää kiertyneessä asennossa kurkottaessaan ohjaussauvaan. Suomen ilmavoimien F-18 lentokoneessa ohjaussauva sijaitsee hävittäjälentäjän jalkojen välissä.

Tässä tutkimuksessa ohjaamoergonomiaan ei liitetä lentokoneen mittareiden paikkoja tai mittarivalintoja. Käsittelyssä on vain välittömästi sotilaslentäjää koskevat fyysiset tekijät. Tutkimuksessa ei käsitellä melua, tärinää, sotilaslentäjän käyttämän lihasvoiman määrää liikkeessaan ohjaamossa, eikä valaistuksen vaikutusta ohjaamon instrumenttien sijoitteluun. Kuormituskertoimen vaikutusta käsitellään vain päästä jalkoihin kohdistuneen kiihtyvyyden osa-alueella, eli +Gz arvoilla. Tutkimus

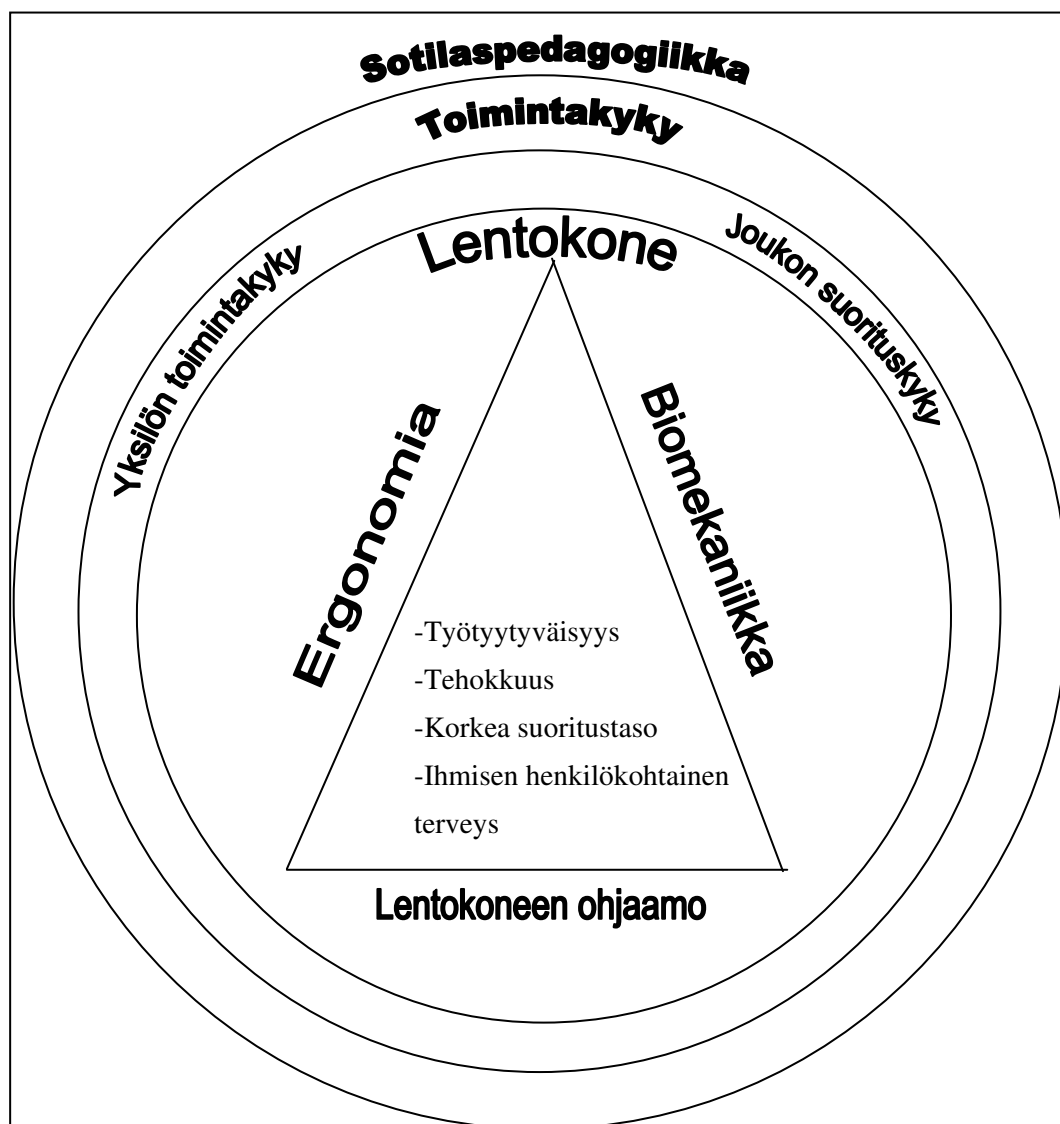
tarkastelee vain Suomessa käytettävien Hawkin ja Hornetin ohjaamoergonomiaa sekä tarkemmin istumisen biomekaniikka Hawkin heittoistuimessa.



Kuvio 1. Tutkimuksen kulku.

### 1.3 Tutkimuksen viitekehys

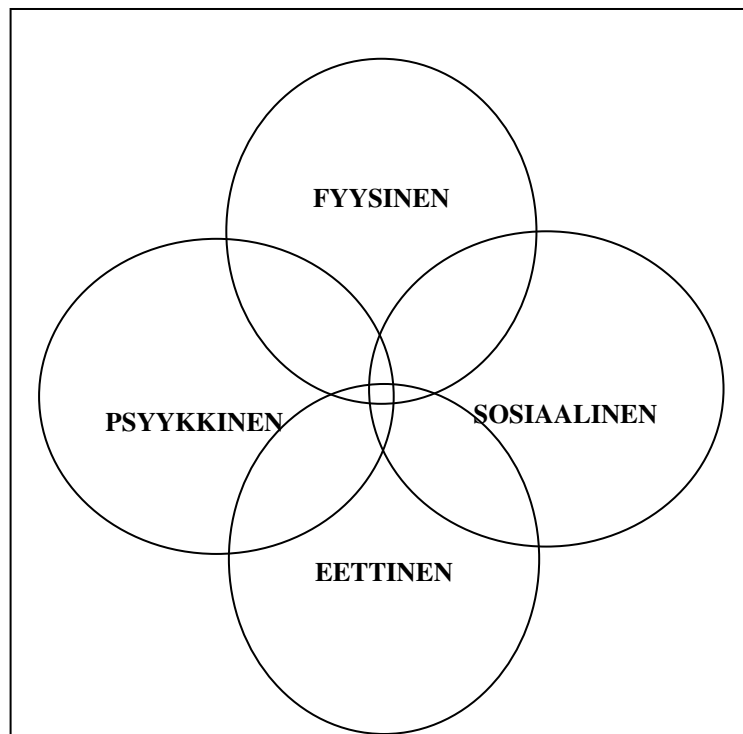
Sijoitan tutkimukseni sotilaspedagogiikan viitekehykseen, joka sisältää teorian sotilaan toimintakyvystä ja suorituskyykyyn vaikuttavista tekijöistä. ”Sotilaspedagogiikka on oppi sotilaiden ja sotilasjohtajien kouluttamisen taidosta. Se tutkii sotilaalliseen maanpuolustukseen liittyvää koulutusta ja osallistuu sen kehittämiseen.” (Toiskallio 1998a.) Toiskallion (1998b, 25) mukaan sotilaan toimintakyky on sitä, että yksilö pystyy – yksin ja yhdessä toisten kanssa – toimimaan määrätietoisesti ja tilanteen mukaisesti sodan tai sitä alemman asteisten kriisien erilaisissa ympäristöissä. Joukon kohdalla puhutaan toimintakyvyn sijaan suorituskyykyä.



Kuvio 2. Tutkimuksen viitekehys.

Toiskallion (1998a, 8) mukaan valtiollisilla ja hierarkkisilla organisaatioilla on

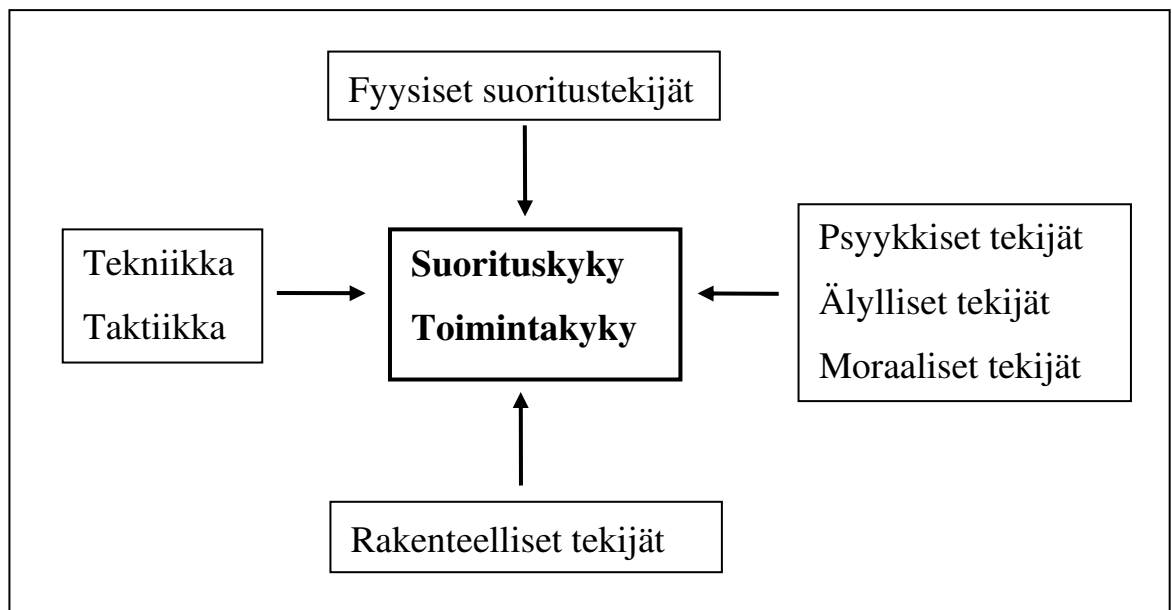
rasitteena vaara "unohtaa" yksilöt. Onko näin käynyt sotilaslentäjille, koska selkä- ja niskavaivoihin on ryhdytty kiinnittämään huomiota vasta niiden esiinnyttyä useita vuosia? Puolustusvoimien koulutuksen tehtävänä on tuottaa suorituskykyisiä sodanajan joukkoja, joihin luetaan myös sotilaslentäjät. Suorituskykyinen joukko voi syntyä vain toimintakykyisistä yksilöistä. Toiskallio (1998a, 9) painottaa toimintakyvyn olevan sotilaspedagogiikan ydinalue ja peruskäsite. Toimintakyky tarkoittaa pikemmin valmiutta kuin suoritusta. Toimintakyky jakaantuu yleisenä käsitteenä fyysiseen, psyykkiseen, sosiaaliseen ja eettiseen toimintakykyyn. Fyysinen toimintakyky tarkoittaa yksilön kuntoa eli fyysistä kykyä toimintojen suorittamiseksi. Psyykinen toimintakyky tarkoittaa kykyä käsitellä informaatiota. Sosiaalisessa toimintakyvyssä on kyse muun muassa ihmissuhteista ja vuorovaikutuksesta. Eettinen toimintakyky liittyy vastuullisuuteen ja oikeustajuun. (Toiskallio 1998a, 9–10.)



Kuvio 3. Sotilaan toimintakyvyn osa-alueet. (TOISKALLIO 1998B, 27).

Toimintakyvyn tärkeimpiä osatekijöitä ovat keskeisten tietojen ja taitojen hallinta, fyysinen kunto, motivaatio, tahto ja rohkeus, henkisen paineen sietokyky, vastuuntunto, asia- ja tilannekokonaisuuksien tajuaminen, tavoitteiden ja eri toimintamahdollisuuksien harkittu yhteen sovittaminen, kyky eettisiin päätöksiin, sekä luottamus itseensä, taistelijapariinsa, esimiehiinsä ja taisteluvälineisiinsä. (Toiskallio 1998b, 27.)

Fyysinen ja psyykkinen toimintakyky liittyvät monelta osin toisiinsa. Se ilmenee esimerkiksi sotilaan kykyä huolehtia omista elintoiminnoistaan. Sosiaalinen ja eettinen toimintakyky liittyvät niin ikään toisiinsa. Sotilaslentäjien toimintakyvyn alueella voidaan puhua henkisestä ja fyysisestä toimintakyvystä. Henkisellä toimintakyvyllä tarkoitetaan esimerkiksi kykyä soveltaa jo hallittua, sekä taitoa oppia kokemusten kautta. (Toiskallio 1998a, 10.) Tutkimukseni painottuu sotilaspedagogiikan fyysiseen toimintakykyyn ja sen ylläpitoon. Kyröläisen (1998, 25) mukaan mieliala sosiaalisessa vuorovaikutussuhteessa ja tahto vaikuttavat keskeisesti fyysiseen toimintakykyyn.



Kuvio 4 Toimintakykyyn ja suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä (Kyröläinen 1998, 26, von Gerich & Kyröläinen 1989 mukaan.)

Kuvioon 4 on koottu suoritus- ja toimintakykyyn vaikuttavat tekijät. Rakenteelliset tekijät ovat yksi neljästä osa-alueesta, jotka vaikuttavat suoritus- ja toimintakykyyn. Sotilaspedagogiikka tutkii kuinka toimintakykyä voidaan kehittää oppimisen avulla (Toiskallio 1998a, 168). Sotilaslentäjä voi oppia toimintamalleja, joiden avulla vähentää vaarallisimpia niska- ja selkävaivoihin johtavia asentoja.

Suorituskyvyllä ja toimintakyvyllä tarkoitetaan eri asioita, jotka tulee pystyä erottamaan toisistaan. Suorituskyky on tilannekohtaisia tekoja ja toimintakyky on yksilön sisäistä valmiutta, joka mahdollistaa tehokkaat suoritukset erilaisissa tilanteissa ja ympäristöissä. (Toiskallio 1998a, 167.) Sotilaslentäjä pystyy tekemään huippusuorituksen fyysisesti ja teknillisesti muutaman minuutin kestävissä kaartotaistelussa. Tämä on hyvää suorituskykyä. Toimintakykyä on sotilaslentäjän

saamat oppitunnit ja valmistavat harjoitukset kaartotaistelulennolle. Hän on tavoitellut täydellistä suoritusta ja onnistumisen edellytyksenä on pitkäjänteinen harjoittelu niin fyysisesti kuin teknisestikin. Teknillisen harjoittelun voidaan kuvata olevan taistelunmukaista liikehdintää ilman vihollisen olemassaoloa.

Sodassa joukon suorituskyky on sen taistelukykyä. Se koostuu taistelutahdosta, taistelijoiden ja yksilöiden koulutustasosta sekä käytettävissä olevasta aseistuksesta ja varustuksesta. Sotilaslentäjien näkökulmasta joukko voi tarkoittaa Hornet- tai Hawk parvea, johon kuuluu neljä konetta. Tämä muodostaa suorituskykyisen joukon. Toimintakyvyn ja näin ollen suorituskyvyn kehittyminen on sitä, että koulutettavat oppivat toimimaan ja ajattelemaan tavalla, jota taistelukenttä sekä tehtävät ja välineet vaativat yksilöiltä, taistelijapareilta ja joukoilta. Toiskallion näkökulma on maavoimien toimintaympäristö, joka poikkeaa ilmavoimien sotilaslentäjien toimintaympäristöstä. Sotilaslentäjän toimintakyky tarkoittaa kykyä toimia erityisen vaativissa olosuhteissa. Toimintaan vaikuttavat merkittäväksi kuoleman ja haavoittumisen vaara, tilanteiden epävarmuus ja sekavuus sekä väsymys ja unen puute. Toiskallio myöntää, että eri aselajitehtävissä ja erilaisia asejärjestelmiä käytettäessä toimintakyvyssä painottuvat eri tekijät. Hän ei kuitenkaan ota kantaa puolustushaarojen välisiin eroihin. (Toiskallio 1998b, 25, 28.)

Kognitiivisten eli tiedollisten prosessien näkökulmasta hyvä toimintakyky on kykyä elää kompleksisuudessa ja pystyä käsittelemään suuria ristiriitaisuuksia (Riegel 1973, 344–372). Sotilaslentäjät kokevat ilmassa ajoittain voimakkaita aistiharhoja. Tämä voi johtua asentotajun osittaisesta menettämisestä. Mittarilennoilla koneen käydessä välillä pilvessä, silmän ja tasapainoaistien antama informaation on ristiriitaista. Sotilaslentäjällä tulee olla selvää, mihin aisteihin ja mittareihin sillä hetkellä voi luottaa. Heikentyneen toimintakyvyn seuraukset voivat olla jo rauhan aikana vakavia. Tällaisia ovat törmäykset maahan tai toiseen lentokoneeseen ilmassa. Myös oikaisut suurella kuormituskertoimella saattavat johtaa välillisesti tukirangan pettämiseen.

Sotilaan toimintakykyyn vaikuttaa se, miten hyvin hän pystyy hyödyntämään aiempia kokemuksiaan eli omaa kohtaamishistoriaansa (Karvonen 1997, 184–186). Lentämisen kuormittavuuteen peilattuna hyvä toimintakyky säilyy, jos sotilaslentäjä pystyy muistamaan missä asennossa ja tilanteessa hän on kokenut esimerkiksi selkä- tai niskakipuja. Jos nopeat pään liikkeet tuottavat kipua, toimintakyky opitaan

säilyttämään kääntämällä päätä hitaammin. Sotilaslentäjä voi välttyä fyysisiltä vahingoilta oppimalla ja tiedostamalla kohtaamishistoriansa kautta omat rajoitukset ja riskitekijät tukirangan alueelta.

Toiskallion (1998b, 98) mukaan yksilön toimintakykyä voi vain osittain arvioida kirjallisilla tai suullisilla kokeilla. Parhaan käsityksen toimintakyvystä saa mittaamalla ja havainnoimalla todellista toimintaa mahdollisimman aidossa ympäristössä. Sotilaslentäjien koulutus sisältää juuri tämän tyyppistä arviointia ja mittaamista jokaisen suorituksen jälkeen. Esimerkiksi jokaisen lennon jälkeen opettajan antamaa yleisarvosanaa lennosta voidaan pitää myös arviona toimintakyvystä.

## 2. AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET

Lentokoneen ohjaamotyöskentelyä muistuttavasta heiluvasta ja tärisevästä istumatyöstä on tehty tutkimuksia metsäkoneen kuljettajille, joskaan suuret kuormituskertoimet eivät vaikuta metsäkoneisiin. Metsäkoneiden ergonomiasta on määritelty standardit, joista osaa voisi soveltaa lentokoneiden ohjaamoihin. Istuttaessa metsäkoneen ohjaamossa kehon nivelten pitäisi pääsääntöisesti olla neutraalissa asennossa. Nivelet eivät saa olla liian suorina tai taipuneina. Kuljettajan on pystyttävä liikehtimään vapaasti, suoristamaan vartaloon helposti ja ojentamaan jalkojaan. Istuma-asentoa on vaihdeltava muuttamalla vartalon ja jalkojen välistä kulmaa. Tämä vähentää ristiselän staattista kuormitusta. Pään taaksepäin taivutusta on vältettävä etenkin kun siihen liittyy pään eteen työntäminen. Tässä asennossa voi syntyä vammoja erityisesti koneen heilahdellessa samanaikaisesti. (Gellerstedt, Almqvist, Atterbrant, Myhrman, Wikström & Winkel 1999, 16–17.)

Sosiaali- ja terveysministeriön työsuojeluosasto on julkaissut useita tutkimuksia istumatyöstä. Mervi Murtosen (2000) Riskien arviointi työpaikalla – työkirja pohjautuu tunnistuslistojen läpikäyntiin, ja on tarkoitettu kaikenlaisten työpaikkojen riskien arviointiin. Menetelmässä korostetaan työntekijöiden osallistumisen sekä heidän kokemuksensa ja osaamisensa hyödyntämisen tärkeyttä. Menetelmässä on viisi vaarojen tunnistuslistaa: tapaturmavaarat, kemialliset ja biologiset vaarat, fysikaaliset vaaratekijät, ergonomiset vaaratekijät sekä henkiset kuormitustekijät. Menetelmällä tunnistettujen vaarojen tyypillisiä seurauksia ja altistumisen todennäköisyyttä arvioidaan kolmiportaisilla asteikoilla. Ergonomisiksi vaaratekijöitä luetellaan muun muassa kaularangan haitallinen taivutus tai kierto, yläraajojen kohoasento, ranteiden haitallinen taivutus, kyynärpään tai -varren toistoliike tai haitallinen kierto tai taivutus, selän haitallinen kumara, kiertäminen tai taivutus, ja jatkuva paikallaan pysyvä kuormitus. Riskin suuruuden arviointikriteerit ovat vähäinen, haitallinen tai vakava.

Esa Pekka Takala (2004) on kartoittanut tutkimuksia toimistotyöhön kohdistuneiden ergonomisten muutosten vaikuttavuudesta liikuntaelinten vaivoihin. Takala (2004) poimi tutkimukset 29 julkaisusta. Muutokset ovat kohdistuneet pääasiassa työpisteen säätöihin, erilaisiin näppäimistöön tai hiiren teknisiin ratkaisuihin sekä työn tauotukseen. Tutkimusten perusteella nykyisten suositusten mukaisen ergonomian toteuttaminen tietokonetyössä vähentää liikuntaelinten vaivoja ja näyttäisi lisäävän työn tuottavuutta. Takalan (2002) mukaan toimistotyö sinänsä on fyysisesti kevyttä



eikä vaadi liikuntaelimiä kuormittavia suuria lihasvoimia, mutta pitkään jatkuva pienikin staattinen lihasjännitys näyttäisi olevan haitallista.

Suomalaisessa tutkimuksessa työpisteitä pyrittiin muuttamaan EU:n näyttöpäätedirektiivien edellyttämään kuntoon. Suuren kaupungin virastoista valittiin niska-, hartia- ja yläraajoireita poteneita henkilöitä, jotka satunnaistettiin vertailu-, koulutus- ja asiantuntijan avustamaan interventoryhmään. Kahden kuukauden kuluttua sekä asiantuntijan avustamassa ryhmässä että koulutusryhmässä oli epämukavuuden tunteita niskan ja yläraajojen alueella selvästi vähemmän kuin vertailuryhmällä. (Takala 2004, 116.)

Thaimaassa 80 jännitysniskan oireita potennutta henkilöä satunnaistettiin joko vertailuryhmään tai ryhmään, jolle työpiste säädettiin yksilön mittojen mukaiseksi tietokoneavusteisen ohjelman avulla. Epämukavuuden tuntemuksia kehon eri osissa kysyttiin kahden viikon välein. Oireet vähenivät koeryhmässä selvästi jo neljän viikon kuluessa muutoksesta ja sama oireiden taso säilyi puoli vuotta kestäneen seurannan ajan. Yläraajojen oireiden väheneminen oli selvästi yhteydessä parantuneeksi koettuun työpisteeseen. Niskan ja selän oireiden väheneminen taas liittyi entistä parempaan työtuoliin. Muuttamalla näppäimistöä, hiirtä, työpistettä ja tuolia voidaan vaikuttaa työntekijän työhön siten, että ranteiden ja ylävartalon asento on lähempänä luonnollista keskiasentoa, jolloin näihin kehon alueisiin kohdistuva kuormitus vähenee. Näillä muutoksilla voidaan vähentää niska-hartiaseudun ja yläraajojen oireita. (Takala 2004.)

Tutkimukset osoittavat, että oireiden vähentämiseen tarvittavat säädöt ja muutokset ovat sängen yksilöllisiä. Siten ei ilmeisesti ole olemassa kaikille sopivaa vakioasettelua tai työvälinettä. Subjekttiivinen hyväksi koettu ergonominen muutos näyttää olevan yhteydessä myös oireiden vähenemiseen. Erilliset kyynärvarsien tuet eivät vähennä hartioiden lihaskuormitusta suhteutettuna tilanteeseen, jossa tuki voidaan ottaa pöydältä tai tuolin käsinojista. Useat samansuuntaiset tutkimukset osoittavat, että lyhyet luentomuotoiset tietoiskut tai jaettavat tiedotteet eivät riitä saamaan aikaan havaittavia ergonomisia muutoksia työpisteessä. Sen sijaan työntekijöitä aktivoiva kolmen tunnin koulutus kahden viikon välein ja asiantuntijan avulla tehtävät työpisteen korjaukset näyttäisivät olevan tehokkaampaa niin muutosten saavuttamiseksi kuin oireiden vähentämiseksi. (Takala 2002, 124–125.)

Kanadalaisessa Brissonin, Montreuilin ja Punnettin (1999) satunnaistetussa vertailututkimuksessa opetettiin 248 työntekijää arvioimaan työpistettään hänestä otetun valokuvan avulla, säätämään työpistettään ja järjestämään työtään. Opetus tapahtui noin 15 hengen ryhmissä kahden viikon välein kahdesti, ja kumpikin tilaisuus kesti kolme tuntia. Opetusryhmässä tapahtui selviä ergonomisia parannuksia huomattavasti enemmän kuin vertailuryhmässä. Puolen vuoden kuluttua myös oireita oli selvästi vähemmän opetusryhmän alle 40-vuotiailla, kun taas sitä vanhemmilla ei ryhmien välillä todettu selvää eroa.

”Acceleration effect on neck muscle strength: Pilot vs. non-pilots” tutkimus tutki Singaporen tasavallan ilmavoimien hävittäjälentäjien niskalihasten voimaa suhteutettuna tavalliseen väestöön. Yleisellä tasolla tutkimus osoittaa, että lentämällä ei voida vahvistaa niskalihasten voimaa. Tulokset kertovat myös niskan maksimaalisen voimantuoton eteen-, taakse- ja sivuille taivutuksen osalta olevan sotilaslentäjillä jokseenkin sama kuin ei-lentävällä henkilöstöllä. Kyselytutkimuksen mukaan lentäjät ovat itse kehittäneet tekniikoita suojautuakseen vammautumiselta. Tällaisia tekniikoita ovat esimerkiksi kuormituskertoimen laskeminen pään asentoa muutettaessa radikaalisti ja pään liikuttaminen vain yhden akselin suhteen kuormituksen ollessa suuri. Päättä on myös tuettu lentokoneen rakenteisiin. Tällaisia neuvoja antavat myös ”in-flight protective head-positioning” strategiat. Ne kuitenkin rajoittavat hävittäjälentäjän selviytymistä lähi-ilmataistelusta, koska vihollista on mahdoton pitää näkyvissä koko aikaa. Testitulosten mukaan niskalihakset ehkäisevät niskan vammautumista ja vaimentavat kaularankaan kohdistuvia rasituksia. Niskalihasten voima auttaa hävittäjälentäjää pitämään vihollisen ilmataistelun aikana paremmin näkyvissä. (Seng, Lam & Lee 2003, 164–168.)

Thuresson, Äng, Linder ja Harms-Ringdahl (2004) tutkivat ruotsalaisten helikopterilentäjien niskaan kohdistuvia kuormituksia. Muuttujina olivat kypärän paino yönäkökiikareilla, pään kallistus eteen- ja taaksepäin sekä lihasaktiivisuus. Kypärä painoi 1.417 kg ja yönäkökiikareiden kanssa 0.755 kg enemmän. Vastapaino oli 0.325 kg painoinen. Huomattiin, että niskan asento suhteessa pään kokonaispainon muutokseen vaikutti enemmän C7–T1 nikaman vääntömomenttiin ja lihasaktiivisuuteen niskassa. Niskaa taivutettaessa eteenpäin 10 asteesta 20 asteeseen, lihasaktiivisuus ja voiman momentti kaksinkertaistui. Ilman kypärää C7–T1 nikamaan kohdistuva voima oli  $64.6 \pm 5.4$  Newtonia. Kypärän kanssa 13.9 Newtonia, pimeänäkökiikareiden kanssa 21.3 Newtonia ja pimeänäkökiikareiden ja vastapainon kanssa 24.5 Newtonia.

Suomalainen artikkeli ”Niskakivut suomalaisella hävittäjälentäjillä” kertoo kyselytutkimuksen tuloksista vuonna 1990. Siihen osallistuneista sotilaslentäjistä 48 prosenttia oli kokenut äkillisiä lennonaikaisia niskakipuja ja 40 prosenttia sotilaslentäjistä ei ollut kokenut lainkaan niskakipuja. Tutkimuksen mukaan etenkin Hawk-lentäjillä esiintyy paljon niskakipuja lentotuntien määrän kasvaessa. Suurin osa niskakivuista oli syntynyt taisteluharjoituksissa Hawkilla kuormituskertoimen ollessa 4–8 G ja kaularangan ollessa neutraaliasennosta poikkeavassa asennossa. Äkillisiä niskakipuja ovat saaneet 78 prosenttia opettajista ja kokeneista ohjaajista, mutta vain 10 prosenttia oppilasohjaajista. Niskakipujen syntyhetkellä kaularanka oli yli 96 prosentissa tapauksista neutraalista poikkeavassa asennossa. Kaikista äkillisistä niskakiputapauksista Hawkissa ilmeni 79 prosenttia, Drakenissa, Migissä ja Fouga Magisterissa esiintyvyys oli jokaisessa alle 2 prosenttia. (Aho, Hämäläinen & Vanharanta 1990, 74–79.)

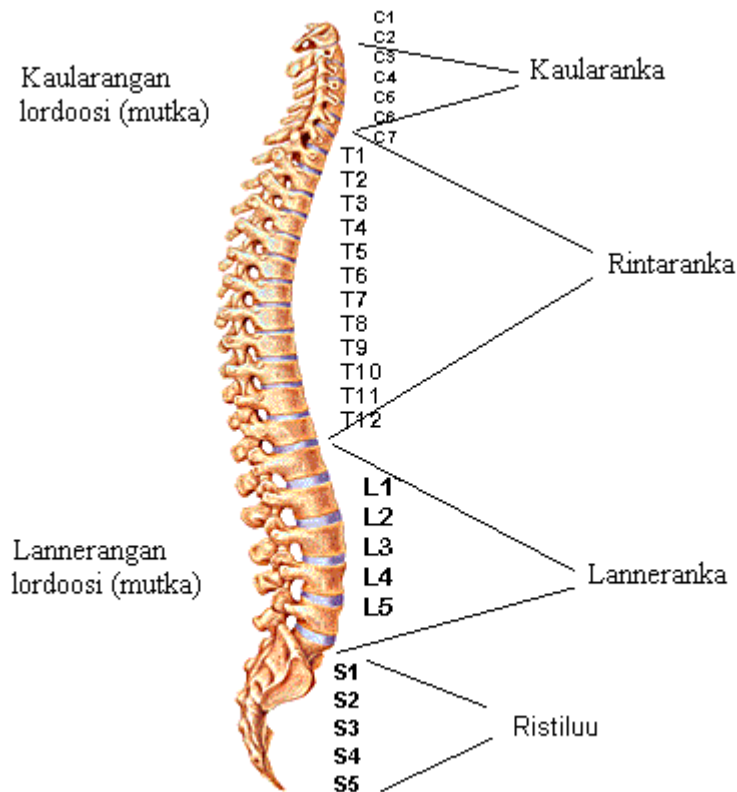
Luoma-aho (2005) kirjoittaa tutkimuksessaan, että jopa 88 prosenttia Hawk-sotilaslentäjistä piti istuma-asentoa Hawkissa vähintäänkin huonona. Istuma-asento Hawkin heittoistuimessa ei täytä hyvälle istuinergonomialle asetettuja vaatimuksia. Tämä näkyy siitä, että Hawkilla lentävistä sotilaslentäjistä valtaosa kärsii lennolla selän väsymisestä ja puutumisesta. Hawkin heittoistuimen asento on liian pysty ja selkänoja liian suora. Tämä aiheuttaa sotilaslentäjälle hartioiden ja ristiselän irtoamisen selkänojasta. Eteenpäin kumartuneesta asennosta johtuen lentäjä ei näe kunnolla ohjaamosta ulos ilman niskan taivuttamista taaksepäin. Tämä asento aiheuttaa selän ergonomisesti huonon asennon lisäksi niskan ergonomisen asennon heikkenemiseen. (Koistinen 1998, 41.)

Aikaisemmat tutkimukset tuovat esiin istumatyön ergonomisia riskitekijöitä. Tutkimukset korostavat työntekijöiden osallistumisen, kokemuksen ja osaamisen hyödyntämisen tärkeyttä riskien arvioinnissa. Oireiden vähentämiseksi tutkimuksissa on kokeiltu liikuntaa, koulutusta ja ergonomisia tukia. Kuitenkin tarvittavat säädöt ja muutokset ovat yksilöllisiä eikä ole olemassa kaikille sopivaa vakioasettelua tai työvälinettä. Lentoturvallisuutta tai selviytymistä lentotehtävistä ei voida vaarantaa ergonomian kustannuksella. Aikaisemmissa tutkimuksissa ei selvitetä selkätuen yksilöllistä vaikutusta selän asentoon mittauksia tekemällä. Myöskään tutkittavien mielikuvaa selkätuen käytöstä ei ole kysytty. Tätä aukkoa paikkaan tällä tutkimuksellani.

### 3. IHMISEN TUKIRANKA

#### 3.1 Selkärangan rakenne

Selkäranka koostuu 33 selkänikamasta, joista 24 on liikkuvia nikamia (Hamill & Knutzen 2003, 234). Nikamien välissä sijaitsevat välilevyt. Selkäranka jaotellaan neljään eri osaan. Ylhäältä alaspäin katsottuna nämä ovat kaularanka (7 nikamaa), rintaranka (12 nikamaa), lanneranka (5 nikamaa) ja ristiselkä, jonka nikamat ovat kasvaneet yhteen ristiluuksi. Nikamien korkeus vaihtelee siten, että kaularangassa ovat pienimmät nikamat (3 mm) ja lannerangassa suurimmat nikamat (9 mm) (Cedercreutz & Hanhinen 1993, 15). Tästä voi päätellä, että lannerankaan kohdistuu suurin rasitus (Eklundh 1978).



Kuvio 5. Selkärangan rakenne (Koistinen 1998. 39–40).

Normaali selkä on takaapäin katsottuna suora. Sivultapäin katsottuna kaula- ja lanneranka muodostavat pienen mutkan ja rintaranka on hieman kupera. Nämä kaarevuudet lisäävät selkärangan joustavuutta ja jakavat pystysuorassa tulevan kuormituksen tasaisesti koko rankaan. (Cedercreutz & Hanhinen 1993, 14.) Nikamavälilevyt muodostavat neljänneksen ( $\frac{1}{4}$ ) liikkuvan selkärangan pituudesta.

Välilevy on paksuin L4–L5 ja L5–S1 nikamien kohdalla. Sukupuolten välillä on löydetty eroja siten, että lannerangan nikamat ovat miehillä paksummat kuin naisella. Samoin miehen ristiluun ja suoliluuhun liittyvät nivelsiteet ovat tiheämmät ja kestävämmät kuin naisella. (Hamill & Knutzen 2003, 174, 242.)

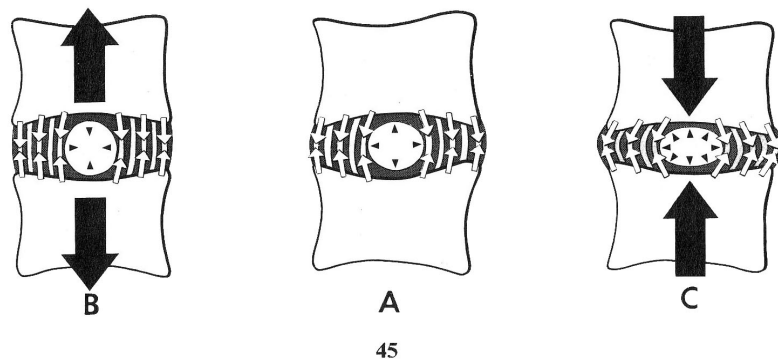
Nikamavälilevyt ovat selän tukirakenteen heikoimpia ja useimmin vaurioituvia osia. (Heikkilä 1998, 39). Väyrysen, Nevalan ja Päivisen (2004, 48) mukaan välilevyn kestävyys on heikointa sen takaosassa. Välilevyn takaosaan kohdistuu suurin kuormitus kun vartaloa taivutetaan eteenpäin tai nostellaan taakkoja. Heikkilä (1998) uskoo selkäkipujen keskeisen syyn löytyvän lihaksista. Jos selkää tukevat lihakset ovat huonossa kunnossa, niin selän kudoksiin ja välilevyihin kohdistuu suurempi rasitus. Airaksisen (1998, 235) mukaan selkävaivojen yleisin syy on pieni selän lihaksen vahingoittuminen tai nyrjähdys.

Nikamavälilevy koostuu kahdesta osasta. Ulko-osa on rengasmaisen sidekudoskehä, jossa on useita säiekudoskerroksia. Keskuksena on välilevyn ydin, joka on hyytelömäistä massaa. (Kapandji 1997, 26.) Nikamavälilevyn ydin toimii kuin auton turvatyyny. Se ottaa vastaan pystysuuntaisia voimia ja jakaa ne tasaisesti koko rangalle. Nikamavälilevyn ydin avustaa selkärangan liikkeitä estämällä välilevyä puristumasta kasaan ja pyrkien säilyttämään selkänikamien välit riittävän suurina taivutuksille. Ydinosaa ympäröi rustorenkaista koostuva ulkokuori (lat. annulus fibrosus). Välilevyn tehtävänä on tukea selkärankaa. Sen ulkokuori sitoo ylä- ja alapuolellaan olevia nikamia yhteen muiden tukikudosten ohella. Välilevyn verenkierto on heikkoa ja sen aineenvaihdunta tapahtuu imeytymisen kautta makuulla ja käytetyn ravinnon tihkumisen kautta ylhäällä oltaessa. (Selkäcenter. [Viitattu 22.7.2006]. Saatavilla www-muodossa: <[URL: http://www.selkacenter.fi/luettavaa/useinkysyttya/80.html](http://www.selkacenter.fi/luettavaa/useinkysyttya/80.html)>.)

Välilevyn ydin kantaa välilevyn kohdistuneesta kuormasta 75 prosenttia ja sitä ympäröivä rengas kantaa 25 prosenttia kuormasta. Päivän aikana selkäranka voi lyhentyä jopa 3 cm, koska välilevyjen ydin menettää päivän kuormituksessa nestepitoisuuttaan. (Kapandji 1997, 32–34.) Välilevyn hyytelömäinen ydin muodostaa 30–60 prosenttia välilevyn kokonaistilavuudesta. Se koostuu hunajakennon näköisistä kuiduista, fibrilleistä, vedestä ja vettä sitovista kemiallisista aineista. Välilevyn ydin toimii kuulalaakerin tavoin voiman kohdistuessa siihen vinosti. (Vanharanta 1998, 54–57.)

Rustomainen ulkokuori rakentuu levymäisistä säikeistä, jotka kulkevat ristikkäin toisiinsa nähden. Ulkokuoren vesipitoisuus on merkittävästi pienempi kuin ytimen. Rustomainen ulkokuori suojaa hyytelömäistä ydintä ja estää selkärankaa taipumasta luonnottomiin asentoihin. (Vanharanta 1998, 54–57.)

Nikamavälilevyn ydin koostuu normaalisti 80–90 prosenttia vedestä ja 15–25 prosenttia kollageenista<sup>11</sup>. Tämä nestemäinen massa on jatkuvasti paineen alla. Paine riippuu ihmisen asennosta ja kuormasta jota hän kannattelee. Välilevyn korkeuden ja tilavuuden pieneneminen aiheuttaa välilevyn työntymisen ulospäin ja näin kasvattaa pitkittäistä kuormaa takimmaiselle pinnalle. Yön aikana nikamavälilevyn ytimen massa palautuu koostumuksen sekä korkeuden ja tilavuuden suhteen ennalleen. Iän myötä välilevyjen vesimäärä laskee noin 70 prosenttiin ja palautumiskyky huonontuu, jolloin selkäranka lyhenee. (Hamill & Knutzen 2003, 235.)

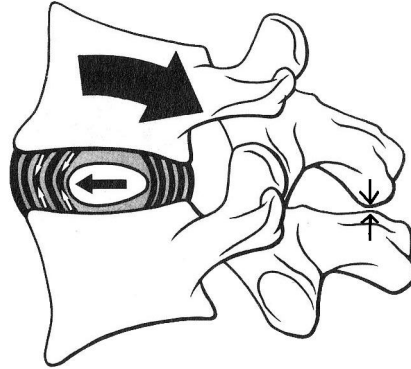


Kuvio 6. Välilevyn rakenne (Kapandji 1997, 41).

Kuviossa 6 A, välilevy on lepotilassa. Siinä sidekudoskehä (annulus fibrosus) on jännittyneessä tilassa, koska välilevyn ydin on koko ajan esijännittyneessä tilassa. Kuviossa 6 B selkäranka pidentyy. Tällöin välilevyn leveys pienenee ja jännite sidekudoskehällä kasvaa. (Kapandji 1997, 40.) Välilevy muuttuu lepoasennossa pallomaiseksi. Teoreettisesta näkökulmasta katsoen pitkän rasituksen jälkeen selkärangan välilevyt ovat hieman kokoonpuristuneet, jolloin välilevyjen palautumista normaalitilaan voidaan jouduttaa venyttämällä selkärankaa ja näin myös välilevyjä. Neste imeytyy hiljalleen takaisin välilevyihin. Kuviossa 6 C on esitetty välilevy

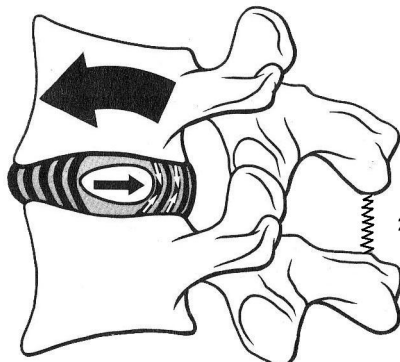
<sup>11</sup> Sidekudokselle vetolujuutta antava valkuaisaine. Kollagaaneja on kahta erialaista tyyppiä. Nikamavälilevyn ytimessä on tyypin kaksi kollageeniä, joka jakaa kuormitusta tasaisesti. Ulkokuoressa tyypin yksi kollageeni omaa paremman vetolujuutta. (Vanharanta 1998, 55.)

paineen alla. Tällöin välilevy painuu kasaan ja levenee. Keskiosa litistyy ja sisäinen paine nousee. Sidekudossäikeet kiristyvät sisältä päin lähtien ja muuttavat näin pystysuoran paineen vaakasuoraksi. (Kapandji 1997, 40.)



Kuvio 7. Selkärangan taaksetaivutus (Kapandji 1997, 41).

Taaksetaivutuksen aikana ylempi nikama liikuu taaksepäin vähentäen taaempaa välitilaa ja työntää samalla välilevyn ydintä eteenpäin. Tällöin ytimen paine kohdistuu sisäänpäin venyttäen sidekudoskehää. Nikamien nivelhaarakkeet painuvat tiukasti yhteen ja okahaarakkeet tukevat toisiaan vasten. Täten nikaman luurakenne rajoittaa taivutusta taaksepäin. (Kapandji 1997, 40, 80–81.) Välilevyn pullistumat syntyvät harvoin sisäänpäin, koska selkäranka rasittuu harvoin kuvion 7 osoittamalla tavalla. Luusto rajoittaa tehokkaasti selkärangan taaksetaivutusta.



Kuvio 8. Selkärangan eteentaivutus (Kapandji 1997, 41).

Selkärangan eteentaivutuksen aikana ylempi nikama liukuu eteenpäin, vähentäen sisempää välitilaa. Samalla välilevyn ydin työntyy taaksepäin. Ytimen painautuminen sidekudoskehän takasäikeitä vasten lisää niiden jännitettä. Samalla nikamien nivelhaarakkeet etäännyvät toisistaan ja okahaarakkeiden väliside venyy. Väliside (kuviossa 8 merkitty numerolla 2) rajoittaa myös nikamien liikettä eteentaivutuksessa. Koko selkäranka taipuu segmenttien mukaan. (Kapandji 1997, 41.) Hawkissa sotilaslentäjän selkäranka on usein suorassa tai taivutettuna eteenpäin. Välilevyn kehän säikeiden on todettu alkavan hajota 25 ikävuoden jälkeen. Hajoaminen altistaa säikeiden repeytymisen kaikissa välilevyn kerroksissa. (Kapandji 1997, 122–123.)

Selkänikamien takana olevien fasettinivelten tehtävä on ohjata liike oikeille sektoreille. Ne voivat myös vastaanottaa painetta etenkin äärikallistuneissa asennoissa. Lisäksi ne tasapainottavat selkärankaa. Fasettinivelet ottavat vastaan noin 16 prosenttia rangan kuormituksesta ja vastustavat selkänikamiin kohdistuvia leikkaavia voimia. (Nordin & Frankel 2001, 281.)

Selkärankaa tukevat lihakset ovat lähes jatkuvasti pienessä jännityksessä ja lisäävät näin tahtomattamme selkänikamien kuormitusta. On tutkittu, että seisessa lannenikamien L3–L4 välinen paine on kaksi kertaa ylävartalon paino. Istuttaessa ilman tukea sama paine kasvaa kolminkertaiseksi johtuen lihasjännityksestä. (Cedercreutz & Hanhinen 1993, 15.)

Välilevypaineeseen vaikuttaa monta eri tekijää: Painovoima vaikuttaa vartalon massaan eri asennoissa. Myös vartalon liikkeiden vaihtuminen, erityisesti nopeasti kiihtyvissä ja suuntaa vaihtavissa liikkeissä vaikuttaa paineeseen. Lisäksi lihasten supistusvoima lisää kuormitusta välilevyihin. Selkärangan kanssa samansuuntaiset lihassäikeet pyrkivät painamaan nikamia tiukasti yhteen ja samalla välilevyn kohdistuva paine kasvaa. Massan vaikutus eri asennoissa lisää momenttivoimaa, jonka mukaan saadaan laskettua kehonosan tukipisteelle kuormitus. Lentokoneessa vartalon massaan lisätään vielä kuormituskertoimen tuoma lisä. Nopeat liikkeiden vaihtelut voivat aiheuttaa kivun tuntemuksia selässä ja niskassa. Ilmataistelulennoilla selkärangan äkillinen taipuminen eri suuntiin ja niskan osittain refleksinomaiset liikkeet lisäävät välilevyjen painetta. Vartalon lihasten supistusvoima etenkin vastaponnistuksen yhteydessä puristavat nikamia yhteen. Vartalon lihakset pitävät selkärankaa ja niskaa suorana, painovoiman vaikuttaessa. (Cedercreutz 1997, 126.)



### 3.2 Välilevyistä johtuvat selkävaivat

Selkävaivojen syyt ovat usein kaukana menneisyydessä. Ne voivat alkaa vammasta tai psyykkisistä syistä. Psyykkisiä syitä on esimerkiksi usko selkäsairaudesta. Myös pieni selän kyfoosi<sup>12</sup> tai skolioosi<sup>13</sup> voi aiheuttaa kipuja. Selän varominen ja sen käyttäminen epätavallisesti kasvattaa riskiä selkävaivoihin. Liika selän varominen voi jäykistää välilevyt ja haitata välilevyn ytimen aineenvaihduntaa. Hermostuneisuus ja koettu stressi lisäävät lihasjännitystä. Joidenkin tutkimusten mukaan stressioireet myös ennustavat selkävaivoja (Leino & Magni 1993, 89–94). Selkävun syntyvyydellä ei ole korrelaatiota ihmisen antropometrian kanssa, mikäli työnkuva on samanlainen. Yli 180 cm pitkällä miehillä ja yli 170 cm pitkällä naisilla on kuitenkin muita suurempi välilevytyrän riski. Myös ylipainoon näyttää liittyvän suurentunut välilevytyrän riski. (Cedercreutz 1997, 126. Heliövaaran 1989 mukaan.)

Tavallisin välilevyn aiheuttamana kiputila on iskias<sup>14</sup>. Iskias aiheutuu välilevyn mekaanisen paineen ja kemiallisen ärsytyksen seurauksena. Siitä lähtee liikkeelle tulehdusprosessi josta seuraa kivun säteileminen jalkaan. Akuutti selkäkipu paranee 90 prosentilla ihmisissä 6–12 viikossa. Noin 60 prosenttia saa edelleen uusiutuvia tai toistuvia välilevyperäisiä oireita. Kroonisista selkävunista 40 prosenttia arvioidaan olevan peräisin välilevyistä. (Selkäcenter [Viitattu 26.9.2006]. Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.selkacenter.fi/luettavaa/useinkysytya/81.html>>.) Myös liikunta ja venyttely auttavat pitämään lihakset ja nivelet kunnossa. Liikunnan myötä tukirankaa tukevat lihakset vahvistuvat. Myös nivelten ja välilevyjen aineenvaihdunta vilkastuu liikunnan myötä. Oikeaoppisella venyttelyllä voidaan saada selkärangan nikamavälilevyjen ytimiin päivän aikana tihkunut neste osittain palautettua. Tällä voidaan ehkäistä selkärangan vahingoittuminen kuormittavissa tilanteissa, jolloin nikamat hankaisivat toisiaan vasten. (Kapandji 1997.)

Selkänikamista usein kipuja tuottavat ulospullistuvat nikamat C5–C6, C6–C7, L4–L5 ja L5–S1. Tämä on erityinen ongelma urheilussa, missä keholta vaaditaan taivutuksia ja kiertoja. Esimerkiksi golf, pesäpallo ja voimistelu ovat tällaisia lajeja. Välilevyn

<sup>12</sup> Vastakohta lordoosille. Selkärangan mutka ”väärään” suuntaan.

<sup>13</sup> Kieroselkäisyys. Selkärangan käyristyneisyys sivusuuntaan (Ahonen & Lahtinen 1995, 294).

<sup>14</sup> Iskiaksella tarkoitetaan selkäkipua joka heijastuu alaraajaan. Kivun syynä on selkäytimestä lähtevän hermojuuren puristusoire. Se aiheuttaa hermokipua ja hermon toimintahäiriöitä. Tavallisin syy hermopuristukseen on rikkoutunut nikamavälilevy, eli välilevytyrä. (Nienstedt. 2004, 262).

vahingoittuminen tapahtuu usein selän osassa, jossa välilevyyn kohdistuu puristavia ja taivuttavia voimia. Vahingoittumiseen voi riittää hyvin pienikin liikeradan ylitys. (Hamill & Knutzen 2003, 256.) Hawkissa tällaisia taivutuksia tulee usein ilmataistelun aikana lannerangasta aina niskan ylimpään nikamaan asti. Hamill ja Knutzen eivät tarkastele kuormituskertoimen vaikutusta välilevyn vahingoittumiseen eivätkä ota huomioon lentokoneessa aiheutuvia puristusvoimia.

Ikääntymisen seurauksena välilevyn ydinosa menettää painettaan. Tämän seurauksena välilevy pääsee painumaan kasaan, jolloin välilevyn ulkokuoren säikeet taipuvat ja pullistuvat ulospäin. Nikamaväliä tukevat säikeet ovat löysemmät ja välilevyn ulkokuoren säikeisiin kohdistuvat leikkaavat voimat kasvavat. Joskus nämä voimat aiheuttavat repeämän sidekudoskehään. Repeytynyt välilevy voi heijasteoireilla pakaroihin ja jalkoihin. Välilevytyräksi (lat. discus prolapsi) kutsutaan tilannetta, jossa välilevyn rustorenkasiin syntyy kudonvaurio. Tällöin välilevynytimen neste pääsee puristumaan ulos vauriokohdasta. Ulospäässyt massa voi painaa hermoja aiheuttaen kipuja, puutumista, tunnottomuutta, voimattomuutta ja halvaantumisoireita. Lisäksi hapan neste voi tihkuessaan ulos ärsyttää kemiallisesti. Oireet voivat tuntua selässä, mutta joskus myös alaraajoissa. (Kapandji 1997, 122–125; Hervonen 1979, 52–279.)

Selkäsairauksien paranemisesta on useita eri arvioita lähteestä riippuen ja arvioita on täsmennetty vaivan mukaan. Yleensä selkäsairauksista 90 prosenttia paranevat itsestään kolmen kuukauden aikana. Oikein suunnitellulla hoidolla tai kuntoutuksella voidaan merkittävästi lyhentää parantumista. Paranemista nopeuttavina hoitomuotoina voidaan käyttää kipua ja tulehdusta vähentäviä lääkkeitä, kylmähoitoa sekä koulutetun henkilön nikamakäsittelyä. On muistettava että paraneminen on hidasta ja vaatii kärsivällisyyttä. Joskus vamma joudutaan kuitenkin leikkaamaan. Onnistuneen leikkauksen jälkeen potilas on jalkeilla muutaman päivän kuluttua leikkauksesta. Leikkauksen jälkeen kuntoutus on kuitenkin erittäin tärkeää. Leikkausmenetelmällä ei ole merkittävää eroa paranemiseen. (Airaksinen 1998, 240–243.)

Kudonvaurion paranemista ei voi nopeuttaa. Vaurioituneen alueen verenkierto alkaa korjautua noin 12 tunnin kuluttua vauriosta. Täydellinen lepo hidastaa vaurioalueen verenkiertoa ja tulehdusnesteen imeytymistä imusuoniin ja laskimoihin. Vauriokohdan tulee saada paljon happea ja ravintoa korjautuakseen. Jos parantuvaa kudosta ei

kuormiteta, syntyy heikko arpikudos joka vetäytyessään kasaan kiristää kudoksia väärään asentoon. Liikkuminen on aloitettava viimeistään viiden päivän kuluttua vaurion tapahtumisesta ja siis selän kipeytymisen jälkeen. Liikkumista pitäisi jatkaa ainakin puolen vuoden ajan, jolloin vauriokohta jatkaa aktiivista paranemista. Vaurioituneen kudoksen käyttäminen on kivuliasta, mutta se nopeuttaa paranemista ja parantaa vauriokohdan laatua. Sama pätee yhtäläillä lihakseen, ligamenttiin ja nivelpussin rakenteisiin. (Ahonen, Lahtinen, Pogliani, Saarinen, Sundström, Suovanen, Vanninen & Wirhed 1998, 95.)

Nikamavälilevyn vahingoituessa sen paraneminen on hyvin epävarmaa. Nikamavälilevyt toimivat paineen mukaan. Kevyen kuorman alla ne ovat joustavia, mutta jäykistyvät, kun kuormaa kasvatetaan. Nikamavälilevyjen ollessa kuormituksen alla, ne toimivat yhtäaikaisesti ja vaimentavat kuormaa tyynyn lailla. On olemassa kaksi heikkoa kohtaa, mistä nikamavälilevy todennäköisesti vahingoittuu. Ensimmäinen on rusto levyn takaosassa, mihin levy on kiinnittynyt. Siinä on vain ohut kerros luuta, minkä vuoksi se helposti murtuu. Toinen kohta on taaempi osa nikamavälilevystä, joka on ohuempi eikä ole kiinnittynyt yhtä hyvin kuin muut kohdat nikamavälilevyssä. Silti nikamavälilevyt pottävät harvoin suoraan suuntautuneen paineen vuoksi. Nikamavälilevyn paine kasvaa lineaarisesti kokoon puristuessaan. Kuorman tuoma paine välilevyyn on kuitenkin 30–50 prosenttia suurempi kuin itse lisätyn kuorman paino. (Hamill & Knutzen 2003, 236.)

Sotilaslentäjän selkärankaan kohdistuva kuorma ei aiheudu pelkästään kehon painosta ja kuormituskertoimesta, vaan myös lihakset aiheuttavat painetta selkärankaan. Pitkittäiset selkälihaksen ja lonkan koukistajalihas voivat supistuessaan aiheuttaa aksiaalista kompressiota. Aksiaalisen kompression aikana välilevy voi menettää 10 prosenttia nestepitoisuudestaan. Välilevyn korkeus pienenee tällöin 1,5 mm ensimmäisten 2–10 minuutin aikana riippuen kuormituksen suuruudesta. Välilevyn ohentuminen jatkuu noin 1,5 tunnin ajan, jonka jälkeen se on menettänyt 3 mm korkeudestaan. Terveen välilevyn korkeus palautuu ennalleen 2–3 tunnin kuluessa paineen helpotuksesta. Terveen välilevyn muodonmuutos on minimaalinen ja palautuminen nopeaa. (Koistinen 1998, 199–200.) On kuitenkin muistettava, että mitä pitempään kuormitus kestää, sitä suurempi välilevyvaurion riski on (Cedercreutz & Hanhinen 1993, 16). Hawkilla lennettäessä lento voi kestää yli tunnin. Istuminen huonossa asennossa suuressa kuormituksessa on riskitekijä välilevyvauriolle. 40 minuutin lento Hawkilla suurella kuormituskertoimella lyhentää selkärankaan 4,9 mm. (Hämäläinen, Vanharanta, Hupli, Karhu, Kuronen & Kinnunen 1996, 659–661.)

Vatsalihakset ovat tärkeässä roolissa alaselkäkipujen ehkäisyssä. Jos vatsalihakset ovat heikot, lantion kontrolloiminen on vajavaista ja vaikeaa. Tällöin selkänikamiin kohdistuu turhia kuormituksia. Suurilordoosi voi myös olla merkinä heikoista vatsalihaksista. (Hamill & Knutzen 2003, 259.)

Punakallio (1997, 92) kirjoittaa motorisen taidon korostuvan sellaisissa työtehtävissä, joissa edellytetään nopeaa päätöksentekoa ja tehokasta toimintaa hankalissa ja muuttuvissa olosuhteissa. Lentokoneessa nopeat kaarron vaihtelut ja kuormituskertoimen kasvaminen äkillisesti edellyttää lihasten nopeaa reagointia muuttuviin olosuhteisiin. Jos lihasten reaktio on hidas, saattavat liikuntaelimet ylikuormittua ja vammautua. Tutkimukset ovat osoittaneet heikolla reaktio- ja tasapainokyvyllä sekä ketteryydellä olevan yhteyttä liikuntaelinoireisiin etenkin selän ja niskan alueella. Motorisesti taitava henkilö käyttää liikuntaelimiään todennäköisesti vähemmän haitallisesti kuormittavissa työasunnoissa kuin taitamattomampi työtoveri. Täten hänen tapaturmariskinsä on pienempi. (Punakallio 1997, 92.) Punakallio kirjoittaa yli 45-vuotiaiden työntekijöiden hidastuneesta reaktionopeudesta ja sen vaikutuksesta työtapaturmiin. Ilmavoimien henkilöstön ei oleteta lentävän enää vanhemmalla iällä suuren kuormituskertoimen alaisia lentoja. Vanhemmat upseerit ovat muissa tehtävissä, missä pääsevät hyödyntämään kokemustaan ja tietämystään paremmin kuin hävittäjän ohjaamossa. Selkäsairaudet vaikuttavat silti työtyytyväisyyteen ja työhyvinvointiin vaikuttivatpa ne sitten ilmassa tai maassa.

Välilevyn rappeutumista voi aluksi olla vaikeaa huomata. Välilevyyn kohdistuvat puristusvoimat ovat suurempia mentäessä selkärankaa alaspäin kohti ristiluuta. Välilevy L5–S1 kannattelee kahta kolmasosaa vartalon painosta. 80 kg painavalla miehellä kannateltava paino on 37 kg. Lisäksi painetta lisäävät lihakset, jotka ylläpitävät vartalon asentoa. Tervettä välilevyä kuormittaessa 100 kg:n suuruisella massalla, se painuu kasaan 1,4 mm ja levenee hieman. Kuormituksen loputtua, välilevy palautuu takaisin alkuperäiseen muotoonsa. Sairasta välilevyä kuormittaessa se voi painua kasaan jopa 2 mm, eikä palaudu kokonaan kuormituksen jälkeen. (Kapandji 1997, 36.)

Välilevytyristä 85–95 prosenttia aiheutuu L4–L5 ja L5–S1 alueelle (Krusen, Ellwood & Kottle 1965). Tyypillisimpiä äkillisen selkävun aiheuttajia ovat kiertoliikkeet yhdistettynä eteenpäin suuntautuvaan taivutukseen. Tutkimuksissa on todettu luisen nikamarungon murtuvan ennen välilevyä silloin, kun voima kohdistuu

pystysuunnassa. Iän karttuessa välilevy rappeutuu normaalista. Jo alle 40-vuotiaiden röntgenkuvissa havaitaan ikään nähden normaaleja rappeutumismuutoksia. Tupakointi ja vähäinen liikunta nopeuttaa välilevyn rappeutumista, koska ne vaikuttavat negatiivisesti välilevyn ravinnonsaantiin. (Vanharanta 1998, 60.)

Välilevyn oireet ovat hankalia monessakin mielessä. Esimerkiksi kivun ollessa kemiallinen, kuvauksissa ei näy mitään tavallisuudesta poikkeavaa. Silti välilevyn sisäiset kemialliset muutokset voivat ärsyttää välilevyn ulkopuolella kulkevia hermoja. Nämä kivut aiheutuvat sidekudoskehän säikeiden repeämisen seurauksena. Tällainen repeämä parantuu usein itsestään. Välilevystä ulos puristuva massa voi painaa selkäydinkanavassa tai hermojuuriaukoissa kulkevia hermoja. (Grönblad 1998, 102; Kouri 1998, 73–74.)

Selkäsairaustapaukset osoittavat, että vaivoihin kannattaa puuttua. Kadettien liikuntakoulutuksen väitetään olevan puutteellista. Riski tiedostetaan ja siihen tulisi puuttua välittömästi. (Teppo 2006.) Liikuntakoulutuksen avulla kadetit voitaisiin ohjata oikeaoppisesti liikkumaan ja venyttelemään niin, että lihakset ja nivelet pysyvät kunnossa. Jokaisella tulisi olla omista tarpeista lähtevä, yksilöllinen liikuntaohjelma, jota noudattaa, koska tarve lihasten vahvistamiseen tai mieltymykset eri urheilulajeihin vaihtelevat. Liikuntakoulutuksella motivoidaan omaehtoiseen liikunnan harrastukseen.

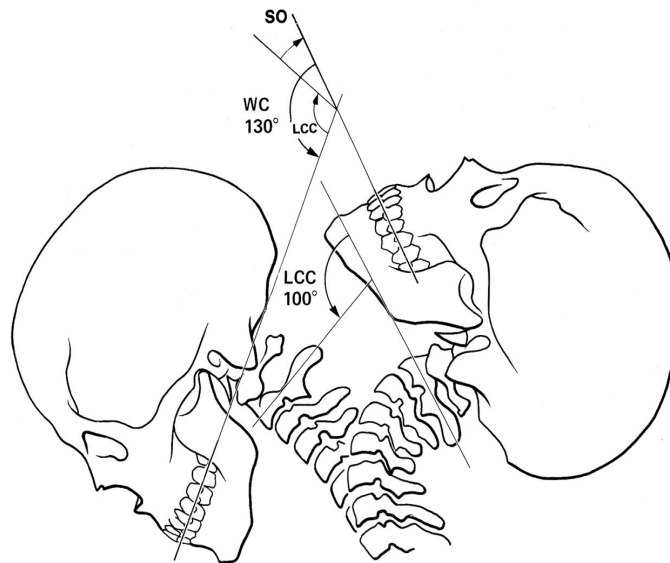
### **3.3 Kiihtyvyysoimat ja niiden vaikutus niskaan**

Niska koostuu 37 erillisestä nivelestä. Niskan kolme päätehtävää on tukea ja pitää pää paikallaan, sallia pään liikkeet ja suojata selkäydintä sekä nikamavaltimoa. Kaularanka muodostuu seitsemästä nikamasta. Sen voi jakaa ylä- ja alaniskaan. (Virtapohja 1997, 49.) Kaularangan kahdella ylimmällä nikamalla C1 ja C2, rakenne on erilainen kuin missään muualla selkänikamissa. Tämä kohta muodostaa liikkuvimman osan kaularangasta. C1 nikamalla ei ole selkänikaman runkoa vaan se on sormuksen muotoinen. C1 nikamassa on tavallista laajemmat aukot verisuonia varten, jotta suonet eivät joutuisi puristuksiin niskan taipuessa ääriasentoihin. (Hamill & Knutzen 2003, 238–241.)

Kaularangan seitsemän ylintä nikamaa muodostavat selkärangan liikkuvimman osan. Ylin nikama on rengasmaisen ja siinä tapahtuu suurin pään nyökkäämisliike (10–15

astetta). Toisessa nikamassa tapahtuu suurin pään kierto-liike. Näitä kahta tärkeää nikamaa suojataan suurella määrällä nivelsiteitä ja lihaksia. (Cedercreutz & Hanhinen 1993, 20.) Kuorman kohdistuessa niskaan ylhäältä alaspäin, sen sivuttaistaivutus rajoittuu huomattavasti (Virtapohja 1997, 49).

Kaularangan yläosan suuri liikkuvuus johtuu useista pienistä nikamista. Välilevyn paksuus kaularangassa on 3 mm ja lannerangassa 9 mm. Näin ollen kaularankaan kohdistuvat rasitukset ovat myös melko pieniä. (Cedercreutz & Hanhinen 1993, 14–15.) Pelkästään niskassa on 37 eri niveltä ja kaularangassa niveliä on 7 (Virtapohja 1997, 46). Kaularangan rakenne on monimutkaisempi kuin selkärangan. Se sisältää paljon pieniä luita ja niveliä. Kaularanka koostuu kahdesta anatomisesti ja toiminnallisesti eroavasta osiosta. Yläosan rakenne on monimutkainen, mikä mahdollistaa laajat liikkeet kolmen akselin suhteen. Yläosa käsittää kaksi ylintä nikamaa ja niiden sekä kallon pohjan väliset nivelet. Kaularangan alaosa liikkuu pääsääntöisesti vain eteen, taakse ja sivulle. (Kapandji 1997, 170.)



Kuvio 9. Kaularangan liikkuvuus (Kapandji 1997, 215).

Kaularangan kokonaisliike (WC, whole cervical column) on noin 130 astetta, kun vertailutasona pidetään purematasoa. Kaularangan yläosa (SO, suboccipital column) taipuu 30–40 astetta. Kaularangan alaosa taipuu (LCC, lower cervical column) 90–110 astetta. (Kapandji 1997, 214.) Voidaan olettaa, että mitä liikkuvampi joku paikka on, sitä vähemmän se kestää kuormituksia. Kaulan ja niskan seudulla on suuria ja pieniä syviä lihaksia. Pinnassa olevat suuret lihakset pystyvät liikuttamaan päätä suurella voimalla. Syvällä olevat lihakset reagoivat nopeasti pään eri asentoihin ja

tahattomiin heilahduksiin tukien kaularankaa. (Kapandji 1997, 228–244.)

Istuma-asennossa normaali katseen suunta on 15 astetta silmän vaakatason alapuolelle (Liite 1). Ensisijainen katselukulma istumatyössä on 30 astetta vaakatasosta alaspäin. Toissijainen katselualue on 30–40 astetta vaakatasosta alaspäin. (Cedercreutz & Hanhinen 1993, 27.) Tarkasteltavien lentokoneiden heittoistuinten kallistuskulmat ovat takakenossa, jotta ensisijainen katselualue suuntautuisi lentämisen kannalta tärkeimpien kohteiden suuntaan. Ihminen pystyy näkemään värit vaakatasossa 30 astetta vaakatasossa sivuille, kun katse on suoraan eteenpäin (Työterveyslaitos 1974, 7).

Vapaavuoren ja Sorsan (2001) mukaan tärkeitä seikkoja ergonomian kannalta on muun muassa katseluetäisyys ja katselutaso. Katselutason tulisi olla mieluiten kohtisuora näkölinjaan nähden. Vapaavuori ja Sorsa eivät tarkenna, mitä he tarkoittavat katselutasolla. Mikäli tarkoituksena on katsoa suoraan eteenpäin pään ollessa normaaliasennossa, tulee ristiriita parhaan katselualueen rajoista. Lentokoneissa jotka ovat varusteltu HUD<sup>15</sup> näytöllä, katse tulee suunnata suoraan eteenpäin. Esimerkiksi Hawk Mk51:n vyöttäytymisohjeessa tulee pään asento olla siten, että katse on suoraan eteenpäin tähtäimen läpi. Tämä ei taas ole ergonomisesti paras ratkaisu suhteessa heittoistuimen asentoon.

Ihmisen näkökenttä vaakatasossa on 200 astetta. Ensisijaisen katselualueen laajuus on 40 astetta (Liite 2). Tällä alueella tulisi sijaita jatkuvasti katsottavat kohteet. Lentokoneissa joissa on HUD, tämä kriteeri on täytynyt. Tähän 40 asteen alueelle sijoittuu myös varoitusvalot, jolloin sotilaslentäjä pystyy heti havaitsemaan syttyvän valon. Tämän sektorin ulkopuolella on 110 asteen sektori jolle tulisi olla sijoitettuna harvemmin katsottavat kohteet. (Cedercreutz & Hanhinen 1993, 27.) Harvemmin katsottavia kohteita on vaikea määritellä, mutta tietyissä konetyypeissä tämän alueen käyttö on lähes yhtä aktiivista kuin 40 asteen sektorin käyttö. Sotilaslentäjän huomion keskipiste ohjaamossa riippuu myös lennettävästä tehtävästä. Esimerkiksi mittarilennolla pilven sisällä, katse pysyy tiukasti mittareissa. Silmän etäisyys näyttölaitteista tulisi olla 71–78 cm (Vapaavuori ym. 1992, 127–129).

Niskan taipuminen yli 30 astetta eteenpäin on eräänlainen kynnyks, jolloin niskakipujen esiintyvyyttä kasvaa huomattavasti. Pään ollessa 30 astetta kallistuneena

---

<sup>15</sup> HUD (eng. head up display) on läpinäkyvä lasi, minkä läpi lentäjä näkee suoraan eteenpäin. HUD:lle heijastuu lentämisen kannalta tärkeimmät tiedot kuten nopeus, korkeus ja suunta.

eteenpäin, käytettävä voima on noin 25 prosenttia niskalihasten tuottamasta maksimivoimasta. Niskan asento vaikuttaa myös L5/S1 välilevypaineeseen, johtuen muuttuneesta istuma-asennosta. (Chaffin, Andersson & Martin 1999, 420–422.)

Lyhytkestoiset kiihtyvyydet (Gx) ja erityisesti hidastuvuudet esiintyvät törmäyksissä. Näistä törmäysvoimista voi aiheutua murtumia ja ruhjeita. Niska joutuu muuta kehoa kovemmalle rasitukselle kannatelllessaan päätä. (Kuronen ym. 1992, 132–134.) Hävittäjälentäjillä on ilmennyt tukirangan ja erityisesti niskan alueen kipuongelmia, jotka ovat johtaneet tilapäisiin tai jopa pysyviin lentopalveluksen rajoituksiin (Vapaavuori ym. 1992, 137–141).

Niskan vammat syntyvät suurimmaksi osaksi piiskaniskuvammoista. Potilas kuitenkin paranee nopeammin, jos vammoja hoidetaan aktiivisesti, esimerkiksi harjoittamalla lihaksia. (Heikkilä 1998, 120–123.) Kaularangan maksimaalinen liikealue on C5–C6 liikesegmentissä (17 astetta). Sitä voidaan pitää kaikkien kuormittuvimpana ja herkimmin vahingoittuvimpana segmenttinä kaularangan alueella. (Koistinen 1998, 348.)

Suomessa testattujen sotilaslentäjien akuutit niskakivut näyttäisivät korreloivan lentotuntimäärien kanssa. Mitä enemmän lentotunteja on takana, sitä enemmän niskakipuja on esiintynyt (Hämäläinen 1993, 53). Voidaan olettaa, että kipuja ei yhtäkkiä synny niskaan, jos se ei ole ollut altistuneena pitkiä aikoja kovalle paineelle. Kaularangan välilevyjen kulumamuutoksia on tietyin ehdoin jo todettu sotilaslentäjien ammattitaudiksi (Kuronen & Myllyniemi 1996, 11).

Gellerstedt ym. (1999, 18) määrittelevät pään ja niskan optimaalisen liikeradan pään taaksetaivutuksessa viideksi asteeksi, mutta lyhytaikaisesti jopa 40 asteeksi. Pään optimaalinen kiertäminen sivulle on 30 astetta ja hetkellinen maksimi saa olla 50 astetta. Niskan vammautumisen riskiä lisäävät äkilliset toistuvat nopeuden ja suunnan muutokset. Kerran syntyneellä vammalla on taipumus toistua.

Heittoistuinhyppässä kuormituskerroin moninkertaistuu suhteessa normaalitilanteeseen. Tällöin niskan ja hartian seudulle kohdistuu suuria rasituksia. Esimerkiksi Mig-21:n sotilaslentäjään kohdistuu 20G:n voima hyppytilanteessa (Visuri & Aho 1990, 80). Suomessa tehtyjen heittoistuinhyppyjen perusteella voidaan todeta, että suurin osa hypänneistä sotilaslentäjistä on saanut jonkinasteisia niskan vammoja. (Visuri & Aho



1990, 80.) Äkillinen G:n kasvu heittoistuinhyppyssä on nykyisin pienempi kuin vanhoissa lentokoneissa.

Heittoistuinhypyn lähtöhetkellä sotilaslentäjän tulee olla tiukasti ohjaamotuolissa, hartiat ja pää kiinni selkänojassa. Tällöin ylävartalo ei retkahda vaarallisesti eteenpäin. Tuolin oikea asento jakaa heittoistuinhyppyssä lähtöimpulssin tasaisesti selkärankaan. Selkärangan kuormitusta onkin alennettu muuttamalla lähtökiihdytys portaittaiseksi. (Visuri & Aho 1990, 85.) Esimerkiksi heittoistuinhyppyssä vartalon ollessa suorassa, nikaman murtuminen tapahtuu noin 18 G:llä. Jos vartalo on eteenpäin kallistuneena, nikaman murtumispiste on lähempänä 10 G:tä. Nikamamurtumat on löydetty heittoistuinta käyttävien selästä T10–L2 tasolta. (Visuri & Aho 1990, 80–85.)

Ilmataisteluliikerdinnän aikana esiintyy pään taakse taivutusta samalla, kun päätä työnnetään eteenpäin. Tämä johtuu rajoittuneesta mahdollisuudesta tähystää takasektoriin, jonne vihollinen pyrkii hakeutumaan. Hävittäjälentäjä joutuu kääntämään päätään ääriasentoon yli 90 astetta ilmatilaa tarkkaillessaan, vaikka lentokoneen ohjaamoissa on peilejä parantamassa näkyvyyttä taaksepäin. Yli 50 asteen päänkääntämistä esiintyy myös osastolennoilla. Osaston koosta ja muodosta riippuen, sotilaslentäjä joutuu tähystämään muita koneita hetkellisesti taakse. Tähystäminen on tärkeää törmäysten estämiseksi sekä muiden lentokoneiden paikannuksen vuoksi. Suuren kuormituskertoimen alla sotilaslentäjän pään paino saattaa yltää ”sementtisäkin” tasolle (Ilmavoimien lentävän henkilöstön liikuntakoulutustyöryhmä 1998 cd-rom). Cedercreutzin ja Hanhisen (1993, 23) mukaan niskan taakse taivuttaminen ja kiertäminen yhtä aikaa voivat häiritä hermojen toimintaa ja verenkiertoa.

Vartalonpyöriyksen ja niskan pyöriyksen sanotaan olevan vaarallista. Vartalonpyöriyksen haitoista ei ole todisteita toisin kuin niskanpyöriyksestä. Pään kiertoliikkeet ovat vaarallisia, jos niitä tehdään liian nopein liikkein. Tällöin ohitetaan alueet, joilla nivelsiteet ja nivelrustot ovat kuluneet. Niskaa voidaan taivuttaa vinosti taaksepäin yhtä paljon kuin muihin suuntiin. Kuviossa 10 varjostetut pinnat ovat vaarallisia alueita, joiden kautta pää pakotetaan kulkemaan sitä kierrettäessä nopeasti. (Ahonen, Lahtinen, Pogliani, Saarinen, Sundström, Suovanen, Vanninen & Wirhed 1998, 233.)



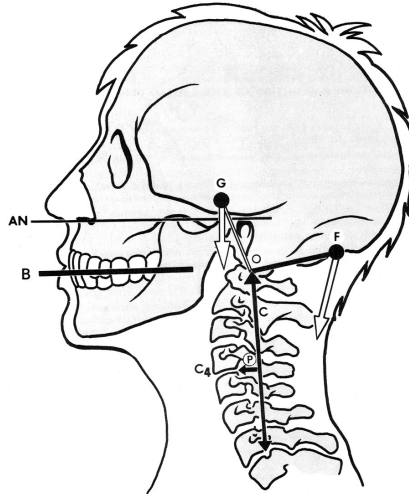
Kuvio 10. Pään kiertoliikkeen vaaralliset alueet kuvattuna ylhäältä (Ahonen ym. 1998, 228).

Ilmataistelun aikana niskan kuormittumista voi ehkäistä tekemällä pään liikkeet oikein. Vihollisen tähyttäminen takasektorista lienee yksi kuormittavimmista pään liikkeistä ohjaamossa. Kuormitusta voi vähentää kääntämällä päätä ensin sivulle ja sen jälkeen taivuttaa niskasta siten, että katse on mahdollista suunnata takasektoriin. Pään liikuttaminen (kuvio 10) vaarallisten alueiden läpi kasvattaa niskan kuormittumista.

Hämäläisen (1993, 64) mukaan niskalihaksilla ei ole vaikutusta akuutin niskakivun syntyyn. Hän epäilee, että niskaan kohdistuvat voimat ovat niin suuret, ettei edes voimakas niska pysty estämään ylikuormitusta. Eklundhin (1978, 89) mukaan voimakkaat lihakset ovat kuluneiden nivelten paras suoja. Voidaan olettaa, että vamman syntymän jälkeen lihaksien monipuolinen vahvistaminen on ensiarvoisen tärkeää. Niskan ja selän lihaksistoon kuuluu suuria näkyviä lihaksia ja pieniä piilossa olevia lihaksia. Suurimman tuen antavat pienet lihakset (Kyrklund 2002, 375). Syvien lihasten tukivaikutus perustuu niiden nopeaan reaktiokykyyn muuttuvissa olosuhteissa. Ne ovat herkkiä lihaksia ja aktivoituvat nopeammin kuin pinnalliset lihakset ja antavat näin suojaa kaula- ja selkärangalle. (Virtapohja 1997, 64–65.) Kevyempi kypärä vähentää niskaongelmia, mutta ei estä niitä. Tähän ei saa tyytyä, vaan ratkaisu tulisi löytää heittoistuimen ergonomiasta tai niskaan kohdistuvasta tuesta.

Pää muodostaa vipusysteemin. O-tukipiste sijaitsee nastojen tasalla. Päähän kohdistuva G-voima muodostuu pään painosta, joka pyrkii jatkuvasti taivuttamaan

päätä eteenpäin. F-voima muodostuu taaemmista niskalihaksista, jotka tasapainottavat pään painoa. Koska niskalihasten pitää jatkuvasti kannatella päätä, se selittää niskalihasten voimakkuuden suhteessa kaularangan lihaksiin. (Kapandji 1997, 216.) Pään tasapainon jakautumisen huomaa esimerkiksi istualleen nukahtaessa, kun pää nytkähtää eteenpäin niskalihasten rentoutuessa.



Kuvio 11. Pään painopiste on muutaman senttimetrin ylimmän kaulanikaman etupuolella (Kapandji 1997, 216).

Kaularangan rappeutumisen kasvanut riski on muun muassa hammaslääkäreillä, kaivosmiehillä, lihankantajilla ja fyysisen raskaan työn tekijöillä yleensä. Yhteisenä tekijänä näillä ammattiteilla on suuri biomekaaninen kuormittuminen, kuten etukumara pään asento, suuri lihasjännitys ja kypärän paino. (Kukkonen & Takala 2001, 147–150.)

Kaularangan välilevyvaurioita on tutkittu autokolarien yhteydessä. Peräänajossa niska retkahtaa ensin toiseen suuntaan ääriasennon yli ja sen jälkeen toiseen suuntaan ääriasennon yli. Tätä kutsutaan nimellä whiplash eli retkahdusvamman. Akuuteista retkahdusvammojen oireista valtaosa paranee kuudessa viikossa. ”Vuoden kuluttua vammasta oireilua esiintyy arviolta 10 prosentilla potilaista. Retkahdusvamman saaneilla potilailla ei ole havaittu poikkeavia löydöksiä välilevyissä, tai poikkeavien löydösten esiintyvyys on vain marginaalisesti suurempaa. Valtaosassa retkahdusvammapotilaita oireiden syynä lienee muu kuin pelkkä välilevyvaurio.” (Taimela 2002, 200.) Tästä voidaan päätellä, että mahdolliset lentokoneessa syntyneet whiplash - vammat paranevat ajan kanssa, jos maltetaan pitää riittävä tauko suurilla kuormituskertoimia sisältävistä lennoista. Tämän vuoksi

jokaisen sotilaslentäjän tulisi olla aktiivinen varsinkin niskan oireiden suhteen. Yleensä lentokoulutusohjelma on niin tiivis, että pitkään lepoon ei ole mahdollisuutta. Lentokoneissa whiplash – tyyppisiä vammoja syntyy äkillisesti kasvavan kuormituskertoimen johdosta. Vamman vakavuus riippuu muun muassa pään kokonaispainosta ja asennosta. Näihin vaikuttavat kypärä, tähtäin, näytöt ja pimeänäkölaitteet. (Ernsting, Nicholson & Rainford 1999.) Tutkimusten mukaan niskan eteen- ja taaksepäin kohdistuvia suuria kiihtyvyysoimia syntyy lentokoneen lentotukialuslähdeissä ja -laskuissa. Gx-voimat kasvavat hetkellisesti yli 3 G:n. Suomen puolustusvoimilla ei ole lentotukialuksia.

### **3.4 Kiihtyvyysoimat ja niiden vaikutus selkään**

Ihminen on lajina nuori. Emme ole kävelleet aina pystyasennossa ja selkäranka ei ole vielä ehtinyt täydellisesti sopeutua siihen. Tätä on pidetty yhtenä syynä lanne- ja selkävaivojen yleisyyteen. Vartalon rakenne on kuitenkin sopeutunut pystyasentoon. Siitä ovat merkinä selkärangan mutkat ja rintakehän muoto. (Nienstedt, Hänninen, Arstila & Björkqvist. 2000, 18.)

Hävittäjälentäjän työn tekee raskaaksi suuri kuormituskerroin, vaikka istuma-asento olisikin hyvä. Oletetaan sotilaslentäjän saavuttavan kahdeksan G:n kuormituskerroin lennolla, mistä voidaan laskea 90 kilogrammaa varusteineen painavan henkilön todellinen massa:  $90 \text{ kg} \times 8 \text{ G} = 720 \text{ kg}$ . Täten sotilaslentäjän kokonaispaino on 720 kilogrammaa. Cedercreutz ja Hanhinen (1993, 16) kirjoittavat, että terve välilevy kestää 700–800 kilogramman kuormituksen ennen kuin se vahingoittuu. Kapandjin (1997, 108) mukaan vanhoilla ihmisillä 450 kilogrammaa murskaa välilevyn. Terveessä selässä on kaksi mutkaa, toinen alaselässä ja toinen lähellä kaulaa. Jos mutkat oikenevat, selän kestävyys laskee ja välilevypaine nousee (Liite 3). (Koistinen 1998. 37–52). Hamillin ja Knutzenin (2003, 246) mukaan lanneranka kestää 9800 Newtoa kunnes vahingoittuu. 2/3 selkärangoista vahingoittuu kuormituskertoimen kasvaessa yli 26 G:n. Silti 10–12 G:tä voi jo vahingoittaa selkää, mikäli istuma-asento ei ole täysin suora (Ernsting, Nicholson & Rainford 1999, 882–883).

Pitkällä aikavälillä huonon istuma-asennon vaikutukset kohdistuvat tukielimistöön. Näitä vaivoja on vaikea havaita, kunnes vaurio vaikuttaa jo normaalielämään. Altistuminen suurelle G:lle sekä vastaponnistus kohdistavat tukielimistöön suuren kuormituksen. Pitkät ajat suurten kuormituskertoimien alla voivat aiheuttaa välilevyn

pullistumia tai repeämiä. Nämä syntyvät varsinkin silloin, jos pää pääsee retkahtamaan. (Kanninen & Rintala 1996.) Nordinin ja Frankelin (2001, 291) mukaan selkäranka kestää paremmin äkillisiä kokoonpuristavia voimia kuin jatkuvaa painetta, johtuen biomekaniikan periaatteista ja nesteiden viskositeetista.

Selkärangan eteentaipumisen vastustavasta voimasta 70 prosenttia tulee nikamien välisistä nivelsiteistä ja 30 prosenttia välilevyistä. 18 prosenttia lannerangan paineesta johtuu pään ja vartalon painosta. Loput välilevyjen paineesta on lihasten kehittämää. (Hamill & Knutzen 2003, 246.) Mikäli selkä taipuu mutkalle eteenpäin niin, että lannerangan lordoosi oikeaa, selkään kohdistuu tavallista suurempi paine (Liite 4). Myös lannerangan jousto-ominaisuudet huononevat, eikä välilevyihin kohdistuva paine ole tasainen. Tällöin välilevyjen etuosat kuormittuvat liikaa ja paine suuntautuu taaksepäin. (Ahonen & Lahtinen 1995, 294.) Voidaan tarkastella tilannetta, jossa ihminen nostaa 25 kilogramman painon maasta suoralla selällä suhteessa nostoon selän ollessa köyryssä. Selän ollessa suorana, lannerangan välilevyihin kohdistuu 150 kilogramman paine. Selän ollessa köyryssä vastaava paine on 550 kilogrammaa. (Nienstedt ym. 2000, 113.) Tästä voimme arvioida minkälaisia kuormituksia selkä joutuu kestäämään lentokoneessa, mikäli asento on eteenpäin kaareva ja selkä köyryssä. Lannerangan lordoosin tulisi ehdottomasti säilyä, jotta välilevyjen paine laskisi siedettävälle tasolle. Liitteessä 4 on kuvattu lannerangan lordoosin muuttumista eri asennoissa. Selkärangan mutkien rajapinnat omaavat usein suuren liikkuvuuden, ja ovat myös helpoiten vaurioituva alue. Jos lordoosit ovat liian isoja, ranka on liikkuvampi. Jos mutkat ovat tasaisemmat, ranka on tällöin kankeampi. ( Hamill & Knutzen 2003, 234.)

Silloin, kun istuma-asento on etukumara ja kiertynyt, kestojännitys selän lihaksissa aiheuttaa lihasväsymystä ja kipeytymistä. Epätasainen kuormittuminen rappeuttaa välilevyjä ja muita nivelpintoja. Äkillisten repäisevien liikkeiden ja voimaa vaativien ponnistusten vaikutukset etenkin etukumarassa ovat verenkiertoelimistön ja liikuntaelinten kuormittuminen äkillisesti ja voimakkaasti, sekä venähdysten ja revähdysten vaara, jolloin toistuvat pikkuvammat saattavat rappeuttaa selän kudoksia ja heikentää selän toimintakykyä. (Kukkonen 1993, 15.) Kerran syntyneellä välilevyn vammalla on taipumus toistua. Rasituksen jatkuessa pienet sisäiset repeämät eivät ehdi parantua ja myöhemmin ne voivat kasvaa, jolloin seurauksena on välilevytyrä. (Aho ym. 1990, 78.) Kapandjin mukaan (1997, 250) välilevytyrä on harvinainen kaularangan alueella. Kaularangassa välilevyt eivät voi työntyä taakse

sivuun nikamien hakalisäkkeiden vuoksi.

Positiivisen G:n fysiologiset vaikutukset pitkällä ajanjaksolla ovat tukirangan ja lihasten kiputilat, lihasrepeämät ja nikamien välilevyjen muutokset (siirtymiä tai murtumia). Tupakoinnin vaikutusta ei ole tutkittu lentämisestä johtuvien selkä- ja niskavaivojen aiheuttajana, mutta on olemassa viitteitä siitä, että tupakointi lisää selkäsairauksia ja myös niska-hartia-vaivoja. Tämä johtuu tupakan heikentävästä vaikutuksesta välilevyjen aineenvaihduntaan. (Cedercreutz & Hanhinen 1993, 7.)

## 4. ISTUMISTA KUORMITTAVAT JA HELPOTTAVAT TEKIJÄT OHJAAMOSSA

”Tiettyä tarkoitusta varten suunniteltu tuoli ei ole välttämättä sopiva toiseen työhön. Tiettyä yksilöä varten säädetty tuoli ei ole välttämättä sopiva toiselle. Oikein suunniteltua ja hyvinkään säädettyä tuolia ei voida käyttää pitkiä jaksoja yhtämittaisesti.” (Bouisset 1988, 86.)

### 4.1 Tutkimukset hyvästä istuma-asennosta

Sotilaslentäjä joutuu työskentelemään paljon ahtaassa ohjaamossa, joka on suunniteltu suureksi osin aerodynamiikan ehdoilla. Lentokoneen ohjaamon laitteistot ovat liian usein suunniteltu tekniikan ehdoilla ja sotilaslentäjien on oletettu sopeutuvan niihin tehokkaan koulutuksen myötä. Ergonomian merkitystä tulee korostaa. (Vapaavuori & Sorsa 2005, 118.)

Hyvälle istuma-asennolle on monia määritelmiä: Selkänojan tulee olla tukeva ja helposti säädettävä, ja istuinpinnan etureunan alaspäin kaareva. Kantapäiden tulisi tukevasti jalkatuella. Asento ei saa olla kiertynyt, kumartunut eikä jännittynyt. (Työterveyslaitos 1999.) Lisäksi 2/3 reisistä pitää mahtua istuimelle (Eklundh 1978). Istuimen etureunan alaspäin kaarevuus vähentää reisien takana olevien lihasryhmien ja niiden sisällä kulkevien suonien kiinnipuristumismahdollisuutta (Koskela 1970, 128–129).

Bouissetin (1988, 72–88) mukaan luonnollinen istuma-asento selkänojallisessa tuolissa on sellainen, jossa istumapinta on vaakasuorassa, istuimen syvyys on rajoitettu siten, että se tukee kolmasosaa reidestä ja istuin on korkeudella, jossa reisi on vaakasuorassa muodostaen 90 asteen kulman säären kanssa jalkapohjien tukiessa lattiaan. Jalkapohjien ollessa tukevasti lattiassa, ne kannattelevat 16 prosenttia ruumiinpainosta. Istuimen tulisi olla kallistettu taaksepäin 3–5 astetta ja selkänojan noin 105 astetta istuinpinnasta taaksepäin. Tällainen istuma-asento on kuitenkin lentokoneessa lähes mahdoton toteuttaa. Hyvän G-sietokyvyn kannalta jalat eivät myöskään voi olla 90 asteen kulmassa alaspäin, vaan jalkojen tulee olla etuviistossa mahdollisimman korkealla. Tämä laskee jalkojen suurten lihasten ja sydämen välimatkaa korkeuden suhteen. Pieni välimatka korkeuden suhteen on tärkeää jännittäessä jalkoja suurten kuormituskertoimien alla. Jalkojen suuret lihakset puristavat jännittyessään verta ylöspäin ja näin helpottavat veren kulkeutumista

aivoihin toimintakyvyn ylläpitoa varten. Alaraajojen jännittyneet lihakset estävät myös veren pakenemisen jalkoihin, jolloin ylävartalossa ja aivoissa on riittävästi verta käytettävissä.

Vaikka Bouissetin (1988) mielestä istuimen tulisi olla vaakatasossa, Kroemer ja Grandjean (1997, 74) ovat sitä mieltä, että istuimen tulisi olla kallistettu hieman eteenpäin, jotta lannerangan lordoosi muodostuisi helpommin. Muut lähteet vahvistavat, että selkä kestää paremmin kuormituksia, mikäli lannerangan lordoosi säilyy. Lordoosin koko vaihtelee ihmisen mukaan.

Erilaiset tuet ja selkänojat säästävät istuma-asennossa energiaa. Hyvät tuet helpottavat lihaksien tekemän työn määrää. Jos lannerangan lordoosia saadaan pidettyä yllä tuen avulla, on tuki merkityksellinen istuma-asennon kannalta. Pitkään kestävä paikallaan olo on haitallisempaa kuin vähäiset puutteet työasennossa. (Bouisset 1988, 85–86.) Gellerstedtin ym. (1999, 24) mukaan pitkäaikainen istuminen samassa asennossa aiheuttaa merkittäviä selkävaivoja. Erityisen tärkeää olisi saada lannerangan notkolle riittävästi tukea. Lantion ja keskiruumiin välisen kulman kasvu vähentää selän kuormitusta.

Lentokoneen ohjaamotyöskentelyn asento on lähellä työtä, joka vastaa ergonomian osalta kaupan kassatyötä ja näppäimistön käyttöä. Työ vaatii käsien esteetöntä liikettä. Työtason tulisi olla muutamia senttejä kyynärpäitä alempana, jotta ranteiden asento on hyvä ja käsiä voidaan liikuttaa hartioita kohottamatta. (Cedercreutz & Hanhinen 1993. 25–26.)

Lentokoneen ohjaamot on suunniteltu siten, että ohjaimiin ja ensisijaisiin laitteisiin pääsee käsiksi kurkottamatta. Kyynärpäiden asentoon on liki mahdoton vaikuttaa lentokoneessa, jossa heittoistuin liikkuu pääsääntöisesti vain ylös ja alas. Myös jalkatilan leveys ja istuimen leveys ovat vakiot eivätkä ne ole muutettavissa. Ergonomian suositusten mukaan olkavarren ja kehon välinen kulma ei saisi ylittää 30 astetta. Jalkatilan olisi oltava vähintään 80 cm leveä ja istuimen leveyden oltava 45 cm. Istuimen korkeuden säädön tulisi olla vähintään 15 cm. (Teollisuusergonomia 1992, 51.) Työterveyslaitoksen (3/1993) mukaan jalkatilan leveyden tulisi olla 50–60 cm. ”Istuimen selkänojan tulee noudattaa anatomisesti selän muotoa ja tältä osin sen tulee olla säädettävä.” (Visuri & Aho 1990, 85). Koska jokaisen ihmisen selkä on hieman erilainen, saman paksuinen selkätuki ei sovi kaikille. Täten heittoistuin ei voi



noudattaa jokaisen sotilaslentäjän selän muotoa ilman henkilökohtaista selkätukea.

Hämäläinen (1993) toteaa, että lentokoneessa istuminen eroaa täysin normaalista istumatyöstä. Hän perustelee väitettään sillä, että lentokoneessa G-voimat painavat hävittäjälentäjää heittoistuinta vasten. Sotilaslentäjä joutuu jännittämään vastaponnistuksessa maksimaalisesti kaikkia lihaksiaan useita sekunteja muutaman sekunnin jaksoissa. Tällöin lihasten staattisen työn kesto on lyhyempi kuin normaalissa istumatyössä. Tämän vuoksi ergonomisia suosituksia ei voida soveltaa lentokoneessa, jossa sotilaslentäjä joutuu korkean kuormituskertoimen alaiseksi. Hämäläinen kirjoittaa lisäksi, että hävittäjälentäjien niskassa eniten rappeutumia on välilevyjen C3–4 kohdalla. Koistisen (1998, 348) mukaan vaurioita syntyy eniten välilevyjen C5–6 kohdalle. Tuloksista voidaan olettaa, että nopeasti syntyvät niskavammat syntyvät alueelle C5–6 ja pitemmällä aikavälillä C3–4 rappeutuvat ensin.

Kukkosen ja Ketolan (2002, 276) mukaan niska-hartiaseudun ja yläraajojen sairastumisen riskiä lisäävät fyysiset tekijät ovat raskas ruumiillinen työ, taakkojen käsittely, vartalon kumarat ja kiertyneet asennot, staattinen työasento, istuminen, toistuva tai kauan kestävä asento ja pitkäaikaiset toistoliikkeet. Lentokoneessa näistä tekijöistä vaikuttavat istuminen, staattinen työasento, kumara ja kiertynyt asento. Näiden perusteella sotilaslentäjä on riskiryhmässä saada niska-hartiaseudun sairauksia.

Lihasten voimantuotto on suurimmillaan silloin, kun ne ovat rentoutuneina, ei siis venyneinä tai kokoonpuristuneina. EMG -mittauksissa on todettu selkälihasten olevan rennoimpina kun korkeahko selkänoja on kallistettu taaksepäin siten, että vartalon ja reiden välinen kulma on 105–120 astetta. Mikään tuoli ei ole osoittautunut yliverlaiseksi ergonomialtaan, vaan sopivuus riippuu työtehtävästä ja tuolin käyttäjästä. Tärkeää on ottaa huomioon työn sisältö, työtila, käyttäjän työskentelytyyli, sekä koko ja ruumiinrakenne. (Kukkonen 1998, 417.) Optimaalinen polvikulma on 110–120 astetta (Tilley 2002).

Ilmavoimissa on mahdotonta ottaa huomioon jokaisen sotilaslentäjän mieltymyksiä ja ruumiinrakennetta lentokoneessa istumiseen liittyen. Niinpä antropometriset kriteerit täyttävien sotilaslentäjien on katsottu sopeutuvan käytössä olevien lentokoneiden istuimiin.

## 4.2 Tutkimukset hyvän istuimen ominaisuuksista

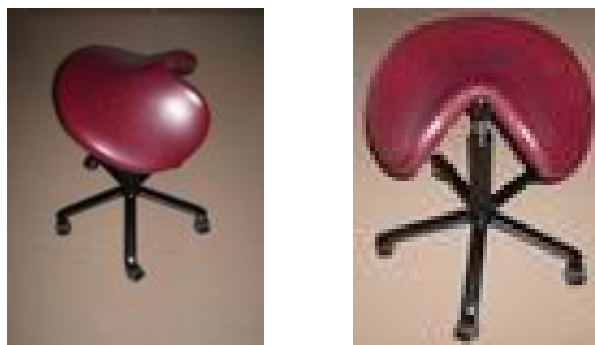
Työtuolit ovat kehittyneet paljon viime vuosina ja työskentelyergonomiaan on kiinnitetty työpaikoilla yhä enemmän huomiota. Tiedetään, että selkänöjan on tuettava ristiselkää, jolloin selkäkipujen riski vähenee. Onkin kehitetty selkätuki, jonka voi helposti kiinnittää tuolin selkänöjaan. (Työterveyslaitos [Viitattu 4.12.2006]. Saatavilla www-muodossa: <URL:<http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Ergonomia/Tyokalut/jalkaselkatuet.htm>>.)



Kuvio 12. Tuolin selkänöjaan kiinnitettävä selkätuki.

Siirrettävä selkätuki voisi sopia myös lentokoneisiin, joissa lannerangan lordoosilla on taipumus suoristua liitteen 4 mukaisesti eri asennoissa. Jokainen sotilaslentäjä kantaisi selkätukea mukanaan ja kiinnittäisi sen alaselkäänsä lennolle lähtiessä, jolloin selkävaurioita ja mahdollisilta pysyviltä vaivoilta säästyttäisiin. Toimistotyöhön kehitettyä ergonomista ratkaisua voi hyödyntää teoreettisesti lentokoneisiin. Väitettä tukee liitteen 3 kuvaus välilevypaineesta erilaisissa istuma-asennoissa.

Satulatuoli on kehitetty pitämään lanneranka oikeassa asennossa. Satulatuolin korotettu takareuna kallistaa lannerangan yläosaa eteenpäin, jolloin lordoosi ei pääse suoristumaan.

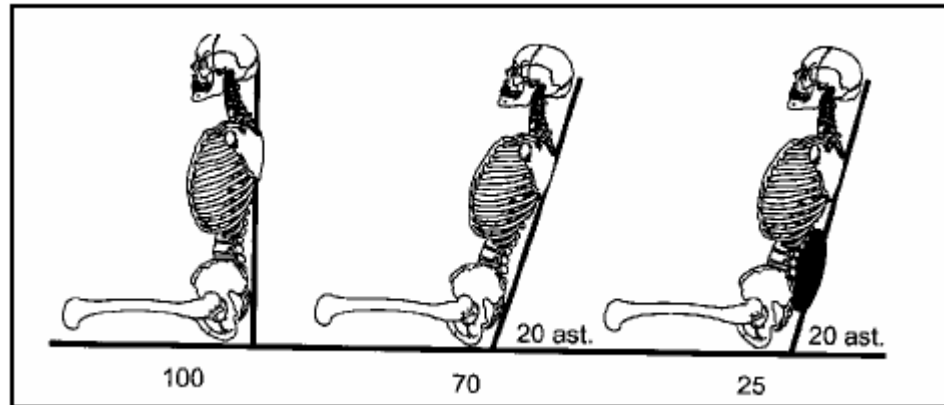


Kuvio 13. Satulatuolin mallit

Alaselän välilevyjen paine on suurin, kun istutaan suorassa kulmassa ja pienin, kun ihminen on pitkällään makuuasennossa (Eklundh 1978, 46–47). Jos lanneselän kohdalle laitetaan tuki, paine pienenee. Selkänokjaa kallistettaessa 30 astetta taaksepäin 110 asteeseen, välilevyjen paine pienenee entisestään. Lannerangan tuki pienentää painetta lisää. Säädetty selkänokja mahdollistaa kaltevuuden ja korkeuden asettamisen sopivaksi. Hyvässä istuma-asennossa voi liikkua esimerkiksi jalkoja ylös nostelemalla. Valitettavasti lentokoneessa tätä hankaloittaa intensiivinen lentäminen, vöiden tiukkuus sekä ahdas ohjaamo ja heittoistuimen riittämätön säädettävyys.

Hyvän työtuolin ominaisuuksia ovat sopivat mitat työntekijän ominaisuuksiin ja työskentelytyyliin nähden. Tuolin säätöjen tulee olla riittävät ja niiden tulee olla helposti muokattavissa istualtaan. Lisäksi selkänokjan muotoilu, syvyyden ja pehmusteiden tulee olla sopivat. (Cedercreutz & Hanhinen 1993, 29.) Saaren (1981, 94) mukaan hyvä istuma-asento ilman vaihtelumahdollisuutta ja epäfysiologinen istuma-asento, kuten pieni jalkatila ovat hyväksyttäviä työasentoja, mutta yhtäjaksoista istumista tulisi vältettävä. Lisäksi istuimessa tulisi olla ohut pehmuste (0,5–1,5 cm). Hamillin ja Knutzenin (2003, 249) mukaan selkävammoja voi ehkäistä tehokkaasti, jos selkää ei kallisteta istuimessa enempää kuin 20 astetta eteenpäin. Haitallisen kulman syntymistä voi estää esimerkiksi nostamalla istuinta ylöspäin, jolloin kurkotus eteenpäin pienenee.

Cedercreutz (1997, 134) on todennut Anderssoniin ja Örtengreniin (1974) viitaten, että noin kymmenen astetta eteen kallistunut asento kaksinkertaistaa selkälihasten työn suhteessa neutraaliasentoon. Cedercreutz kirjoittaa myös Ericsonin (1989) tutkineen välilevyjen kokoonpuristuvuutta erilaisilla istuimilla istuttaessa kolmen tunnin ajan. Tavallisella tuolilla, jossa oli vaakasuora istuinosa sekä selkä- ja käsinojat, selkärangan kokoonpuristuneisuus oli 1,3 mm. Huonoimmassa istuimessa kokoonpuristuneisuus oli 3,1 mm.



Kuvio 14. Selkänöjan ja selkätuen vaikutus välilevypaineeseen (Koistinen 1998, 201).

Kuvio 14 havainnollistaa, kuinka selkänöjan kallistaminen taaksepäin ja selkätuki yhdessä vaikuttavat välilevypaineeseen. Istuttaessa 90 asteen kulmassa välilevypaine on 100 prosenttia. Kallistamalla selkänöjaa 20 astetta taaksepäin välilevypaine laskee 70 prosenttiin. Lisättäessä selkätuki, kun kallistuskulma on 20 astetta, välilevypaine laskee 25 prosenttiin.

Väyräsen (1996, 87) mukaan istuinkulman ollessa 90 astetta, voidaan selän lordoosin säilymistä selvästi edistää 4 cm:n paksuisella selkätuella. Jos istuinkulma on 110 astetta, päästään selkätuen avulla hyvin lähelle sitä lordoosia, mikä vallitsee seisottaessa. Myös istuinosan kallistaminen eteenpäin estää lordoosin oikenemisen. Istuinosan eteenpäin kallistaminen lentokoneessa on kuitenkin vaikea toteuttaa suurten kuormituskertoimien vuoksi. Istuinvöiden sijoittelu tuottaisi ongelmia, koska sotilaslentäjän täytyy pysyä istuimessa kiinni. Eteenpäin kallistunut istuinosa saisi sotilaslentäjän puristumaan haitallisen voimakkaasti lannevöitä vasten suuren kuormituskertoimen alaisuudessa..

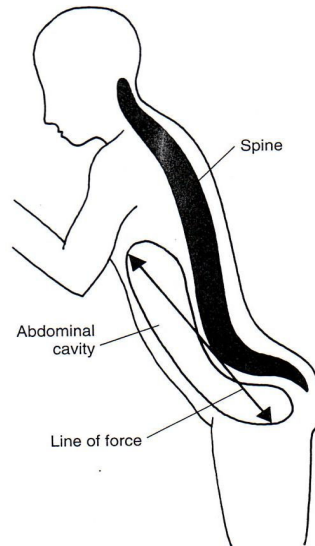
Oletetaan välilevypaineen olevan normaalissa seisoma-asennossa 100 prosenttia. Tällöin makuulla paine on 24 prosenttia. Istuma-asento säilyttäen lannerangan lordoosin tuottaa 140 prosenttia välilevypainetta ja istuminen selkä köyryssä tuottaa 190 prosenttia välilevypainetta. Selkänöjan taakse kallistaminen vähentää välilevypainetta paljon aina 110 asteen kallistukseen asti. Tästä eteenpäin välilevypaine ei pienene merkittävästi. (Kroemer & Grandjean 1997, 73.) Edellä mainitut arvot osoittavat, kuinka vähäinen asennon muutos voi pienentää välilevypainetta huomattavasti, mikä on selkärangan kestävyuden kannalta edullista. Suuruusluokat on hyvä sisäistää arvioitaessa eri asentojen kuormittavuutta ja arvioitaessa kuormituskertoimen tuomaa lisää istuma-asennosta riippuen.

Tuolin ja selkänöjan muotoilusta on paljon erilaisia mielipiteitä ja totuuksina ilmoitetut tiedot ovat ristiriidassa keskenään. Työterveyslaitoksen julkaisemissa lähteissä vuosilta 1993 ja 1999 esitetään erilaisia hyvän istuma-asennon tuntomerkkejä. Tästä voisi päätellä, että jokainen henkilö on yksilö. Jokaisella on erilainen lihastasapaino, mieltymykset ja mielipiteet siitä, millainen istuma-asento heille on paras. Hyvälle istuma-asennolle voi löytää paljon tuntomerkkejä, mutta ainoan oikean istuma-asennon kriteerit ovat jokaiselle erilaiset. Välillä jopa aikaisemmin hyvältä tuntuneet istuma-asennot voivat tuntua huonoilta työtehtävien mukaan. Suomen ilmavoimien lentokalusto ja koulutus ovat sellaisia, että yhdellä lentokalustolla tullaan lentämään vähintään 100 tuntia. Tämä auttaa sotilaslentäjää tottumaan ja löytämään itselleen parhaan istuma-asennon kyseessä olevaan konetyyppiin. Istuma-asento voi muuttua vyöttäytyessä lentokoneeseen lentotehtävän ja rasittavuuden mukaan. Työterveyslaitoksen (1999) mukaan samana pysyvä istuma-asento on aina huono ratkaisu. Tästä voimme tehdä johtopäätöksen, että aktiivista lentämistä vaativissa lentokoneissa istuma-asento on aina huono.

### **4.3 Vatsaontelon paineen vaikutus nikamavälilevyjen paineeseen**

Sisäinen vatsan paine keventää lannerankaan kohdistuvaa kuormaa sekä vakauttaa koko rankaa. Vatsaontelon paine tuottaa momentin, joka kallistaa selkärankaan taaksepäin ja madaltaa näin selkälihasten tuottamaa painetta selkärankaan. (Nordin & Frankel 2001, 278.) Chaffin (1969) sekä Nordin ja Frankel (2001, 278) ovat tutkineet, että vatsansisäinen paine vähentää taivuttavaa momenttia 10–40 prosenttia kuorman suuruudesta. Kun poikittaiset vatsalihakset jännittyvät vatsansisäinen paine kasvaa lihasjännityksen myötä (McGill & Norman 1987; Nordin & Frankel 2001, 278).

Hamill ja Knutzen (2003, 244) kirjoittavat sisäisten lihasten keventävästä vaikutuksesta selkärangan kuormaan. Heidän mukaan vatsalihakset aiheuttavat selkärangan taipumisen eteenpäin. Vartaloa taivutettaessa vatsalihakset kasvattavat sisäistä vatsaontelon painetta supistuessaan. Tämä vähentää selkärangan kokoonpuristavaa voimaa ja selän ojentajalihasten aktiviteettia. Vatsaontelo tukee kehoa sen taipuessa. Tukeva voima aiheutuu kehon onteloiden paineesta, joka pyrkii taivuttamaan kehoa taaksepäin. Vatsalihaksista poikittaisella vatsalihaksella on suurempi sisäistä painetta kasvattava vaikutus kuin vinolla vatsalihaksella. Vinot vatsalihakset ovat aktiivisia seistessä suorassa ja istuessa.



Kuvio 15. Vatsan sisäisen paineen suuntautuminen kehossa (Nordin & Frankel 2001, 263).

Valsalvan manööverissä hengitys pysäytetään hetkeksi. Manööveri koostuu kurkunpään ja vatsan aukkojen sulkemisesta. Paineen nousu rinta- vatsaontelossa työntää verta nikamiin ja näin kohottaa selkäydinnesteen<sup>16</sup> painetta. Jäykät tukirakenteet sijaitsevat selkärangan etupuolella välittäen yläkeholla nostettavien kuormien voimia lantioon. Tukirakenteet vähentävät selvästi selkärangan akselin suuntaisia puristusvoimia. Paineen nousu voi olla vaarallista muun muassa sydän- ja verisuoniongelmiin, laskimoiden paluuverenkierron vähenemisen ja verisuonten vastustuksen kasvun vuoksi. Manööveriiä suoritettaessa vatsalihasten on oltava kunnossa. (Kapandji 1997, 108–110.) Valsalvan manööverissä vastaponnistuksen aikana kurkunpää suljetaan siten, että paine nousee keuhkoissa ja näin myös rinta- ja vatsaontelossa. Kurkunpäähengitystä käytetään samalla, kun sotilaslentäjä jännittää lihaksiaan ja pitää yllä riittävää verenpainetta elimistön kamppaillessa kasvanutta painovoimaa vastaan. Kurkunpäähengitys toistetaan muutaman sekunnin sykleissä. Näin sillä voidaan saavuttaa hyöty myös selkärangan kestävyuden kannalta.

Lentokoneessa nopea kuormituskertoimen kasvaminen pakottaa sotilaslentäjän valmistautumaan tulevaan painovoiman muutokseen. Ensimmäinen kurkunpäähengitys ja lihasten jännittäminen aloitetaan ennen kuin kuormituskerroin

<sup>16</sup> Likvor eli aivo-selkäydinneste on nestettä, joka suojaa sekä aivoja että selkäydintä iskuiltä (Niensted 2004, 13).

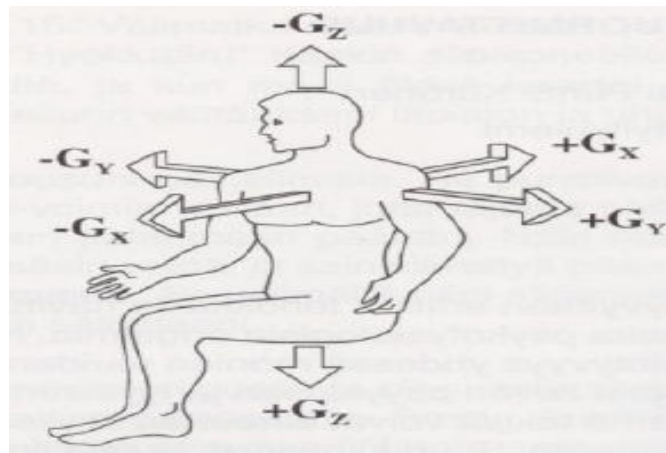
on kasvanut. Ensimmäisten sekuntien aikana tehdyt toimenpiteet kuormituskertoimen vaikutuksen kumoamiseksi ovat kaikkein tärkeimmät. Elimistö tottuu muutamassa sekunnissa kasvaneeseen kuormituskertoimeen ja ylläpitää paremmin verenpainetta. Myös välilevyt tulevat jäykemmiksi ja kestävimiksi kuormituskertoimen kasvun jälkeen, koska välilevynytimen sisäinen paine kasvaa. Mikäli vatsaonteloihin ei saada painetta kuormituskertoimen alkuvaiheessa, se aiheuttaa suuremman riskin välilevyn vaurioitumiselle kuin jo valmiiksi kevennetty selkärangan kuorma. Ahosen ym. (1998, 229) mukaan vatsalihaksilla on tärkeä rooli vatsaontelon paineen kasvattamisessa. Vatsalihasten ja pallean vaistomainen jännitys pienentää välilevyn painetta, koska ne puristavat vatsaonteloa ohuemmaksi ja ainut laajenemisvara on ylä-alasuunnassa. Vatsaontelon paine voi vähentää selkilihasten puristusvaikutusta 40 prosenttia. Istuma-asennossa selkilihasten tuoma paine on 1200 Newtonia ylävartalon painaessa 40 kilogrammaa. Tällöin kokonaispaine selkänikamasta laskee noin 30 prosenttia. (Ahonen, Lahtinen, Pogliani, Saarinen, Sundström, Suovanen, Vanninen & Wirhed 1998, 228.)

Valsalvan manööveri tai vastaponnistus ja kurkunpäähengitys aiheuttavat lihasten osittaisen hetkellisen rentoutumisen. Tämä edistää verenkiertoa ja aineenvaihduntaa elimistössä. Esimerkiksi selkärangan välilevyn ytimet saavat tarvitsemansa ravinteet tihkumalla aineenvaihdunnan vilkkauden mukaan, mikä on yhteydessä verenkiertoon. Staattisessa lihastyössä verenkierto vaikeutuu. (Cedercreutz & Hanhinen 1993, 18–19.)

Enokan (1994, 58) mukaan painonnostajat voivat kasvattaa vatsan sisäistä painetta tukemalla vartaloa painonnostovyöllä ja näin ollen vähentää selkärangan kohdistuvaa painetta. Nordinin ja Frankelin (2001, 279) mukaan painonnostovyö voi aiheuttaa selkärangassa nikamien vääränlaista liikkumista ja epätasapainoa. ”National institute for occupational safety and health” -järjestö vastustaa painonnostovyön käyttöä alaselän vammoja ehkäistäessä. Painonnostovyö ei myöskään vähennä lihasaktiivisuutta, eikä paranna nostokapasiteettiä. (Nordin & Frankel 2001, 281.) Vyön käyttöä lentokoneessa ei ole tutkittu, mutta voidaan olettaa, että ilmataistelun aikana painonnostovyö voi heikentää selkärangan kestävyttä. Vyö aiheuttaisi muualla selkärangassa haitallista liikkumista, joka voi murtaa niveliä vyön tukialueen ulkopuolelta. Lisäksi selkärangan liikkuvuus voisi kärsiä niin paljon, että ilmataistelun aikana siitä tulisi riski hävittäjälentäjälle. Tällöin hän ei pystyisi pitämään toista lentokonetta koko aikaa näkyvässä liian pienen ylävartalon kiertymisen johdosta.

#### 4.4 Kiihtyvyysoimien vaikutus rasittumiseen

Lentokoneessa kiihtyvyydet (G) voidaan jakaa vaikutussuunnan tai keston mukaan. Lyhytkestoinen G on alle yksi sekunti (törmäykset), keskipitkä on 0.5–2 sekuntia (heittoistuinhyppy) ja pitkä yli kaksi sekuntia (Hämäläinen 1993, 25). Näistä pitkäkestoiset kiihtyvyydet vaikuttavat voimakkaimmin. Kuviossa 16 on havainnollistettu vektoreiden suuntaan jaettuun kiihtyvyyksiä:  $+G_z$  on kiihtyvyys josta käytetään myös nimitystä G tai kuormituskerroin.  $-G_z$  on kiihtyvyys, mikä vaikuttaa jaloista päähän. Tämä kiihtyvyys esiintyy lentokoneessa selkälennessä tai työnnettäessä rajusti sauvasta esimerkiksi oikaisussa noususta vaakalentoon.



Kuvio 16. Ihmiseen vaikuttavat kiihtyvyydvektorit (Vapaavuori, Sorsa, Nurmi & Kuronen 1992, 133).

Kiihtyvyyden kestolla on oleellinen merkitys ihmisen kestämiin kiihtyvyyteen. Ihminen kestää vahingoittumatta 30 G:tä alle 0.08 sekuntia, 80 G:tä 0.03 sekuntia, 250 G:tä 0.01 sekunnin ajan. Yleensä alle 18 G:n kiihtyvyyksissä ei selkänikamien murtumia esiinny. Negatiivista G-voimaa jaloista päähän suuntautuneena ei lentokoneessa katsota saavutettavan haitallisia määriä. Sen sijaan  $-G_x$  -voima voi olla hyvinkin suuri törmäyksissä. Ihminen kestää 80  $-G_x$  0.01 sekuntia. Tätäkin korkeammilla  $-G_x$  kiihtyvyyksillä suurimmat vaikutukset kohdistuvat sydämen- ja verenkierron toimintaan. (Vapaavuori ym. 1992, 135–136.)



## 5. BIOMEKANIikka

### 5.1 Biomekaaninen tutkimus ja sen käytettävyys

Biomekaniikka tutkii elimistöön kohdistuvia voimia mekaniikan lakien avulla. Biomekaniikkaa voidaan käyttää apuna työn suunnittelussa sekä arvioidessa kehonosien kuormituksia erilaisissa työtilanteissa ja -tehtävissä. Tavoitteena on pienentää vammautumiseen liittyviä riskejä sekä lisätä ihmisen suorituskykyä. Biomekaaninen tutkimus voi myös lisätä ymmärrystä liikuntaelinten sairauksien synnystä. (Väyrynen ym. 2004, 49–50.) Työntekijöille ja esimiehille voidaan havainnollistaa haitallisten kuormitusten suuruutta ja perustella työympäristön tai työasentojen muuttamisen tarpeellisuutta. Perinteisesti yksi havainnollistamisen perusväline on valokuvat. Valokuvien avulla arvioidaan staattista biomekaanista kuormitusta ja lasketaan tiettyyn niveleen vaikuttavia vääntömomentteja. (Takala & Nevala-Puranen 2001, 124–125.)

Biomekaanisten voimien vaikutusta kuvaa käsite momentti (M). Momentin laskemiseksi tulee tietää vaikuttavan voiman (F) suunta ja suuruus sekä vipuvarsi, joka on kohtisuora etäisyys tukipisteestä. Voimien laskemiseksi elimistö tulee ajatella vipujärjestelmänä. Elimistöstä tulee tietää eri kehonosien eli segmenttien pituus, massa ja massakeskipisteen sijainti. Tukipisteen paikka voidaan arvioida tutkittavan nivelen keskipisteestä ja segmenttien paino voidaan arvioida antropometrinen taulukoiden avulla ihmisen painosta. (Takala & Nevala-Puranen 2001, 124–125.)

Taulukko 1. Kehonosien massa kehon kokonaispainon mukaan (Chaffin & Andersson 1991).

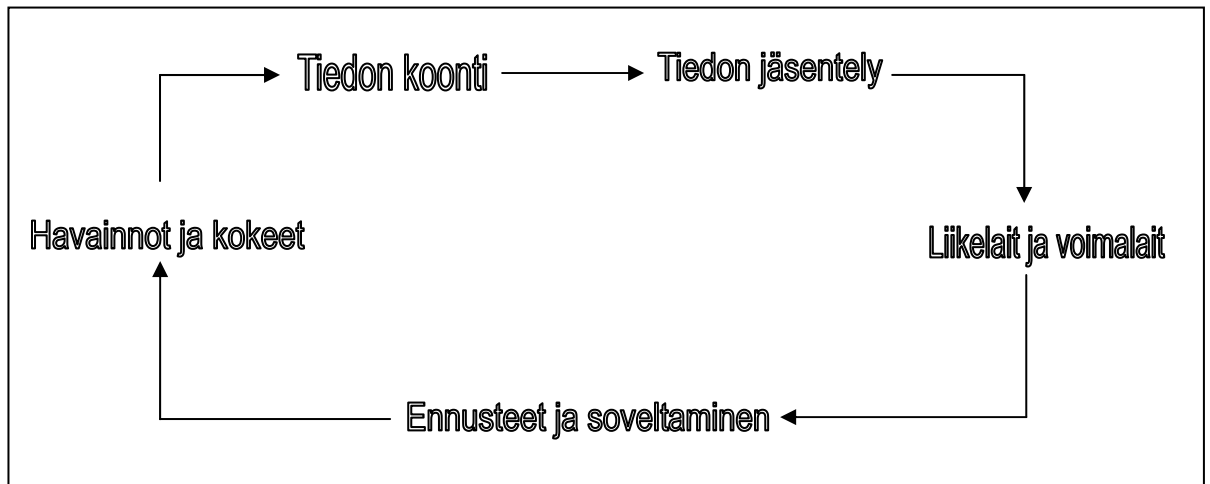
Kehonosa	Kehon paino, kg					
	45,7	54,5	63,5	72,6	81,7	90,7
pää	3,9	4,1	4,4	4,7	5	5,2
pää ja niska	4,8	4,8	5,7	6,2	6,7	7,2
pää, niska ja vartalo	24,8	30,1	35,5	40,9	46,3	51,7
koko yläraaja	2,3	2,8	3,2	3,7	4,1	4,6

Taulukossa 1 näkyy, että kehonosien massat ovat riippuvaisia ihmisen kokonaispainosta. Mitä painavampi ihminen on, sitä pienempi on esimerkiksi pään paino suhteessa ihmisen kokonaispainoon. Kehon painon ja kehonosien massojen

mukaan voidaan laskea vääntömomenteja sekä nikamiin kohdistuvia kokonaisvoimia. Mikäli päätä kallistetaan eteenpäin, se lähes kolminkertaistaa nikamiin ja välilevyihin kohdistuvan kuorman ja kasvattaa niskalihasten kuormaa huomattavasti (Takala & Nevala-Puranen 2001, 126–128). Tarkastellessa eri kehonosien painoja ja niiden summia, jotka vaikuttavat selkärankaan ja niskaan, tulee ottaa huomioon sotilaslentäjien yksilöllinen istuma-asento ohjaamossa. Huomioon tulee ottaa esimerkiksi käsivarsien paino ja niiden sijoittuminen kaasukahvalle ja ohjaussauvalle. Istuimen korkeus vaikuttaa käsien tuomaan rasituksen määrään selkärangassa. Mikäli sotilaslentäjä pystyy siirtämään käsivarsien painoa kaasukahvalle ja ohjaussauvalle, käsien painon vaikutus selkärangan kuormittumiseen laskee. Mikäli sotilaslentäjä käyttää käsi- ja olkalihaksia pitääkseen kätet kaasulla ja ohjaussauvalla, osa käsivarsien massasta lisätään selkärankaan kohdistuvaan kuormitukseen. Vastaponnistuksen yhteydessä käsivarsien jännittäminen on lähes automaatio, joten ote kiristyy ja käsien koko paino ei lisää selkärankaan kohdistuvaa kuormitusta. Kehon painoon tulee laskea mukaan lisäksi kypärän ja pelastusliivin painot. Myös vatsa- ja selkälihasten jännittyminen vaikuttaa selkärankaan kohdistuvaan paineeseen.

Biomekaaninen tutkimus pohjautuu mittauslaitteilla tehtyihin kokeisiin ja havaintoihin. Ongelmaksi muodostuu ihmisten erilaisuus, vaikka olemme pääpiirteittäin samanlaisia. Esimerkiksi ihmisten ikä, kuntotaso, taitotaso, psyykkinen jännitystila ja harjoitustausta voivat olla hyvinkin erilaisia. Erilaisuus korostuu tutkimusmenetelmästä riippuen. Suurten linjojen lainalaisuudet ovat kuitenkin loogisia edellyttäen, että mittausmenetelmät ja tulosten käsittelyvaiheet ovat moitteettomasti suoritettuja. (Luhtanen 1988, 2–4.)

Ennakkokäsitysten ja johtopäätösten tekemisessä on tärkeää tietää millaista tarkkuutta muuttujien suhteen käytetään (Luhtanen 1988, 5). Case KadK90/ohjaajalinjan mittauksissa muuttujien tarkkuus on senttimetriluokkaa niska- ja selkärangan mittauksissa, mutta lihasten kiinnittymiskohtien osalta tarkkuus on huomattavasti parempi. Momenteja laskiessa lihasten kiinnittymiskohtien eroavaisuudet voivat tuoda kohtalaisen virheen mittaustuloksiin. Yleensä mittaustuloksen virhe on suurempi kuin mittauslaitteen virhe. Mittaustuloksen tarkkuuteen vaikuttaa yleensä mittalaite, mitattavan suureen epämääräisyys, mittausmenetelmä, mittaajan taito ja mitattavan tutkittavan taito. (Luhtanen 1988, 4–8.)



Kuvio 17. Biomekaanisen kokeellisen ongelmanratkaisun kaavio (Luhtanen 1988, 2.)

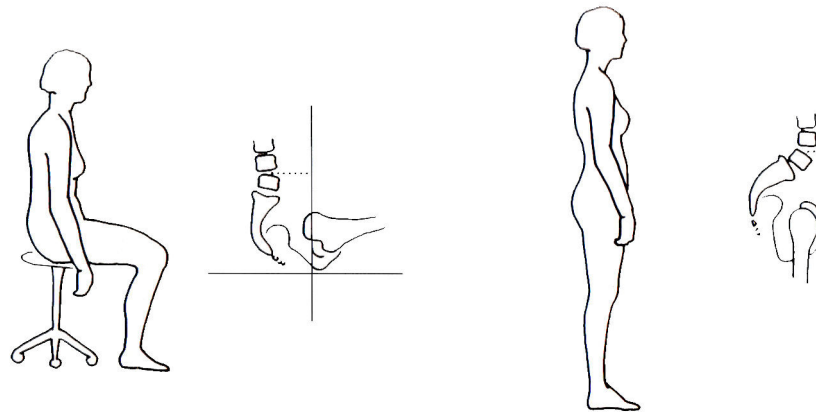
Biomekaanisten kulmien tutkimuksen ensimmäinen vaihe on tehdä havainnot ja kokeet tutkittaville. Heistä otetaan kuvat ja mittaustulokset heidän istuessa Hawkin heittoistuimessa. Tiedon koontivaiheessa kuvat tulostetaan, jolloin kuvista pystytään mittaamaan paremmin kulmamuuttujia. Tiedot jäsenellään taulukkomuotoon ja analysoidaan. Analysoiduilla tuloksilla lasketaan liikelait ja voimallait, eli kuormituksen suuruus ja niveliin kohdistuvat rasitukset. Tämän jälkeen tuloksia suhteutetaan tietoon nikamien kestävästä rasituksesta. Rasitus sisältää äkillisen impulssin vaikutuksen ja pitkällä aikavälillä aiheutuneet vahingot. Soveltamalla tieto Hawkissa saavutettaviin kuormituskertoimiin, voidaan arvioida millaisia vammoja on mahdollista syntyä ja millaisella ajanjaksolla riskit kasvavat suuriksi. (Hamill & Knutzen 2003, 235.)

## 5.2 Istumisen biomekaniikka

Biomekaanisten voimien ja momenttien laskeminen istuma-asennossa on ongelmallista, jos otetaan huomioon lihasten supistumisesta aiheutuva kuorma tai vatsaontelon paineen vaikutus välilevypaineeseen. Biomekaanisesti mitattuja arvoja voi kuitenkin tutkia riippumatta lihasaktiivisuudesta. Yksilöiden välisiä keskimääräisiä kuormittumisen eroja ei vielä pystytä luotettavasti mittaamaan. Myös hetkellisten kuormitushuippujen mittaaminen on vaikeaa. (Cedercreutz, 1997, 130.) Tämän vuoksi matematiikalla ja fysiikalla on iso rooli luotettavien tulosten saamiseksi.

Luonnollisessa seisoma-asennossa painovoimalinja kulkee heti selkärangan edestä. Tällöin lanneselkään kohdistuva vääntömomentti on kohtalainen. Istuttaessa lantio kiertyy lonkkanivelen akselin ympäri taaksepäin, jolloin ristiluun yläpinta on lähes

vaakatasossa. Vartalon ja reiden välisen kulman ollessa noin 90 astetta 60 astetta kallistumisesta muodostuu lonkkanivelen koukistamisesta ja 30 astetta lantion taakse kallistumisesta. (Cedercreutz 1997, 133; Mandal 1985 mukaan). Tämän seurauksena lantion lordoosi oikenee ja ylävartalon painovoimalinja siirtyy eteenpäin ja näin kauemmaksi selkärangasta. Voiman vipuvarsi kasvaa ja näin myös lannerankaan kohdistuva vääntömomentti kasvaa. Selkälihasten staattinen jännitys ja välilevypaine lisääntyvät. (Cedercreutz 1997, 126–140.)



Kuvio 18. Kehon painovoimalinjan sijainti istuessa ja seistessä (Cedercreutz 1997,133).

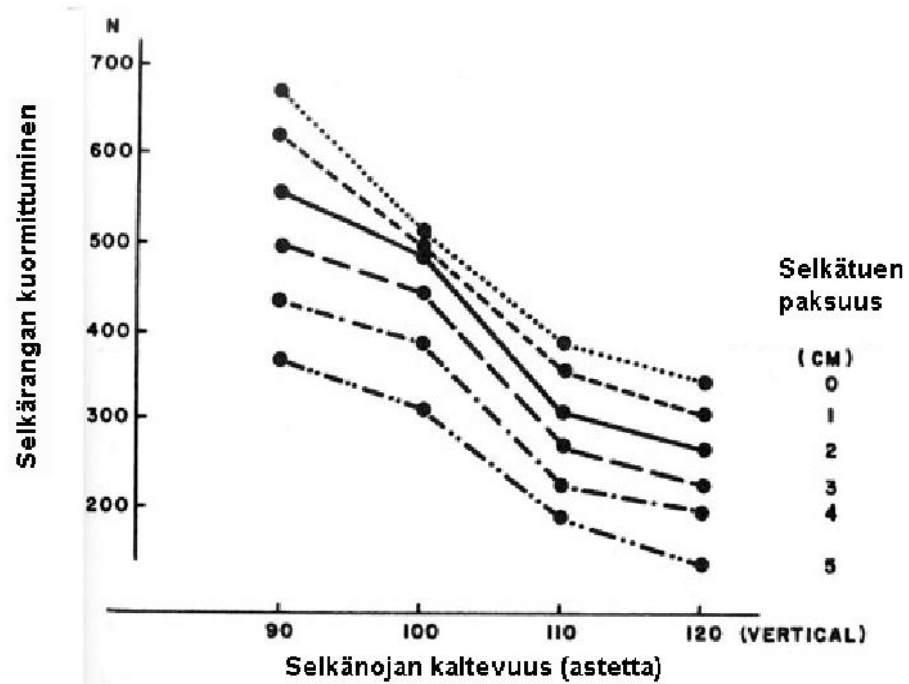
Selkäranka ja lantio toimivat kokonaisuutena ja lantion asento vaikuttaa lannerangan asentoon ja lordoosin syvyyteen. (Chaffin, Andersson & Martin 1999, 356.) Lantion asennon muutos vaikuttaa koko selän asentoon. Jos lantiota kallistetaan taaksepäin, lannerangan notko oikenee tai jopa pyöristyy. Tällä on suuri vaikutus istuma-asennon selän kuormittavuuteen. Kireät reiden takaosan lihakset estävät lantion kiertymisen ja lanneselkään kohdistuu suuri kuormitus (Cedercreutz & Hanhinen 1993, 14–17). Lannerangan asento Hawkin ohjaamossa aiheuttaa painovoimalinjan siirtymisen eteenpäin, mikä on erittäin haitallista suurten kuormituskertoimien alla. Lannerangan lordoosi oikenee ja selkäranka on lähes suora ristiluun yläpinnan ollessa lähes 90 asteen kulmassa selkärankaan nähden. Mikäli ristiselän kohdalle asetettaisiin oikeanpaksuinen selkätuki, niin ongelmaa ei syntyisi. Vääntömomentti ei kasvaisi lannerangassa ja luonnollinen lordoosi säilyttäisi selän sen kestävimmissä asennossa. Hawkissa yläraajojen kannattelu ja vartalon eteenpäin kallistaminen siirtävät painopistettä eteenpäin. Tällöin selän momentti ja selkälihasten aktiviteetti kasvaa. Tämä aiheuttaa selän nikamille suuren paineen. Istuttaessa ilman selkätukea ristiluun yläpinta on vaakatasossa ja L5 nikaman välittämä paine vaikuttaa

kohtisuorassa ristiluun yläpintaan. Ilman hyvää selkätukea myöskään yläselkä ei ole kestävimmissä asennossa. Selkätuen kanssa ristiluun yläpinta on kallistuneena alaspäin, mutta selkä on optimaalisessa asennossa. Kapandjin (1997, 84–85) mukaan L5 nikama on selän heikko kohta, mutta ongelmaksi muodostuu ristiluun asennon muuttuminen ihmisen istuessa. L5–S1 on selkärangan heikko kohta, koska ristiluun yläpinta on kallistuneena viistosti alaspäin. L5 nikama kiinnittyminen viistoon pintaan aiheuttaa leikkaavia voimia, jolloin painovoimavektorin suunta ei ole paras mahdollinen.

Normaalista seistessä ristiluun yläpinta on 30 astetta kallistuneena eteenpäin. Tällöin leikkaava voima on 50 prosenttia kehon tuomasta painosta. Mikäli selkäranka kallistetaan 50 prosenttia eteenpäin, leikkaava voima on 75 prosenttia kehon painosta. Seisottaessa L3 nikamaan kohdistuva paine on 60 prosenttia koko vartalon painosta ja istuessa tämä paine on 40 prosenttia suurempi. Kuormituksessa suurimman osan kuormasta kantavat välilevy ja selkänikaman runko. Runko vaurioituu ennemmin kuin välilevy. Se voi vanhoilla ihmisillä pettää 3700N voimasta, kun nuorilla aikuisilla se pettää vasta 13000N voimasta. (Hamill & Knutzen 2003, 247.)

Chaffin, Andersson ja Martin (1999, 356–357) jakavat istuma-asennon kolmeen eri luokkaan painopisteen ja kuormituksen kohdistumisen mukaan. He määrittelevät näillä perusteilla istuma-asennot painopisteen ollessa edessä, keskellä tai takana. Istuma-asennossa on tärkeää, että keho on tasapainossa ilman ylimääräistä lihasjännitystä. Istuma-asennossa lantiolla on keskeinen merkitys. Koko ylävartalo on lantion päällä, joten lantion asennon muututtua myös ylävartalon asento muuttuu. Lantion asento vaikuttaa pään ja hartioiden asentoon ratkaisevasti. Istuessa lantion tulisi olla kallistuneena hieman eteenpäin. Lantion kallistuminen taaksepäin aiheuttaa kyfoosin. Lannerangan kyfoottinen asento lisää skolioosin riskiä. Lisäksi kyfoottinen asento lisää välilevyihin kohdistuvaa painetta ja voi heikentää hengityskapasiteettiä. Kiristyneet reiden takaosan lihakset kallistavat lantiota taaksepäin. (Töytäri, Koistinen, Hiltunen & Leivo 2003, 136–140.)

Kun ihminen istuu 90 asteen kulmassa jalat 90 astetta koukussa, suurin vartalon paine kohdistuu istumaluihin (lat. ischias support). Istuma-asennon tulisi olla sellainen, että selän luonnollinen lordoosi säilyy jännittämättä lihaksia. (Pheasant 1996, 68–72.) Välilevypaine on sitä suurempi mitä lähempänä välilevyt sijaitsevat ristiluuta (Kapandji 1997, 36).



Kuvio 19. Selkätuen ja istuinkulman vaikutus välilevypaineeseen (muokattu. Chaffin, Andersson & Martin 1999, 369).

Tutkimukset osoittavat, että selkätuki tuottaa pienemmän välilevypaineen sen ollessa nikamien L4–L5 tasalla kuin L1–L2 tasolla. Tällöin osa ylävartalon painosta johtuvasta paineesta välittyy suoraan selkätukeen. (Chaffin, Andersson & Martin 1999, 369.) Välilevypaineeseen vaikuttaa täten selkätuen kiinnitysmekanismi. Jos tuki on kiinni penkissä, se välittää osan kuormituksesta heittoistuimeen. Mikäli selkätuki on kiinnitetty selkään ja selkänojan pinta on liukas, saadaan pienempi osa painosta siirtymään selkätuen kautta heittoistuimeen.

Kuvion 20 mukaan 5 cm paksu selkätuki antaisi parhaan tuloksen mittauksista. Mittausmenetelmänä on käytetty neulaa nikamavälilevyn ytimessä. Istuinkulma on 90–120 astetta. Hawkin heittoistuimessa reiden ja selän välinen kulma on noin 95 astetta. Ilman selkätukea tämä tuottaisi noin 600 Newtonin paineen selkärankaan. Selkätuen kanssa tämä paine laskisi noin 350 Newtoniin. Jos tähän lisätään esimerkiksi kuormituskerroin 6, niin paineeksi saadaan 3600 Newtonia ja 2100 Newtonia. Todellisuudessa näihin kuormiin lisätään vielä kypärän ja pelastusliivin painot sekä lihaksiston aiheuttama paine. Terve välilevy kestää oikeassa asennossa 7000–8000 Newtonin kuorman ennen murtumista (Cedercreutz & Hanhinen 1993, 16). Kestävyys laskee kuitenkin rajusti, mikäli välilevyihin kohdistuva voima ei ole suora. Sotilaslentäjän käännellessä vartaloaan selkärangan vahingoittumisen riski kasvaa.

### 5.3 Selkärankaan kohdistuvia kuormituksia

Selkärankaan kohdistuvat kuormat johtuvat kehon painosta, lihas-aktiivisuudesta, esijännittyneistä nivelsiteistä ja ulkoisesta kuormasta. Kuormitusta voi yksinkertaisesti laskea vapaakeho-tekniikalla, jossa huomion kohteena ovat momenttivarret ja niiden vaikutus eri selkänikamiin. Painetta voi mitata myös nikaman tarkkuudella sisäisesti ja ulkoisesti. Tämä on kuitenkin monimutkainen tapa ja harvemmin käytössä. Momenttivarsien mukaan kuormitusta laskettaessa otetaan huomioon lihasaktiivisuus ja niiden tuottama vääntömomentti. Kolmas menetelmä on matemaattinen, jossa lasketaan lannerankaan kohdistuva paino ja lisätään siihen lihasten tuoma painevaikutus. Tämä menetelmä on hyvä ennustettaessa kuorman suuruutta ja sen jakautumista erilaisissa oloiloissa sekä mallintaessa kuormia. Kokeellisesti on mitattu, että ilman lihasten tuomaa tukea rintaranka kestää 20–40 Newtonin puristusvoiman. Tämä riippuu kuitenkin suuresti henkilökohtaisista ominaisuuksista. (Nordin & Frankel 2001, 267–269.)

Oheiseen taulukkoon 2 on koottu erilaisten toimenpiteiden aiheuttamat kuormitukset välilevyyn. Liitteessä 5 on laajemmin selkänikaman sisäinen paine eri asennoissa.

Taulukko 2. L3–L4 välilevyyn kohdistuvista kuormituksista 70 kg painoisella henkilöllä (Hamill & Knutzen 2003, 236).

Toimenpide	Paine (N)
Selinmakuu	297
Seisominen	686
Kävely	833
Sivulle taivutus	931
Suorassa istuminen	980
Yskiminen	1078
Hyppiminen	1078
Nauraminen	1176
Nostaminen 20 kg selkä suorana	2058
Nostaminen 20 kg selkä köyryssä	3332

Eteentaivutuksen aikana selkärangan L5–S1 nikamaan kohdistuu suuri rasitus. Painopiste siirtyy helposti rintanikaman T10 etupuolelle. Painopisteen ollessa T10 etupuolella, selkärangan viereisten lihasten vipuvarsi on 7–8-kertainen ylävartalon painovoimalinjaan nähden. Täten selkälihasten tulee kehittää 7–8-kertainen voima suhteessa siihen voimaan minkä ylävartalon vipuvarsi tuottaa. Lannerangan

alimpaan välilevyyn L5 kohdistuva voima on siis selkälihasten tuottaman voiman ja ylävartalon vipuvarren tuottaman voiman summa. L5 nikamaan kohdistuva voima riippuu ylävartalon eteentaivutuksen suuruudesta. (Kapandji 1997, 108–109.) Pienikin vipuvarren muutos voi saada aikaan suuren kuormituseron L5 ja S1 tasolla. Jo pieni eteentaivutuksen vähentäminen Hawkissa, esimerkiksi selkätuen avulla, vähentää selkärankaan kohdistuvaa painetta.

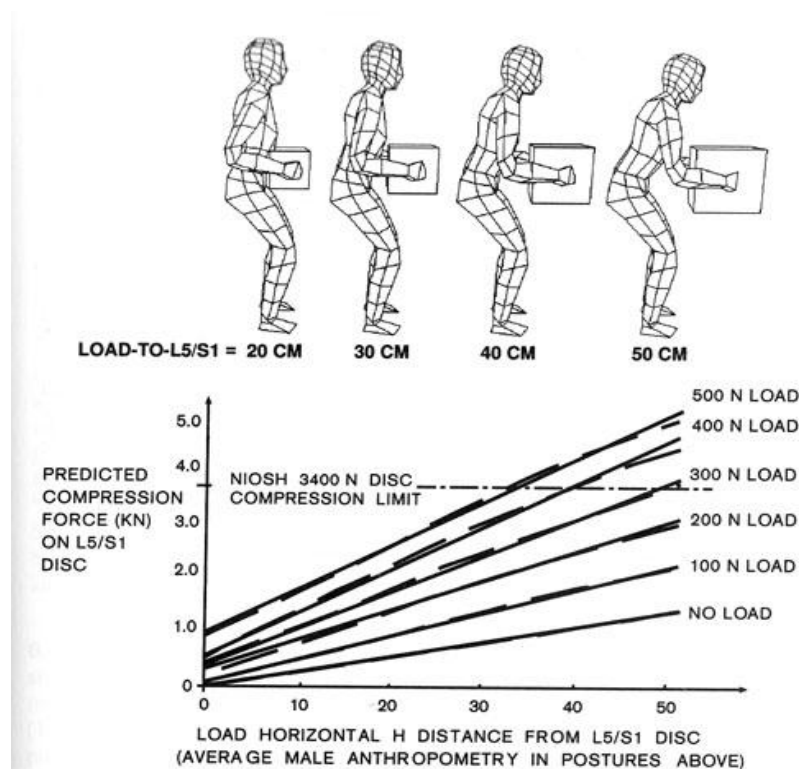
Nordinin ja Frankelin (2001, 270–271) mukaan aikuisella ihmisellä selkänikama vaurioituu 5000–8000 Newtonin puristavasta voimasta. Heidän mukaan 620 Newtonmetrin taipuminen ja 156 Newtonmetrin leikkaava momentti ovat voimia, joiden edessä selkäranka murtuu täydellisesti. Selkänikaman kestävyys on verrannollinen luun massaan. Nikamavälilevy on kestävämpi kuin nikaman luinen rakenne. Tästä johtuu että kuormittaessa selkärankaa suoraan ylhäältäpäin, nikama murtuu ennen kuin välilevy kärsii suuria vaurioita. (Nordin & Frankel 2001, 270–275.)

Kapandji (1997, 108) kertoo selkärangan alimpaan välilevyyn vaikuttavan voiman nousevan ajoittain 1200 kilogrammaan. Välilevyn ydin kestää 700–800 kilogramman painon. Pitää kuitenkin muistaa paineen jakautuminen välilevyssä. 75 prosenttia painosta välittyy ytimen kautta ja 25 prosenttia painosta välittyy sidekudoskehän kautta. (Kapandji 1997, 108.) Nikamavälilevy kestää  $569 \pm 54$  Newtonia ilman lihasten tuomaa tukea ja selkäranka kestää  $3373 \pm 464$  Newtonia ilman lihasten tuomaa tukea (Yoganandan ym. 1996b, Nordin & Frankel 2001, 300). 1200 kilogramman suuruudesta painosta välilevyn ydintä kuormittaa 900 kilogrammaa. Ihmisen keho pystyy kuitenkin keventämään selkärankaan kohdistuvia voimia. Ylävartalo voidaan paineistaa keventämään alempiin lanneniveliin ja välilevyihin kohdistuvaa painetta. Raskasta painoa nostettaessa ihminen suorittaa automaattisesti Valsalvan manööverin. Manööveri koostuu automaattisesti kurkunpään ja vatsan aukkojen sulkemisesta. Rinta- ja vatsaontelon sulkeminen muuttavat ne suljetuiksi onteloiksi, joissa paine nousee huomattavasti. Nämä jäykät tukirakenteet sijaitsevat selkärangan etupuolella välittäen yläkehon nostettavien kuormien voimia lantion luihin ja pohjaan. Nämä tukirakenteet vähentävät selvästi selkärangan akselin suuntaisia puristusvoimia: T2–L1 tasolla 50 prosenttia ja L5–S1 tasolla 30 prosenttia. Näin selkärangan viereisten lihasten kehittämisen voiman tarve vähenee 55 prosenttia. Tämä mekanismi suojelee selkärankaa suuriltakin rasituksilta, mutta voi toimia vain lyhyen ajan. (Kapandji 1997, 108.) Cedercreutz ja Hanhinen (1993, 18) pitävät kuitenkin vatsaontelon tukevaa vaikutusta selkärankaan kiistanalaisena.



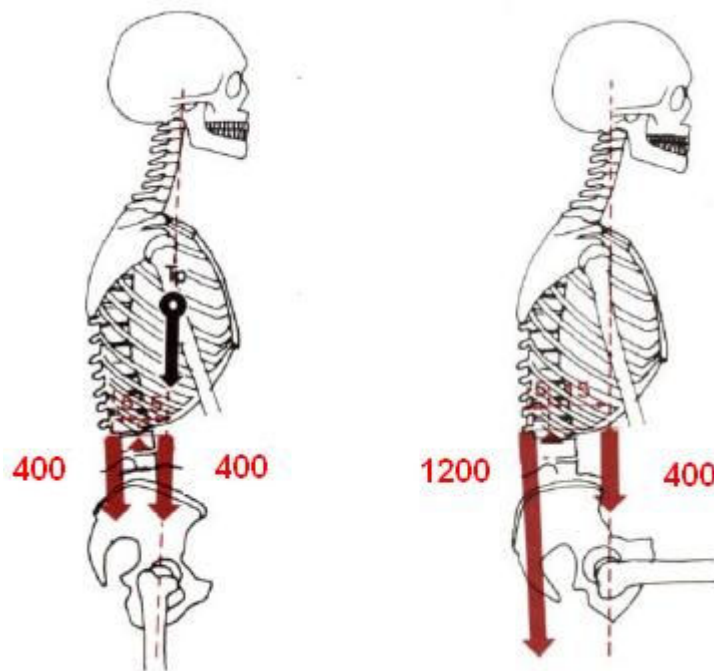
Valsalvan manööveri voi kasvattaa L3 välilevyn painetta tietyissä tehtävissä. Nojaututtaessa eteenpäin 33 astetta ja nostettaessa kahdeksan kilogramman kuormaa käsillä suoraan alhaaltapäin, niin Valsalvan manööveri kasvattaa vatsansisäistä painetta 4.35–8.25 kPa (N/m<sup>2</sup>) ja vähentää välilevyn painetta 1.625–1.488 kPa. Pallean pinta-ala on 0.0465 m<sup>2</sup>, johon paine kohdistuu. Laskujen mukaan tällöin vatsansisäinen paine voi olla noin 1163 Newtonia. Tämä ei ole merkityksetön voima kehon sisällä. (Enoka 1994, 58–59.)

Kuten aikaisemmin todettiin, selkälihakset aiheuttavat myös kuormituksia välilevyille. Nykyisen tiedon mukaan painetta tuovien selkälihasten ja L5–S1 nikaman välillä on 5.5–7 cm. Tämä etäisyys on merkittävä, koska se aiheuttaa momentin selkärankaan ja näin myös kuormittaa välilevyä suhteessa lihaksen supistumiseen. Mikäli lannerangan lordoosi on suuri, lihasten momenttivarsi kasvaa 15 prosenttia suhteessa L5–S1 välilevyn etäisyyteen. Tätä etäisyyttä on vaikea määrittää ja useat eri lähteet antavat erilaisia vastauksia momenttivarren suuruudesta aina 5–8,5 cm asti. (Chaffin, Andersson & Martin 1999, 540–541.) On olemassa myös useita kaavoja, joilla välilevypaine saadaan laskettua. Useimmissa kaavoissa on jätetty pois rinta- ja vatsaonteloiden paineen vaikutus. Myös tarkat momenttivarret selkälihasten ja selkärangan välillä on jätetty huomioimatta.



Kuvio 20. L5–S1 nikamaan vaikuttava voima (Chaffin, Andersson & Martin 1999, 236–237).

Kuvio 20 esittää L5–S1 nikamaan vaikuttavaa voimaa suhteessa painovoimalinjaan. Mitä edemmäs painovoimalinja menee, sitä suurempi on L5–S1 nikaman paine. Katkottu viiva osoittaa paineen 5,7 cm lihasten momenttivarrella selkärangasta, jossa on myös laskettu rinta- ja vatsaonteloiden paine mukaan. Kiinteä viiva kuvaa 6.5 cm momenttivarrella painetta ilman rinta- ja vatsaonteloiden paineen vaikutusta. Kuviossa 20 3400 Newtonia on puristusraja, joka määräytyy Nation Institute of Occupational Safety and Health suosituksen mukaan. (Chaffin, Andersson & Martin 1999, 236–237.) Tästä voimme päätellä, että pienikin painopisteen enteensiirtyminen Hawkin ohjaamossa aiheuttaa suuren paineen muutoksen välilevyn L5–S1 tasalla, joka on herkimmin vaurioituva selän kohta. Mittaustuloksia arvioitaessa pitää muistaa, että erona laboratorio-olosuhteisiin lentokoneen ohjaamossa on kypärä, pelastusliivi ja kuormituskertoimen suuruus. Nämä tekijät voivat moninkertaistaa kuormituksen ja paineen selkärangassa suhteessa laboratorio-olosuhteissa tehtyihin mittauksiin.

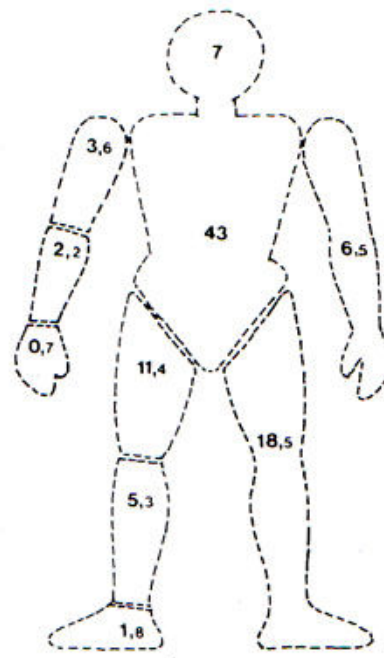


Kuvio 21. Kehon painopisteen muuttuminen ja suuruus L3-lannerikamaan seisten ja istuen. (Ahonen ym. 1998, 228).

Seistessä ihmisen painopisteen kautta kulkeva luotisuora on noin 5 cm L3-nikaman etupuolella. Kehoa tasapainottavat selkälihakset ovat taas 5 cm L3-nikaman takana. Kuviossa 21 seisovan ihmisen L3-nikamaan kohdistuu ylävartalon paino (400 N) ja momentin selkälihaksilla kumoava voima (400 N). Tällöin kokonaisvoima on 800 Newtonia. Istuma-asennossa lantio taipuu taaksepäin ja seurauksena lannerangan

lordoosi pienenee ja ylävartalo liikkuu eteenpäin. Tällöin luotisuora kulkee noin 15 cm L3-nikaman edestä. Lihasten vipuvarsi on 5 cm, jolloin tasapainon saavuttamiseen tarvitaan selkälihaksilta 1200 Newtonin voima. Välilevyyn kohdistuva voima on tällöin 1600 Newtonia (1200 N+ 400 N). Terve välilevy kestää 8000 Newtonin kuormituksen. Laskut ovat teoreettisia, sillä vartalon painopisteen sijainti on yksilöllinen. (Ahonen ym. 1998, 228, 268.)

Selkärangan nikamiin vaikuttavia kuormituksia voi laskea tiedossa olevien keskimääräisten prosenttien avulla kokonaispainosta (ks. kuvio 22). Esimerkiksi 80 kilogrammaa painavan henkilön ylävartalon paino lasketaan seuraavasti: lasketaan yhteen pään (7), käsien (13) ja ylävartalon (43) prosentit, jolloin saadaan Lannerankaan kohdistuva voima, 50,4 kg (7 % + 13 % + 43 % x 80 kg). Selkälihasten vaikutusta ei ole huomioitu. Lannerankaan kohdistuvan paine on 450 Newtonia ( $9,81 \text{ m/s}^2 \times 50,4 \text{ kg}$ ), johon lisätään henkilön asennosta riippuen selkälihasten supistumisesta aiheutuva paine. Lisäksi Hawkilla lennettäessä ylävartalon painoon vaikuttaa kypärän ja maskin (1,990 kg) sekä pelastusliivin (2,2 kg) paino. Näiden aiheuttama voima selkärankaan on 41,1 Newtonia.



Kuvio 22. Kehonosien massa prosentteina ihmisen kokonaispainosta. (Ahonen ym. 1998, 266).

Hawkissa kädet ovat tuettuina siten, että arviolta noin puolet käsien painosta kohdistuu ohjaussauvaan ja kaasukahvaan. Tällöin selkään kohdistuva paine 80 kg

painavalla henkilöllä on 450 Newtonia. Hawkissa luotisuora kulkee Tepon (2006) laskelmien mukaan 11,9 cm:n päässä L3-nikamasta. Tällöin painopisteen sijainti tuottaa 53,6 Newtonmetrin momentin, joka kumotaan selkälihasten tuomalla momentilla. Selkälihakset ovat 5 cm:n päässä selkärangasta taaksepäin, jolloin yhtälöksi saadaan 1070 Newtonia (53,5 Nm / 0,05 m). Tähän lisätään ylävartalon paino (45kg) 440 Newtonia niin tulokseksi saadaan 1510 Newtonia (1070 N + 440 N).

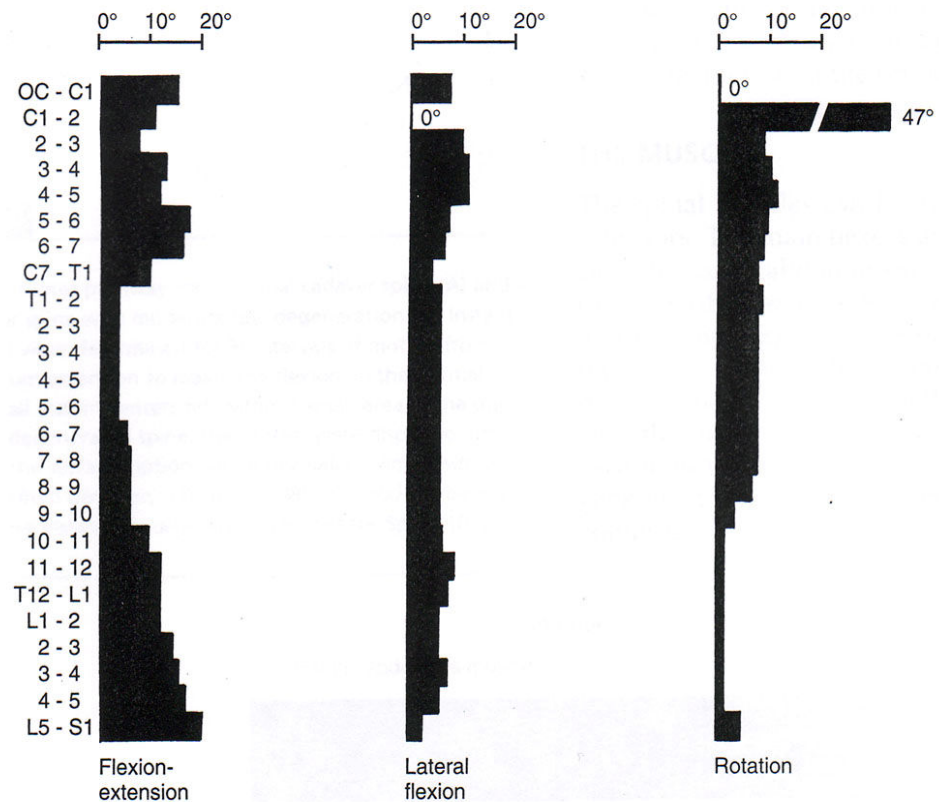
Selkänikamat pystyvät erikseen liikkumaan vain vähän, mutta koko ranka on hyvin liikkuva. Suurin osa taipumisesta tapahtuu lannerangassa. Lanneranka taipuu eteenpäin 60 astetta ja taaksepäin 35 astetta. Rinta- ja lanneranka taipuvat yhdessä 105 astetta eteenpäin ja 60 astetta taaksepäin. Kaularanka taipuu 40 astetta eteenpäin ja 75 astetta taaksepäin. Selkärangan kokonaisliikkuvuus eteenpäin on 110 astetta ja 140 astetta taaksepäin. Arvot ovat keskiarvoja. (Kapandji 1997, 40–80).

Pienikin selkärangan poikkeama pystyasennosta lisää selän kuormitusta. Painopisteen siirtyminen pois keskilinjalta vaatii selkälihasten jännittymistä. Selkälihakset jännittyvät eniten noin 45 astetta etukumarassa asennossa. Tässä asennossa selkälihakset tekevät eniten staattista lihastyötä, joten verenkierto häiriintyy ja selkärangan nikamien aineenvaihdunta laskee. Selän ollessa 90 astetta etukumarassa selkälihakset eivät ole enää jännittyneenä. Tässä asennossa selkälihasten tukeva vaikutus selkärankaan loppuu. Nivelsiteet rajoittavat tällöin selän eteentaivutusta samalla venyessään. (Cedercreutz & Hanhinen 1993, 24.)

Lannerangan liikkuvuus suhteessa rintarankaan on pieni. Lanneranka taipuu eteen ja taaksepäin 8–20 astetta. Sivusuunnassa taipumista tapahtuu 3–6 astetta ja kiertymistä vain 1–2 astetta. Lannerangan ja ristiluun liittymäkohta on lannerangan liikkuvin nivel. Eteen- ja taaksetaivutuksessa 75 prosenttia taivutuksesta tapahtuu tässä kohdassa: 20 prosenttia L4–L5 välilevyjen kohdalla ja 5 prosenttia muiden lannerangan nivelissä. Selkää taivutettaessa eteenpäin, ensimmäiset 50–60 astetta taipumisesta tapahtuu lannerangassa. (Hamill & Knutzen 2003, 240–245.)

Selkärangan liikkuvuus vaikuttaa myös lantioon. Lantion eteenpäin kallistuminen tapahtuu, kun vartaloa taivutetaan eteenpäin tai reidet suoristetaan suhteessa selkärankaan. Lantio taipuu eteen myös vatsaa pullistaessa ulos. Nämä kaikki asennot tuottavat lannerankaan pienen notkon, jolloin selkäranka on kaikkein

kestävimmillään. Lantion taaksetaipuminen tapahtuu kun vartaloa taivutetaan taaksepäin, alaselkä suoristuu tai reisiä taivutetaan suhteessa selkärankaan. Tällöin lannerangan lordoosi oikenee ja selkä kestää vähemmän kuormituksia. (Hamill & Knutzen 2003, 174.)



Kuvio 23. . Selkärangan nikamien liikkuvuus1. (White & Panjabi 1978. Nordin & Frankel 2001, 263 mukaan).

Kuviossa 23 on esitetty selkärangan liikkuvuus jokaisen nivelen osalta. Vasemmalta oikealle on esitetty selän taivutus ja ojennus suoraan eteen- ja taaksepäin, sivulle taivutus ja kiertoliike. Selkäranka on yksittäisinä nivelinä kohtuullisen jäykkä, mutta yhdessä nivelet muodostavat erittäin liikkuvan kokonaisuuden. Kuvioista 23 voimme päätellä liikkuvuuden mukaan nivelten vaurioitumisriskin. Eteen- ja taaksetaivutuksessa L5–S1 ovat herkimmin vaurioituvia. Kaularanka näyttäisi olevan C1–C2 kohdalta liikkuvin pyörittäessä päätä, joten se on todennäköinen kohta niskavauriolle. Lentokoneessa tämä kohta joutuu suuren rasituksen alle etenkin kuormituskertoimen kasvaessa. Ilmataistelun aikana 47 astetta pään pyöryksessä C1–C2 nivelen kohdalla, joten vaurioituminen ja kulumamuutokset ovat jopa todennäköisiä. Hamillin ja Knutzenin (2003, 242) mukaan kaularanka kääntyy sivulle noin 90 astetta. Suurin pyörimisliike saavutetaan C1–C2 nikamien kohdalla ja suurin sivusuuntainen taivutus tapahtuu C2–C4 kohdalla. Suurin taakse- ja

eteenpäintaivutus C1–C3 ja C7–T1 nikamien kohdalla. Pää pystyy kiertymään 80–90 astetta kummallekin puolelle.

Lihassoima on välttämätön ylläpitämään pään ja niskan tasapainoa. Selkärangassa lihakset vähentävät luiden kohdistuvaa rasitusta. (Nordin & Frankel (2001, 293.) Niskan niveleen C7–T1 näyttäisi kohdistuvan kaikissa niskan asennoissa pieniin vääntömomentti, kun leuka vedetään sisäänpäin. Pää täysin taaksepäin kallistuneena C7–T1 nikaman vääntömomentti on 3.7–6.5 Newtonmetriä ja liikkeen aikana vaihtelee välillä 1.1–2.4 Newtonmetriä. Pieni eteenpäin antaa 3.0–6.2 Newtonmetrin vääntömomentin. Pään painopisteestä johtuen, C7–T1 nikaman momentti pää neutraaliasennossa on 0.1Nm eteenpäin. Lihassoivuus selkärangan lihaksissa on hyvin alhainen riippumatta pään asennosta. Päästä tasapainottava momentti aiheutuu passiivisista rakenteellisista vaippaliitoksista ja jänteistä. Selkärangan nikamassa C4–C5 on mitattu 500–700 Newtonin kuormituksia selkä taipuneena eteen- ja sivullepäin sekä rotaation aikana. C4–C5 paine nousi 1100 Newtoniin selän taipuessa taaksepäin. (Harms-Ringdahl 1968, Nordin & Frankel 2001, 293 mukaan.)

## 6. OHJAAMOERGONOMIA HAWKISSA JA HORNETISSA

### 6.1 Lentokoneen ohjaamo työtilana

Lentokoneiden ohjaamot ovat vakiokokoiset, lentokonetyypistä riippuen. Eri ihmisryhmien antropometriaa ei oteta huomioon. Esimerkiksi USA:n keskivertoihmiselle antropometrisesti sopiva ohjaamo olisi vain 90 prosentille saksalaisista sopiva. Ranskalaisilla prosenttiluku on 80, italialaisilla 65, japanilaisilla 45, thaimaalaisilla 25 ja vietnamilaisilla ainoastaan 10 prosenttia. (Väyrynen, Nevala & Päivinen 2004, 56.) Lisäksi keskimääräiset antropometriset mitat muuttuvat. Esimerkiksi U.S.A:ssa tehdyssä tutkimuksessa on huomattu ihmisten keskipituuden kasvaneen 1940–1950-luvulta 2,5 cm. (Sheridan & Young 1996, 914.)

Työtilan perusvaatimuksena on, että näyttölaitteet ovat selvästi havaittavissa ja hallintalaitteet ovat ulottuvilla. Kuitenkin jokainen ohjaamo on kompromissin tulos. Ilmeistä lentokoneiden ohjaamoissa on tilanpuute. Ohjaamot suunnitellaan nykyisin sotilaslentäjän silmän aseman ympärille (design eye position, DEP). Sen perusteella ohjaamoon sijoitetaan mittaristo, häikäisysoja, ohjaimet ja muuta hallintalaitteet. Näiden objektien sijoittelua rajoittaa omalta osaltaan koneen muoto. Ensisijaiset mittarit tulee sijoittua ensisijaisen katselusektorin sisään. Nämä mittarit ovat ADI (Attitude indicator/flight director), tutka/painekorkeusmittari, variometri, ilmanopeus ja kompassi/suunta. (Sheridan & Young 1996, 899–900.)

Uuden teknologian ansiosta fly-by-wire sidestick -ohjaussauva on huomattavasti pienempi kuin ennen, jolloin sen liikuttelu helpottuu ja ahtausta ei rajoita sen käyttöä. (Vapaavuori ym. 1992, 127–129.) Sotilaslentäjän tulee nähdä lentokoneesta hyvin ulos. Varsinkin hävittäjälentäjän on pystyttävä optimaalisesti havaitsemaan ympäristö taistelutilanteen aikana.

Lentokoneen ohjaamon kriittiset tilanteet syntyvät heittoistuinhyppyssä tai törmäyksessä. Elimistö voi joutua kestämiään suuria, hetkellisiä tai pitkäaikaisia rasituksia, ja vaivojen alkamisajankohtaa voi olla vaikea nimetä tarkasti. Vapaavuori ym. (1992, 128) muistuttaa, että vuosien ajan lentokoneiden heittoistuinten vaatimuksina on ollut yhdeksän G:n rasituksen kestäminen eteenpäin. Ihmisruumis kestää 25 G:n hidastuvuuden eteenpäin, mutta olkavyöt kaksinkertaistavat tämän kestäkyvyn. Mikäli törmäys aiheutuu selkää menosuuntaan, ihminen kestää

vahingoittumatta jopa 80 G:tä. (Vapaavuori ym. 1992, 129.)

Tässä tutkimuksessa ohjaamotilojen mittaukset on toteutettu tutkittavien istuessa ohjaamossa istuimessa, ja ergonomian arviointi on kuvailevaa ja sisältää kirjoittajan subjektiivisen näkemyksen kustakin kohteesta. Nivelkulmien mittauksissa ja istumasennon määrittelyssä tutkittavana on käytetty ”Teukkaa”, nuorta lentäjälupausta. Seuraavassa ”Teukan” antropometriset mitat ja sulkeiden sisällä ilmavoimien vaatimat mitat: Pituus 181 cm (165–190 cm), selän pituus 94,5 cm (81–100 cm), ulottuvuus 80 cm (minimi 74 cm), alaraajan kokonaispituus 110 cm (97–114 cm) ja reiden pituus 59,5 cm (55–67 cm). (Puolustusvoimat. [viitattu 4.12.2006]. Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.ilmavoimat.fi/index.php?id=233>>.) Hyvässä lentoasennossa tutkittava yltää sauvaan sen ollessa etuasennossa ja mittareihin vyöt kireällä ja olkapäät selkänojaa vasten. Muun muassa syöksykierteessä voi tulla tilanne, jossa sauva on työnnettävä täysin eteen, jolloin kone oikenee syöksykierteestä.

## 6.2 Hawk Mk51 ohjaamoergonomia

Mitatut arvot ovat suhteellisia maanpinnan tasoon nähden. Lentokone lentää nopeudesta riippuen eri kohtauskulmilla, mikä tarkoittaa, että sotilaslentäjään kohdistuvat kuormituskertoimet eivät aina vaikuta samassa kulmassa. Esimerkiksi lennettäessä korkealla ja hiljaa, lentokoneen nokka on tavallista ylempänä, jotta lentokone pystyisi säilyttämään vaakalennon. Tämä vaikuttaa suoraan sotilaslentäjän asentoon ohjaamossa.

British Aerospacen valmistamassa Hawkissa lentäjät istuvat peräkkäin. Kummatkin ohjaamot ovat varustettu heittoistuimella ja niissä on 5-piste turvavyöt. Heittoistuimet ovat keskikohdasta 7,5 cm koveria, mikä helpottaa sotilaslentäjää pysymään paremmin heittoistuimessa sivuttaisien kiihtyvyyksien vallitessa. Sotilaslentäjän on mahdollista tukea pää selkänojan yläosaan, mutta käytännössä sitä ei käytetä. Syinä ovat muun muassa koneen värinä ja design eye position, jotka vaativat pään pitämisen irti selkänojasta. Mikäli pää tuetaan selkänojaan, sotilaslentäjä ei näe kaikkia tärkeitä mittareita.

Hawkin istuimen säätö toimii vain korkeussuunnassa. Istuimen etureuna on kallistettu hieman alaspäin, mikä on ergonomian kannalta oikea ratkaisu (Työterveyslaitos



1999). Säädetäessä heittoistuinta alaspäin, se liikkuu myös hiukan eteenpäin. Säättövara on 15 cm, mikä on juuri minimi teollisuusergonomian (1992) mukaan. Heittoistuimen lähtösuunta on 111 astetta vaakatasosta taaksepäin. Istuimen kallistus on 12.5 astetta ja selkänojan kallistus on 107 astetta ja pään tuen kulma on 98 astetta. Pään tuen kulma on hiukan pystympi, jotta design eye position saataisiin optimaaliseksi. Selän ja reiden välinen kulma on 94,5 astetta. Kukkonen (1998, 417) mukaan reiden ja selkärangan välinen kulma tulisi olla 105–120 astetta, joten Hawkin heittoistuimessa tämä kriteeri ei täyty. Mikäli selkänoja olisi 110 astetta kallellaan taaksepäin ja käytettäisiin selkätukea, lordoosi olisi hyvin lähellä normaalia seisoma-asentoa (Väyrynen 1996, 87).

Hawkin polkimet ovat säädettävissä viiteen eri asentoon. Niissä on kantapäille oikeaoppiset tuet, joissa jalkojen on helppo levätä (Työterveyslaitos 1999). Polkimien koko liikkuma-alue on 18 cm. Tutkittavan polvikulma, polkimien sijaitessa täysin edessä, on 135 astetta ja polkimien sijaitessa täysin takana, 92 astetta. Tilley (2002) mukaan optimaalinen polvikulma on 110–120 astetta. Tämä kriteeri täyttyy hyvin polkimien suuren säätöalueen johdosta.

Jalkatilan leveys on vain 20 cm, joten jalkojen liikuttelu sivusuunnassa on lähes mahdotonta. Jalkatilan leveyden tulisi olla lähteestä riippuen 80 cm (Teollisuusergonomia 1992, 51) tai 50–60 cm (Visuri & Aho 1990, 85).

Ohjaussauva tulee 12,5 cm reisien yläpuolelle. Kaasukahvan liikelaajuus on 18 cm, jolloin kaasun ollessa tyhjäkäynnillä kyynärpään kulma on 106 astetta ja kaasun täysin edessä kulma on 155 astetta. Liikealue on ergonomisesti oikea, koska käden kulmat eivät sijoitu ääriasentoihin. Sen sijaan kaasun ollessa tyhjäkäynnillä, tulee ranteen maksimi taipumiskulma vastaan, jolloin kaasukahvasta on mahdoton saada tukevaa otetta. (Saari 1982, 87.) Ranteen asennon poikkeaminen luonnollisesta keskiasennosta johtaa rannekanavan sisäisen paineen nousuun, ja samalla kasvaa myös ranteen yli kulkevien jänteiden ja kyynärvarren lihasten mekaaninen kuormitus (Werner, Armstrong, Bir. & Aylard 1997, 44–51). Paine kasvaa eniten silloin kun kämmen taipuu pikkusormen suuntaan suhteessa kyynärvarteeseen (Takala 2004, 115).

Mittausten mukaan silmästä (design eye position) tähtäimen keskelle on 57 cm. Tällöin katseen suunta on 7 astetta alaspäin. Ensisijaiset lennonvalvontamittarit sijaitsevat siten, että katselukulma alaspäin on 29 astetta etäisyydellä 68cm.

Vapaavuoren (1992, 127–129) mukaan paras katseluetäisyys olisi 71–78 cm. Sen sijaan katselukulmat tähtäimeen ja lennonvalvontamittareihin ovat optimaaliset, koska ne sijoittuvat suoraan eteenpäin maksimissaan 30 asteen kulmassa alaspäin (Cedercreutz & Hanhinen 1993, 27).

Hawkin heittoistuimen istuinosa on 40 cm pitkä ja 44 cm leveä. Teollisuusergonomian (1992, 51) mukaan istuimen leveyden tulisi olla 45 cm, joten Hawkin istuimen leveys on lähellä optimaalista arvoa. Eklundhin (1978) mukaan 2/3 osa reidestä pitää mahtua istuimelle. Tämä kriteeri täyttyy Hawkissa, kun reiden pituus on maksimissaan 60 cm ja istuimen pituus 40 cm. Ilmavoimien antropometriset kriteerit määrittelevät reiden pituudeksi 55–67 cm. Tällöin istuimen optimaalinen pituus olisi välillä 37–45 cm.

Sauvan ollessa keskellä, pituus oikeasta olkapäästä ohjaussauvaan on 54 cm, jolloin kyynärpään kulma on 113 astetta. Kyynärvarsi osoittaa alaspäin, jolloin olkapään kulma on nollan ja viiden asteen välillä. Olkavarren ja kehon välinen kulma ei saa olla yli 30 astetta (Teollisuusergonomia 1992, 51). Sauva liikkuu sivusuunnassa 17 cm ja pituussuunnassa 22 cm. Ohjaussauvaa liikuttaessa nivelet eivät joudu taipumaan ääriasentoihin, mikä on nikamille hyväksi kuormittavuuden kannalta (Saari 1982, 87).

Hawkissa on hydraulinen ohjausjärjestelmä, joten ohjaussauvaan on rakennettu keinovalo jousella ja punnuksella. Punnus lisää ohjaussauvan liikuttamiseen tarvittavaa voimaa G:n kasvaessa. Sauvan liikkeellelähtövoima on 3,5 Newtonia ja sivusuunnassa se on 4,5 Newtonia. Sauvan ollessa 6 mm taka-asennosta, tarvittava voima 100–110 Newtonia. Sivusuunnassa sauvan ollessa 6 mm laita-asennosta, tarvittava voima on 40–49 Newtonia. (Ilmavoimat. Hawk RHS-2, Luku 19 ohjaimet.) Näistä voimista voi päätellä, että kuormituskertoimen tuoman rasituksen lisäksi myös ohjainten liikuttelu vaatii voimia, jolloin nivelkulmien ja ergonomian tulee olla hyvällä tasolla, jotta vammoilta säästytään.

### **6.3 F-18 Hornet ohjaamoergonomia**

F-18 Hornetin ensimmäiset torjuntahävittäjät otettiin Suomessa käyttöön 1995. USA:sta ostettu konetyyppi on ergonomialtaan kehittyneempi kuin Hawk. Hornetin selkänoja on kallistettu vaakatasosta taaksepäin 115 astetta. Selkänojan korkeus jatkuu pään yläpuolelle, joten mahdollinen pään tukeminen on mahdollista.

Käytännössä päätä ei tueta lennolla selkänojaan. Pään paikan eli design eye positionin määrittäminen Hornetissa on helpompaa kuin Hawkissa, koska Hornetin HUD on rakennettu kahdesta peräkkäisestä läpinäkyvästä lasista. Kummassakin lasissa on merkintä, joiden mukaan hävittäjälentäjän on helppo säätää istuimen korkeus oikeaksi.

Heittoistuin on kallistettu taaksepäin noin 10 astetta pystyasennosta. Istuinta voi säätää korkeussuunnassa 12,7 cm. (Crew-systems Integration Section. (SY72N). Scott Price, Aircrew systems department. U.S.) Reiden ja selän välisen kulman tulisi olla 105–120 astetta (Kukkonen 1998, 417), jotta istuma-asento olisi hyvä. Hornetissa tämä kulma on 105 astetta, joten kriteeri täyttyy. Vertailun vuoksi F-16 Fighting Falcon hävittäjässä heittoistuin on kallellaan 120 astetta vaakatasosta taaksepäin. (General Dynamics, Fort Worth Division. Crew escape system. STM 1987; 160–311;1., Seng, Lam & Lee 2003, 164–168 mukaan). Hornetin istuimen säätövara korkeussuunnassa ei ergonomisten suositusten mukaan täyty. Teollisuusergonomian (1992, 51) mukaan säätövaran tulisi olla vähintään 15 cm.

Istuimen pituus on 42 cm, leveys edestä 45 cm ja takaa 41 cm. Pituus on riittävä, jotta ilmavoimien kriteerin täyttänyt henkilö saa 2/3:lle reisien pituudesta istuimelle. Istuimen leveyden tulisi olla vähintään 45 cm teollisuusergonomian (1992, 51) mukaan. Reisien kohdalta kriteeri täyttyy, mutta lonkan kohdalta heittoistuin on liian kapea.

Ohjaussauvan liike pituussuunnassa on 24 cm ja sivusuunnassa 20 cm. Oikeasta olkapäästä sauvaan on 60 cm, joten sauva täysin edessä välimatka on 72 cm. Yläraajan pituudella 80 cm, kyynärpään kulma on 120 astetta ohjaussauvan ollessa keskiasennossa. Ohjaussauvan työntäminen täysin eteen ei aiheuta kyynärnivelen joutumista äärialueelle, jota tulee työssä välttää (Saari 1982, 87). Sauvan paikka on keskellä edessä istuimen suhteen, joten olkavarren ja kehon välinen kulma ei ylitä Hornetissa 30 astetta, joka on Teollisuusergonomian (1992, 51) mukaan suositeltava maksimi arvo.

Kaasukahvan liike vasemmasta olkapäästä mitattuna on 44–61 cm välillä. Ote kaasukahvasta on huomattavasti parempi kuin Hawkissa. Ote kaasukahvasta antaa ranteelle optimaalisen kulman, eikä ranne joudu taipumaan ääriasentoihin. Kyynärpään kulma kaasukahvaa liikuteltaessa on 118–160 astetta. Myöskään

kyynärpää ei joudu ääriasentoihin, joka on Saaren (1982, 87) mukaan ergonomisesti oikein.

Polkimet liikkuvat portaattomasti pituussuunnassa. Säätovara on niin suuri, että 165–190 cm pitkä henkilö saa säädettyä polvikulman optimaaliselle alueelle. Parhaalta tuntuvassa istuma-asennossa tutkittavan polvikulma on 131 astetta. Tilley'n (2002) mukaan paras polvikulma on 110–120 astetta. Polkimia ei käytetä suihkukoneessa yhtä paljon kuin potkurikoneessa, eikä Hornetin polkimien liike ole kovin suuri. Tästä johtuen tutkittava pystyy painamaan polkimet pohjaan ilman, että polvet lukkiutuvat 180 asteen kulmaan.

Design eye position (DEP) on Hornetissa tarkka, johtuen sen helpposta määrittämisestä. Suuren G:n alla keho painuu hieman kasaan ja DEP voi muuttua hieman. Silmästä HUD:in keskelle on 59 cm. Katse on tällöin 11 astetta alaspäin (Crew-systems Integration Section. (SY72N). Scott Price, Aircrew systems department. U.S). Tämä on Cedercreutzin ja Hanhisen (1993, 27) korostamalla 30 asteen sektorilla. Myös Työterveyslaitos (1974, 7) määrittelee, että normaali katselualue on nollassa 15 astetta alaspäin.

Ohjaussauva tulee noin 16 cm reisisasosta ylöspäin. Tämä on sen verran matalalla, että lyhyillä yläraajoilla ohjaussauvan lyhyt varsi voi pakottaa sotilaslentäjän kurottamaan ohjaimiin. Se voi tehdä istuma-asennosta kumaran ja vasemmalle kiertyvän. Tämä on erityisen huono ratkaisu ergonomisesti, sillä se lisää selkärangan ja niskan herkkyyttä vaurioitua (Työterveyslaitos 1999).

#### **6.4 Hawk ja Hornet -suihkukoneiden ohjaamoergonomian vertailu**

Hawk ja Hornet ovat nopeita suihkukoneita, joissa kuormituskertoimen vaihtelu voi olla hyvin nopeaa. Kummatkin saavuttavat noin puolessa sekunnissa kahdeksan G:n kuormituskertoimen. Myös sivuttaissuuntaisia kiihtyvyyksiä esiintyy, koska siivekkeiden teho on hyvä suuresta nopeudesta johtuen. Näiden koneiden istuimet tukevat tarvittaessa hyvin päätä. Korkea selkänoja ehkäisee pään retkahtelemista taaksepäin.

Suurin ero Hawkin ja Hornetin istuimissa on selkänojan ja istuimen välinen kulma. Hawkin heittoistuimessa on ergonomisten arvojen mukaan huono istua. Tämä

ilmenee myös Ilmavoimien Esikunta viranomaiskäyttöön luokitellusta esityksestä (R1768/22.4/D/III, 11.5.2005), jossa alustavien kuormittavuustutkimuksesta saatujen tietojen perusteella 75 prosentilla sotilaslentäjistä on terveydellistä haittaa tukirankaoireista. Haitta kohdistuu erityisesti Hawk-kalustolla lentävään henkilöstöön. Nopein keino lyhyellä aikavälillä on saada Hawkin heittoistuimeen lannerankatuki, jonka avulla lannerangan lordoosi ei pääse suoristumaan. Tällöin selkäranka kestää paremmin kasvavia kuormituksia (Nienstedt ym. 2000, 113). Väyrysen (1996, 87) mukaan 4 cm paksu lannerankatuki edistää merkittävästi lordoosin säilymistä.

Hornetin heittoistuin on ergonomisten suositusten mukaan riittävän hyvä istumatyöhön. Selkänojan ja istuimen kulma on pienin mahdollinen ergonomisten suositusten mukaan. Hornetin ohjaussauva on suhteellisen pieni ja lyhyt. Lyhyt ohjaussauva pakottaa osan sotilaslentäjistä laskemaan oikeaa olkapäätä alas ja kiertämään sitä hiukan eteenpäin. Tämä sama ilmiö esiintyi molemmissa tarkasteltavissa lentokoneissa, mutta Hornetissa voimakkaammin. Silmiinpistävin asia Hornetissa suhteutettuna Hawkiin on portaaton polkimien säätö. Tämä mahdollistaa myös pieniä, mutta tärkeitä istuma-asentojen muutoksia.

Hawkissa ja Hornetissa on jalkahihnat, jotka toimivat heittoistuinhypyn alkuvaiheessa. Niiden tarkoitus on vetää jalat kiinni heittoistuimeen, etteivät polvet iskeydy ohjaamon reunaan. Hornetin jalkatila on 3 cm ahtaampi kuin Hawkissa. Hornetin jalkatilan yläreunaan on lisätty kumipehmuste. Hävittäjälentäjän lähdettyä heittoistuimen mukana, on polvien mahdollista iskeytyä jalkatilan reunaan, mikäli jalkahihnat eivät toimi oletetulla tavalla. Kumipehmusteen tarkoitus on vaimentaa polvien iskeytymistä jalkatilan etureunaan. Hawkissa kyseinen alue on rautaa.

Hawkin ja Hornetin heittoistuimen mittauksia lukiessa tulee ottaa huomioon, että hävittäjälentäjään vaikuttavan voiman suunta riippuu kohtauskulmasta. Maksimi kuormituskertoimia ei voi saada kohtauskulmalla nolla. Täten Hawkin heittoistuimen mittaukset ovat lähempänä totuutta, koska se ei pysty saavuttamaan suuria kuormituskertoimia yhtä suurella kohtauskulmalla kuin Hornet. Tätä ei ole otettu huomioon mittaustuloksissa, koska kohtauskulman vaihtelu lennolla on laaja.

Taulukko 3. Ohjaamoergonomian erot Hawkissa ja Hornetissa.

Mitattava suure	Lentokone		
	Hawk	Hornet	Optimaalinen
<b>Olkapäästä sauvaan (cm)</b>	54cm (kynärpää 113°)	48 - 72cm (kynärpää 120°)	Ei ääriasentohin
<b>Sauvan paikka suhteessa istuimeen</b>	Keskellä	Keskellä	Olkapään linjassa eteenpäin
<b>Sauvan korkeus reiden suhteen</b>	12,5cm	16cm	Tarpeeksi korkealle, jottei asento ole kiertynyt, mutta tarpeeksi matala jottei sauvan liike esty ääriasennoissa
<b>Ulottuvuus kaasukahvaan ja sen liikelaajuus</b>	50 - 65cm (kynärpää 106 - 155°)	48 - 72cm (kynärpää tyhjäkäynti asennossa 120°)	Ei ääriasentohin
<b>Selän ja reiden välinen kulma</b>	94,5°	105°	105° - 120°
<b>Polkimien säätöalue</b>	5 astentoa (18cm)	portaaton (riittävä)	Polvikulma / ulottuvuuden mukaan
<b>Polvikulma</b>	110 - 120°	110 - 120°	110 - 120°
<b>Istuimen pituussäätö</b>	Ei ole	Ei ole	Riittävä oikean polvikulman saavuttamiseksi
<b>Kovera selkänoja</b>	On	On	Tukeva istua
<b>Mittareiden katselualue</b>	Tähtäin -7° (57cm)	HUD -11° 59cm	Alle 30°
<b>Katseluetäisyys mittareihin</b>	68cm (-29°)	63cm	71 - 78cm
<b>Jalkatilan leveys istuimen</b>	20cm	17cm	50 - 60cm (80cm)
<b>istuimen pituus/leveys</b>	40/44cm	42/45cm	2/3 reiden pituudesta, vähintään 45cm

Suurin hyvän ergonomian vastainen tekijä ilmavoimien lentokoneissa on ohjaussauvan sijainti. Se pakottaa sotilaslentäjän kiertyneeseen asentoon, jotta tämä saa riittävän hyvän otteen ohjaussauvasta. Lentokoneiden ohjaamoihin voisi lisätä suuremmat peilit takasektorin tarkkailua varten, ettei sotilaslentäjän tarvitse kurkottaa kiertyneessä eteen taivutetussa asennossa. Istuimen säätövarassa ja jalkojen liikkuvuuden lisäämisessä olisi parantamisen varaa. Jos ohjaamoergonomia ei anna siihen mahdollisuutta, niin sotilaslentäjiä voisi ohjeistaa liikuttamaan polkimia aika-ajoin pituussuunnassa.

## 7. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

### 7.1 Metodologiset ratkaisut

Tieteellisen tutkimuksen strategiat voidaan luokitella kokeelliseen tutkimukseen, survey-tutkimukseen ja tapaustutkimukseen (Hirsjärvi ym. 2005, 125). Tämän työn taustalla on kokeelliselle tutkimukselle ominainen kvantitatiivinen tutkimusstrategia, jossa mitataan yhden käsiteltävän muuttujan vaikutusta toiseen muuttajaan. Koehenkilöt muodostavat otoksen suuremmasta perusjoukosta. Otosta analysoidaan erilaisten koejärjestelyjen valossa, harkitusti ja systemaattisesti olosuhteita muunnellen. Kokeelliselle tutkimukselle tyypillisesti testataan taustaoletuksen mukaisesti, saadaanko aikaan muutos yhdessä tai useammassa muuttujassa. Kvantitatiivisen tutkimuksen tieteelliset kriteerit - objektiivisuus, puolueettomuus, toistettavuus ja luotettavuus - korostavat tieteellisen tiedon yleispätevyyttä tutkijaan ja tutkimuskohteeseen nähden.

Tämä tutkimus etenee teoria- ja käsitevalintojen kautta tutkimusongelmien määrittelyyn, tutkimusstrategisiin ja -tekniisiin valintoihin. Tutkimuksessa perehdytään alan kirjallisuuteen istuma-asennon kuormittavuudesta ja biomekaniikasta, johon pohjautuen tehdään teoreettisia päätelmiä Hawkin ja Hornetin ohjaamoergonomiasta ja istuma-asennosta. Empiirinen osa muodostuu kyselystä ja mittauksista, jotka tehtiin pääsääntöisesti Hawkin ohjaamossa ja heittoistuimessa. Tutkimuksessa verrataan empiirisellä kokeilulla saatuja tuloksia kirjallisuuteen istuma-asennon kuormittavuudesta ja biomekaanisista kulmista. Päätelmät syntyivät otoksesta saatujen tietojen ja mittaustulosten perusteella.

Tutkittavat täyttivät kyselylomakkeen (Liite 6, 1–2). Kyselylomake sisälsi suljettuja ja avoimia kysymyksiä. (Heikkilä 2004, 50–51). Suljetuilla kysymyksillä pyrittiin selvittämään tutkittavien selkä- ja niskavaivojen esiintymistä sekä puutumista. Avoimilla kysymyksillä tavoiteltiin yllättäviä ja käyttökelpoisia mielipiteitä kuinka tutkittavat pyrkivät ehkäisemään selän ja niskan kuormitusta ohjaamossa. Tämän jälkeen he istuivat irrotettuun Hawkin heittoistuimeen. He kiristivät vyöt tiukalle ja katsoivat samaan pisteeseen kuvitellun horisontin kohdalle. Tämän jälkeen jokaiselle sovitettiin selkätuki. Käytössä oli neljä eripaksuista tukea. Paksuudet olivat 7 mm, 14 mm, 20 mm ja 26 mm. Yhdistelemällä näitä suoritettiin istuma-asennon mittaukset. Samalla suoritettiin teemahaastattelu istuma-asennon tuntemuksista (Liite 6, 3).

Pään asento mitattiin selkätuen kanssa ja ilman. Selkätuen vaikutus pään asentoon ja sitä kautta niskan kuormittavuuteen mitattiin. Koetilanne jäljitteli aitoa tilannetta ohjaamossa.

Heittoistuin oli koetilanteessa samassa asennossa kuin Hawkin ohjaamossa. Koska istuin on kiinnitetty telineeseen, jossa ei ole ohjaussauvaa tai polkimia kuten Hawkissa, jouduttiin tarkastamaan tutkittavien kohdalla, että nivelkulmat ovat samat kuin oikeassa koneessa istuttaessa. Tuoli oli asetettu jalkojen alle siten, että polvikulma oli noin 120 astetta ja kädet lepäsivät rentoina reisien päällä. Jokainen tutkittava sai samat ohjeet. Tarkoituksena oli, että kukaan ei näe toisen istuma-asentoa tai kuule vastauksia kyselyyn. Tässä onnistuttiin hyvin.

Tutkittavista otettiin digitaalikameralla kuvat, joista istuma-asennon muutokset näkyvät selkätuen kanssa ja ilman. Kamera oli kiinteästi jalustalla siten, että kuvat otettiin aina samasta kulmasta ja samalta etäisyydeltä tutkittavista. Kaikista tutkittavista otettiin vähintään kaksi kuvaa. Kaikki kuvat tulostettiin paperille, jotta istuma-asennon muutoksia pystyttiin dokumentoimaan ja tarvittaessa tekemään tarkentavia mittauksia.

Kyselylomakkeiden suljetut kysymyksen analysoitiin SPSS-tilasto-ohjelman avulla. Aineistosta tehtiin frekvenssijakaumat sekä keskiluvut, ja aineisto kuvattiin prosentteina. Soveltuvien muuttujien keskiarvoja vertailtiin varianssianalyysillä ja t-testin avulla. Lisäksi muuttujia ristiintaulukoitiin. Muuttujien yhteyttä testattiin khiin neliö -testillä, jonka avulla selvitettiin muuttujien välisten odotettujen ja havaittujen frekvenssien erot. Tutkimuksessa käytettiin viiden prosentin merkitsevyystasoa.

Mittausten tarkkuutta ja luotettavuutta olisi voitu lisätä istuttamalla tutkittavia useita kertoja heittoistuimeen. Toisaalta tähän ei nähty tarvetta, koska ensimmäisen pilottimittauksen aikana huomattiin erittäin tarkkojen mittausten olevan mahdotonta käytettävissä olevilla välineillä. Tarkoituksena ei siis ollut saada esille tarkkoja selkä- ja niskanikamien kohtia tai tarkkoja astelukuja siitä kuinka istuma-asento muuttuu selkätuen vaikutuksesta.

Tutkimuksessa ennakkokäsityksenä on istuma-asennon paraneminen Hawkin heittoistuimessa selkätuen ansiosta. Tällä tavoin välilevyypaine laskee selässä ja niskan asento muuttuu ergonomisesti paremmaksi. Muuttamalla istuma-asentoa



selkätuella, päästään lähemmäksi sitä lordoosia, joka vallitsee seisossa. Lordoosin asennon muututtua myös kaularangan asento muuttuu siten, että pään painopiste siirtyy lähemmäksi tasapainokeskiötä. Tämän seurauksena sotilaslentäjän ylävartalon paino ei kasvata selkärankaan kohdistuvaa momenttivartta vaarallisen suureksi. Muutoksia arvioidaan koeasetelmalla Hawkin heittoistuimessa. Momentin pienentyessä, myös tukirankaan kohdistuva paine pienenee. Seurauksena niska- ja selkävaivat vähenevät ilmavoimien sotilaslentäjillä.

Mittaukset ajoitettiin ajanjaksoon, jolloin molempien kurssien tutkittavat olivat paikalla Kauhavalla. Tämä edellytti omaa aktiivisuutta järjestää itselle vapaata lentopalveluksesta sekä ajoittaa tutkittavien käyminen noin 15 minuuttia kestävässä mittauksessa siten, ettei se häiritsisi heidän lentopalvelustaan. Kaikki tutkittavat olivat yhteistyöhaluisia ja tutkimuksen tarkoitus kerrottiin vastaajille.

Tutkimuksen teko on ollut prosessi, joka alkoi syksyllä vuonna 2004. Kaaviokuva tutkimuksen kulusta löytyy luvusta yksi. Kandidaatin tutkimus oli eräänlainen esiselvitys, josta olen jatkanut perehtymistä lentokoneen heittoistuimen ergonomiaan ja sotilaslentäjien suorituskykyyn. Kandidaatin tutkimuksessa mittasin nivelkulmia neljässä Suomen ilmavoimien lentokoneessa. Tässä tutkimuksessa tarkasteluni käsitti lentokoneen ohjaamossa syntyviä nivelkulmia, biomekaanisia kulmia kvalitatiivisesta näkökulmasta, niska ja -selkävaivoja, ergonomiaa sekä istuma-asentoa. Tutkimuksen taustalla on kiinnostus suorituskykyisen joukon toimintakykyisten yksilöiden hyvinvointiin.

Laatimani aikataulu piti kohtalaisen hyvin paikkansa, mutta tutkimuksen tekoon kului arvioitua enemmän aikaa. Tutkimuksen teon ohessa suoritin koko ajan lentopalvelusta. Tutkimuksen teko ajoittui viikonloppuihin, iltoihin ja öihin. Työnantajan intresseissä oli ensimmäisenä lentokoulutuksen vieminen eteenpäin. Tämä vei voimia tutkimuksen tekemisestä, mutta aiheen kiinnostavuus motivoi minua jaksamaan ymmärrettyäni työni merkityksen selkätukihanketta tukevana tekijänä.

Tutkimuksessa ovat mukana mittaukset, jotka tein vuonna 2005 F-18 Hornetissa ja Hawk Mk51:ssä. Mittaamalla saatua käytännön tietoa suhteutan teoriaan. Tutkimus on selittävä asiakirja- ja kirjallisuuskatsaus. Näkökulma on lentävään henkilökuntaan kuuluvan tutkijan näkökulma.

## 7.2 Kyselyyn vastanneiden taustatiedot

Tutkimus sisältää otannan (n=26), josta saadut tulokset analysoin tarkasti. Otantatutkimus on menetelmä, jossa tutkimuksen lähtökohteeksi valitaan vain osa perusjoukosta. Ryväsotannassa eli klusteriotannassa populaatio jaetaan jonkin kriteerin mukaan ryppäisiin, ja otokseen valitaan kokonaisia klustereita yksittäisten henkilöiden sijasta. (Nummenmaa 2004, 24–25.) Valittuun otokseen kohdistuvan analyysin perusteella tehdään koko perusjoukkoa koskevia päätelmiä. Ryväsotanta helpottaa tutkimuksen kenttätöitä, mutta vähentää otannan tarkkuutta (Heikkilä 2004, 33–40).

Perusjoukkona ovat ilmavoimien sotilaslentäjät, jotka lentävät tai ovat lentäneet Hawk suihkuharjoituskoneella. Otos koostui KadK90:n ja KadK91:n yhteensä 26 sotilaslentäjästä. Johtuen ilmavoimien valintakriteereistä, tutkittavat sijoittuvat antropometrisesti samojen maksimi- ja minimiarvojen väliin. Poikkeustapauksia ei voi olla. Pituudeksi on määriteltä 165–190 cm ja painoksi 54–97 kilogrammaa. BMI:n (painoindeksi) tulee olla miehillä välillä 19–25 ja naisilla 18–27. Naisilla on ollut mahdollisuus hakeutua sotilaslentäjäksi vuodesta 1995, mutta tämä otos ei sisällä yhtään naista. Selän istumapituuden tulee olla 81–100 cm ja reiden pituuden 55–67 cm. (Puolustusvoimat. [viitattu 4.12.2006]. Saatavilla [www-muodossa: <URL: http://www.ilmavoimat.fi/index.php?id=233>.](http://www.ilmavoimat.fi/index.php?id=233))

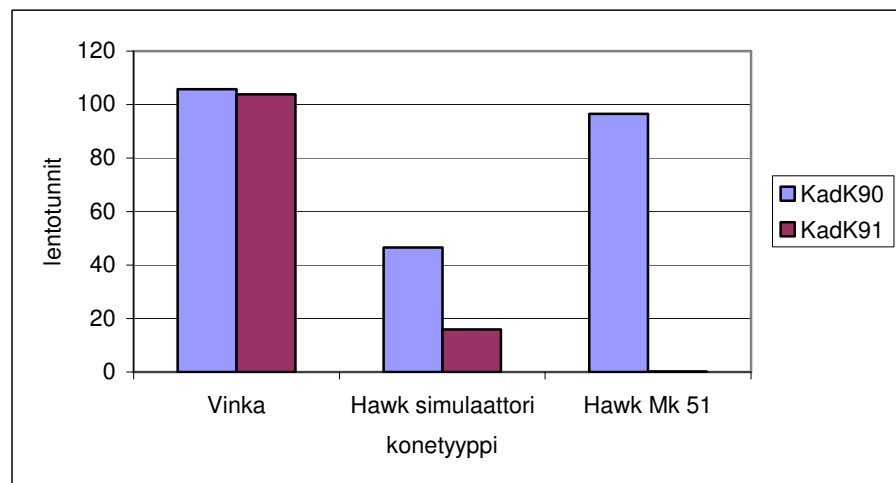
Paino- ja pituusvaatimukset johtuvat lentokoneiden ohjaamon vakiokoosta ja istuimen säädettävyydestä sekä heittoistuinhyppyn mahdollisesta suorittamisesta. Mitä kevyempi sotilaslentäjä on, sitä suurempi kiihtyvyyttä aiheuttaa heittoistuinhyppyn aikana. Pitkällä sotilaslentäjällä on vaarana polvien osuminen ohjaamon reunaan heittoistuinhyppyn aikana. Esimerkiksi British Aerospace Hawk Mk51 heittoistuimen laukaisupatruuna ja rakettimootori ovat suunniteltu tietyn painoisia henkilöitä varten. Rakettimootori palaa 0.25 sekuntia mikä on riittävä aika poistamaan sotilaslentäjä tarpeeksi kauas lentokoneesta (Ilmavoimat Hawk ohjaajan ohje, selostus ja käsittely, Heittoistuimet). Heittoistuimeen kohdistuu laukaistaessa aina samansuuruinen voima. Hawkin heittoistuin aiheuttaa hetkellisesti jopa 14–16 G:n kuormituskertoimen (Ilmavoimat 1982, 1–5).

IlmavEh-os PAK I 03:03 määrittelee hakuvaiheessa niska-, kaula-, selkä- ja vatsalihasten voiman, mitkä testattavan tulee saavuttaa läpäistäkseen testit. Testi on

toteutettu laitteella, mikä on suunniteltu mittaamaan ainoastaan yhden lihasryhmän maksimivoimantuottoa. Kaulan maksimivoiman tulee olla vähintään 15 kilogrammaa ja niskan vähintään 22 kilogrammaa. Vatsalihasten maksimivoiman tulee olla vähintään 70 prosenttia testattavan henkilön painosta ja selän puolella vähintään 95 prosenttia testattavan henkilön painosta.

Kadetit olivat pääosin 1983 syntyneitä. Heidän keskipituutensa oli 178,6 cm ja keskipaino 75,35 kg. Suurin ero kurssien välillä oli Hawk lentotuntien määrässä.

Taulukko 4. Tutkittavien lentotuntien määrä.



Mittaukset toteutettiin samassa heittoistuimessa, jota Oksa, Linja ja Rintala käyttivät vuonna 2003 tutkiessaan selkätuen vaikutusta vastaponnistuskykyyn. Heittoistuin sijaitsi Lentosotakoulun varuskuntasairaalassa Kauhavalla. KadK91:n ohjaajat mitattiin joulukuussa 2006 ja KadK90:n ohjaajat tammikuussa 2007. Tammikuussa suoritetuissa mittauksissa ilmailufysiologi Harri Rintala ohjasi mittausten tekoa ja antoi ammattilaisen näkökulman mittauksiin.

### 7.3 Tutkimuksen luotettavuus

Kvantitatiivisen tutkimuksen luotettavuutta kuvataan käsitteillä, validiteetti (oikeellisuus), reliabiliteetti (luotettavuus) ja objektiivisuus. Validiteetti kuvaa sitä kuinka hyvin on onnistuttu mittaamaan tarpeeksi kattavasti ja tehokkaasti juuri sitä mitä pitikin eli voidaanko mittausten avulla ratkaista tutkimusongelma. Validiutta voi arvioida eri näkökulmista. Hirsjärvi, Remes ja Sajavaara (2001, 214) puhuvat ennustevalidiudesta, tutkimusasetelmavalidiudesta ja rakennevalidiudesta.

Reliabiliteetti eli luotettavuus tarkoittaa, että aineiston keruu on tehty oikein ja

mittaustulokset ovat toistettavissa. Asia voidaan todeta usealla eri tavalla. Toisten tutkijoiden on voitava tarvittaessa toistaa tutkimus ja päästä kutakuinkin samaan tulokseen. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2001, 213.) Mittausten tarkoitus tässä tutkimuksessa on saada hyvä ulkoinen reliabiliteetti, eli mittaukset ovat toistettavissa. Sisäinen reliabiliteetti saavutetaan tekemällä samalla tutkittavalla mittaukset useampaan kertaan.

Kvantitatiivisessa tutkimuksessa tietoa voidaan kerätä myös kyselylomakkeilla. Kyselylomake on rakennettu tutkimusongelman ja siitä johdettujen tutkimuskysymysten ehdoilla. Hyvä kysymys on yksinkertainen, lyhyt ja selkeä. Kyselylomakkeen avulla kerätään tutkimusongelman ratkaisemiseksi tarvittava tieto. Erityisesti mielipiteitä ja asenteita koskevat kysymykset ovat erityisen alttiita luotettavuus- ja pätevyys-ongelmille. Vastaja ei välttämättä ole selvillä omista tuntemuksistaan tai ei ehkä ole ennen kysymyksen esittämistä pysähtynyt miettimään tuntemuksiaan kyseiseen asiaan. Vastajan tulkinta omasta mielipiteestään voi vaihdella mielentilan, ympäristön ja ajankohdan mukaan. Vastatessaan henkilö saattaa ajatella myös vastauksen sosiaalista hyväksyttävyyttä tai kyselyn tekijän odotuksia. Jopa haastateltavan ja haastattelijan välinen henkilökemia voi aiheuttaa virheitä. Kvalitatiivisessa ja kvantitatiivisessa tutkimuksissa voidaan tutkimuksen validiutta tarkentaa käyttämällä useita eri menetelmiä. Tutkimusmenetelmien yhteyskäytöstä käytetään nimitystä triangulaatio. Muita nimityksiä ovat mixing methods, monimetodinen lähestymistapa ja crystallization. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2001, 215.)

Tämä tutkimus täyttää luotettavuudelle ja pätevyydelle esitetyt vaatimukset siltä osin, että sen kulku oli suunnitellun mukainen. Otantatutkimuksessa oli mukana otos ( $n=26$ ) perusjoukosta, jolloin tilastollinen päättely eli tulosten yleistäminen koko perusjoukkoa – Hawk-lentäjiä ilmavoimissa – koskevaksi sisältää oman problematiikkansa. Tilastollisessa päättelyssä on käytetty viiden prosentin merkitsevyystasoa (Significance level). Toisaalta otantatutkimuksessa koon pienuus mahdollistaa huolellisen ja tarkan mittaamisen, jolloin otantatutkimuksen tulokset voivatkin olla luotettavampia kuin kokonaistutkimuksen. Pienestä otantajoukosta tehdyt havainnot kuvaavat, minkä verran selkätuki vaikuttaa istuma-asentoon. Teoriatiedon perusteella kyetään päättämään selkätuen vaikutuksia istuma-asennon kuormittavuuteen ja vaikutuksia biomekaanisiin kulmiin.

Ennen varsinaisia mittauksia testasin koeasetelman Hawkin heittoistuimessa koehenkilön avulla. En osannut ennalta ottaa huomioon, kuinka vaikeaa käytettävillä välineillä oli saada haluttu tieto esille. Alustavat mittaukset Hornetissa ja Hawkissa kaksi vuotta sitten oli helppo suorittaa, joten kvantitatiivinen menetelmä tuntui luonnolliselta tarkkojen numeeriset arvojen saamiseksi.

Luotettavimman oloiset lähteet löytyivät englannin kielellä. Lähteissä käytettiin paljon latinankielisiä termejä, joten tekstin luku oli aluksi vaikeaa. Termien sisäistämisen jälkeen lukeminen helpottui ja tekstin ymmärtämisen taso mahdollisti referoinnin. Tutkimus oli haasteellinen. Perehtyminen istuma-asentoon, biomekaniikkaan, niska- ja selkävaivoihin ilman aikaisempaa tietoa ihmisen fysiologiasta, tuntui ylipääsemättömältä.

## 8. TULOKSET

### 8.1 Selkä- ja niskavaivojen esiintyminen ja niiden ehkäisy

Noin 100 tuntia Hawkilla lentäneillä esiintyi selkävaivoja 46 prosentilla ja niskavaivoja 46 prosentilla. Niillä, jotka eivät olleet lentäneet yhtään tuntia Hawkilla, esiintyi selkävaivoja 15 prosentilla ja niskavaivoja vain 8 prosentilla. Taulukkoon 8 (liite 7) on koottu selkä- ja niskavaivojen määrät konetyypeittäin ja vaivojen korreloiminen lentotunteihin.

Noin 100 tuntia Hawkilla lentäneistä 38 prosenttia ilmoitti kärsineensä selän puutumisesta lennolla ja 23 prosenttia niskan puutumisesta. Niistä, jotka eivät olleet lentäneet yhtään tuntia Hawkilla, selän puutumisesta kärsi 23 prosenttia ja niskan puutumisesta vain 8 prosenttia. Kukaan tutkittavista ei ollut lentänyt ilmataistelulentoja, joissa pää joutuisi kääntymään suuren kuormituskertoimen alla.

Avoimilla kysymyksillä selvitettiin, kuinka tutkittavat pyrkivät ehkäisemään selän ja niskan kuormitusta Hawkissa. 15 prosenttia vastaajista ei osannut mainita yhtään keinoa selän puutumisen ehkäisemiseksi. Kaksi kolmasosaa pyrki ehkäisemään selän puutumista istumalla ohjaamossa suorana. 15 prosenttia vastaajista sääti heittoistuimen korkeutta, polkimia tai vöitä. Seitsemän prosenttia vastasi välttävänsä turhaa G:tä lennoilla ja yhtä moni vastaajista kertoi liikkuvansa ohjaamossa. Eräs vastaajista kertoi välttävänsä lennolla G:tä.

Niskan kuormitusta ehkäiseviä keinoja mainittiin vähemmän kuin selän kuormitusta ehkäiseviä keinoja. Neljännes vastaajista ei pyrkinyt ehkäisemään mitenkään niskan kuormitusta ohjaamossa, mutta laajimmin käytetty keino oli pään suorassa pitäminen G:lle altistumisen aikana. Yksi vastaajista kertoi jännittävänsä niskaa G:n aikana ja 11,5 prosenttia ehkäisi kuormitusta istumalla suorassa ja ryhdikkäässä, hyvässä asennossa. Kahdeksan prosenttia vastaajista kertoi pään pyörittelyn ja venyttelyn ehkäisevän heidän niskan kuormitustaan.

### 8.2 Ennakkokäsitykset selkätuesta

Ennakkokäsityksiä selkätuesta kartoitettiin kyselylomakkeen suljetuilla kysymyksillä. Kaikki vastaajat olivat sitä mieltä, että selkätuki parantaa istuma-asentoa. 88,5

prosenttia vastaajista uskoi selkätuen ehkäisevän selkävaivoja ja reilu kolmannes uskoi selkätuella olevan niskavaivoja ehkäisevää vaikutusta. Vain neljän prosentin mielestä selkätuki voi olla vaarallinen ja 15,4 prosenttia uskoi selkätuen olevan vaaraton kaikissa tilanteissa. Ennen mittauksia noin puolet vastaajista piti selkätukea mukavana käyttää. Noin puolet vastaajista oli sitä mieltä, että selkätuki on helppokäyttöinen ja viidennes uskoi selkätuen olevan vaikea käyttää. Kukaan vastaajista ei ollut sitä mieltä, että tuki olisi huonontanut istuma-asentoa, lisännyt selkävaivoja, tuntunut epämukavalta tai kasvattanut niskavaivojen riskiä.

Taulukko 5. Vastaajien ennakkokäsityksiä selkätuesta.

Ennakkokäsitys selkätuen käytöstä	%
Tuki parantaa istuma-asentoa	100
Tuki ehkäisee selkävaivoja	88
Tuki on helppokäyttöinen	54
Tuki on mukava käyttää	46
Tuki ehkäisee niskavaivoja	38
Tuki on vaikea käyttää	19
Tuki on vaaraton kaikissa tilanteissa	15
Tuki voi olla vaarallinen	4
Tuki kasvattaa niskavaivojen riskiä	0
Tuki tuntuu epämukavalta	0
Tuki lisää selkävaivoja	0
Tuki huonontaa istuma-asentoa	0

### 8.3 Selkätuen vaikutus selän ja niskan asentoon

Tuen vaikutusta selvitettiin sekä haastatteleamalla että mittauksilla. 58 prosenttia koki selän asennon ryhdikkäämmäksi selkätuen kanssa. Yhtä moni oli sitä mieltä, että istuma-asento oli jäməkämpä, tukevampi tai selkätuki esti vastaajaa valumasta heittoistuimessa alaspäin. Selkätuki vaikutti vastaajien mukaan selän biomekaanisiin kulmiin. 85 prosenttia vastasi selkätuen säilyttävän lannerangan lordoosin tai selkätuen ylläpitävän luonnollista istuma-asentoa.

Ohuen tuen vaikutus istuma-asentoon oli vähäinen. Kymmenesosa vastaajista ei kokenut mitään eroa istuma-asennossa, kun käytössä oli pienin mahdollinen

selkätuki (7 mm). 11,5 prosenttia vastaajista oli sitä mieltä, että selkätuki auttoi hartioita pysymään heittoistuimen selkänöjässä paremmin kiinni. Neljännes oli sitä mieltä, että selkätuki ehkäisi selän väsymistä. Vastaajista viidennes koki selkätuen vaikuttavan myös negatiivisesti heidän istuma-asentoonsa. Negatiiviseksi mainittiin ylävartalon taipuminen hieman eteenpäin. Kahdella vastaajalla selkätuki aiheutti takapuolen liukumisen istuimessa eteenpäin. Tutkimuksen ajan istuttaessa selkälihakset puutuivat ja selkätuki painoi selkää.

Teemahaastattelun tuloksena voidaan todeta, että selkätuki parantaa huomattavasti istuma-asentoa Hawkin heittoistuimessa. 88,5 prosenttia vastaajista piti istuma-asentoa parempana selkätuen kanssa. Kahdeksan prosentin mielestä selkätuki ei vaikuttanut istuma-asentoon. Neljä prosenttia piti istuma-asentoa parempana ilman selkätukea, mutta tekevän istuma-asennosta ryhdikkäämmän eikä niin kyyryn.

88 prosenttia vastaajista koki selkätuen muuttavan istuma-asentoa. Vain 12 prosentin mielestä selkätuella ei ollut vaikutusta istuma-asentoon. Ylivoimaisesti suurimmaksi kehittämiskohteeksi nousi selkätuen muotoilu. Vastaajista 77 prosenttia kehittäisi selkätuen muotoilua. Muotoilun parantaminen koski selkätuen kokoa, reunojen pyöristämistä ja paksuusvaihtoehtoja. Yksilöllinen selkätuen muotoilu poistaisi nämä ongelmat. Kahdeksan prosenttia vastaajista oli sitä mieltä, että selkätuki voisi olla pehmeämpi. Suurin osa tutkittavista koki selkätuen positiiviseksi ja loput neutraaliksi tai negatiiviseksi.

Taulukko 6. Tuntemukset selkätuesta.

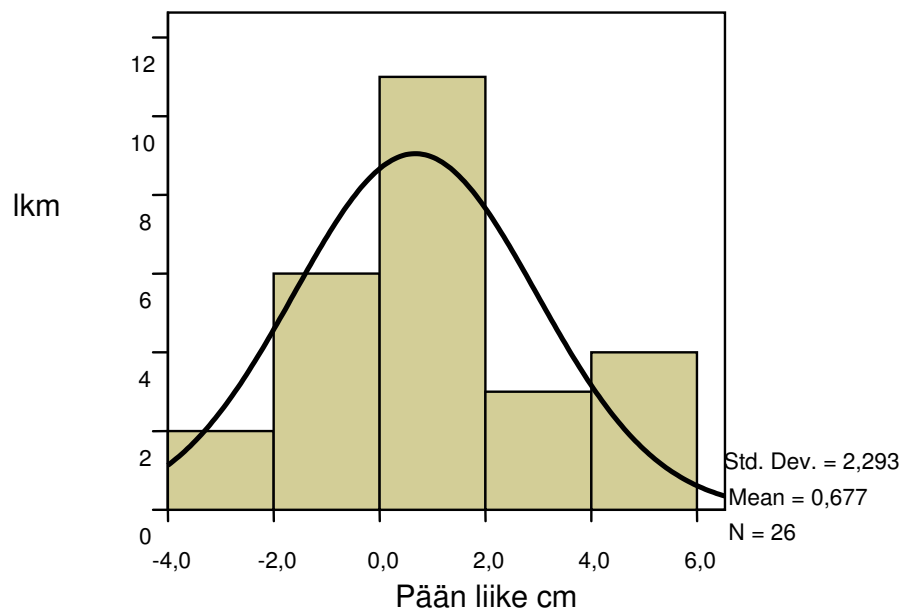
		lkm	%
Tuki tuntuu	positiivinen	19	73,1
	negatiivinen	1	3,8
	neutraali	6	23,1

Vastaajien mielestä selkätuen vaikutusta niskaan oli vaikeampi arvioida, kuin vaikutusta selkään. Haastattelun mukaan noin puolet vastaajista oli sitä mieltä, ettei selkätuki vaikuttanut niskan asentoon ja 1/3 piti istuma-asentoa parempana selkätuen kanssa. 42 prosenttia arvioi selkätuen siirtävän pään asentoa taaemmaksi. 11,5 prosenttia arvioi kaularangan suoremaksi selkätuen kanssa ja neljä prosenttia koki istuma-asennon olevan parempi ilman selkätukea.



Tutkittavista kolmannes koki selkätuen parantavan kaularangan asentoa. Kaksi kolmasosaa mielsi, ettei selkätuki vaikuttanut kaularangan asentoon. Tämä on ristiriidassa mittausten kanssa. Pieniä niskan asennon muutoksia on itse vaikea huomata ilman pitkäjänteistä kokeilua aidossa ympäristössä. Kahdeksan prosenttia vastaajista halusi kokeilla selkätukea lennolla pelastusliivin kanssa, jotta kaularangan asennon muutokset tulisivat paremmin esille. Hawkilla lennettäessä pelastusliivi roikkuu lennon aikana niskan varassa. Raskaan painonsa ja puutteellisen ergonomian vuoksi juuri pelastusliivi koettiin yhdeksi suurimmista niskaa kuormittavista tekijöistä.

Mittaamalla selvitettiin selkätuen vaikutusta pään asentoon. Ensin pään asento mitattiin referenssipisteestä ilman selkätukea. Mittojen keskiarvoksi tuli 60,8 cm. Seuraavaksi lisättiin selkätuki ja toistettiin mittaus. Mittojen keskiarvoksi tuli 60,1 cm. Näistä kahdesta arvosta laskettiin erotus, jolloin saatiin pään liike. Pää liikkui välillä 0,25 cm eteenpäin ja 1,6 cm taaksepäin (Taulukko 7, liite 7).

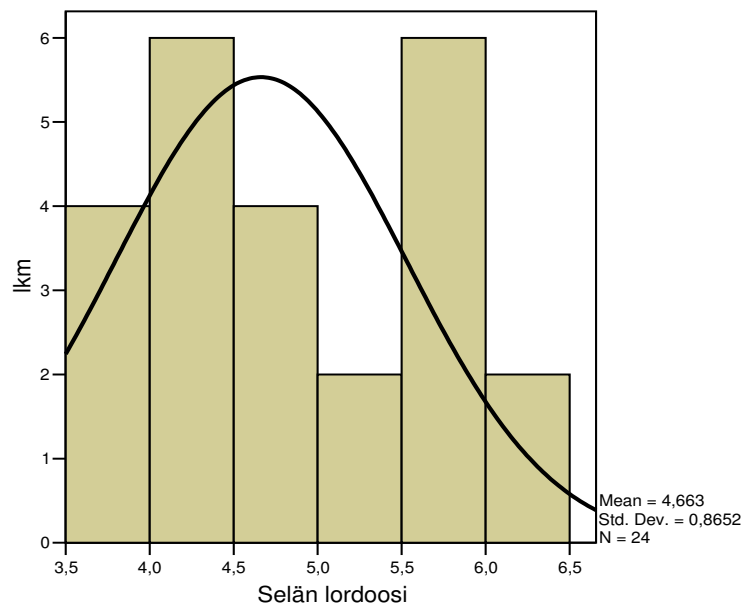


Kuvio 24. Tuen vaikutus pään liikkeeseen.

Kuvioon 24 on piirretty jakauman histogrammi ja otoskeskiarvoa sekä -keskihajontaa (Std Dev.) vastaava normaalijakauma. Kuvio havainnollistaa kuinka lähellä normaalijakaumaa pään liike on. Tutkittavista puolella pää siirtyi taaksepäin ja 31 prosentilla pää siirtyi eteenpäin. Mittauksilla saatiin selville, että 19 prosentilla tutkittavista pää pysyi paikallaan selkätuesta huolimatta. Suurin siirtymä eteenpäin oli 4 cm ja taaksepäin 6 cm.

## 8.4 Lordoosin syvyyden vaikutus pään eteen työntymiseen

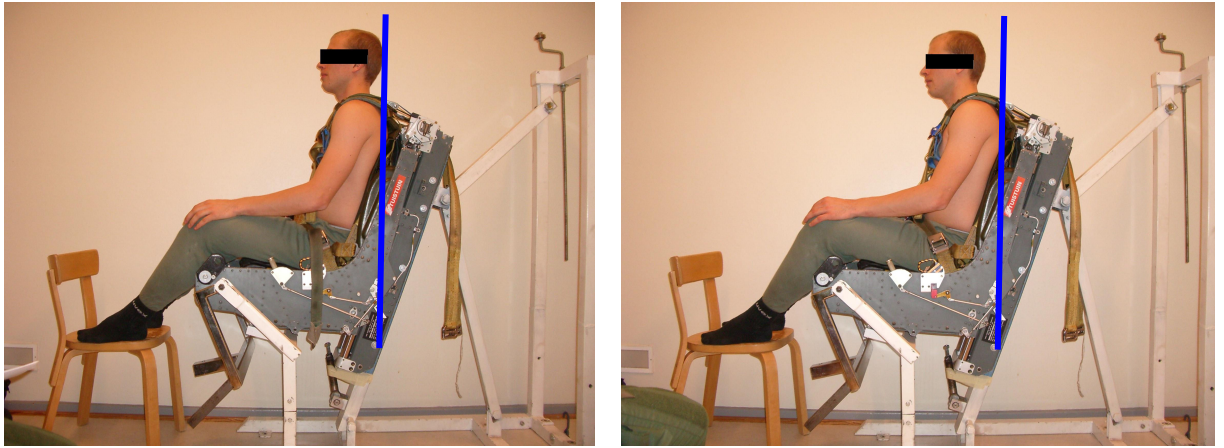
Lordoosin koko mitattiin tutkittavilta (n=24) seisoma-asennossa. Tutkittavien selän lordoosi vaihteli välillä 3,5–6,5 cm. Keskiarvo oli 4,7 cm. Kuviosta 25 näkyy jakauman histogrammi ja otoskeskiarvoa sekä -keskihajontaa (Std Dev.) vastaava normaalijakauma.



Kuvio 25. Tutkittavien selän lordoosin suuruus.

Pään liike heittoistuimessa ei korreloinut lordoosin syvyyden suuruuteen (Liite 8). Korrelaatiokerroin 0,25 osoitti, että lordoosin syvyys ei vaikuttanut selkätuen muutoksesta aiheutuvaan pään liikkeeseen. Mittausten mukaan oletus siitä, että suurilordoosinen sotilaslentäjä hyötyisi pään asennon korjaajana enemmän, ei pidä paikkaansa. Myöskään käytetyn selkätuen paksuus (keskiarvo 1,8 cm) ei korreloinut pään liikkeen kanssa. Korrelaatiokerroin oli 0,28.

Kuviosta 26 pystyy havaitsemaan pään asennon muutoksen selkätuen kanssa. Kuviossa sininen apuviiva havainnollistaa, kuinka pää työntyy eteenpäin ilman selkätukea. Kuvan koehenkilöllä selkätuki vaikutti lordoosiin, joka heijastui myös pään asentoon.



Kuvio 26. Tutkittava Hawkin heittoistuimessa selkätuella (vasemmalla) ja ilman.

Yhteenvedona mittauksista päädytään johtopäätökseen, että lordoosin koolla ei ole vaikutusta pään asentoon.

### 8.5 Selkärankaan kohdistuvia kuormituksia Hawkissa

Selkärankaan ja nimenomaan alaselkään vaikuttavia voimia pystyttiin selvittämään henkilön painon perusteella. Tutkittavat painoivat keskimäärin 73,35 kilogrammaa ilman lentovarusteita. Lentovarusteet lisäävät painoa seuraavasti: Hawkin kypärä (Helmet Integrated Systems, Iso-Britannia 2007) painaa 1,5 kilogrammaa ja maski noin 0,5 kilogrammaa, jolloin yhteispainoksi tulee lähes kaksi kilogrammaa. Pelastusliivi lisää painoa kaksi kilogrammaa. Hornetin kypärä (Gentex Corporation, USA 2007) painaa maskin kanssa 1,8 kilogrammaa. Hornetissa pelastusliivin paino kohdistuu tasaisemmin niskan, hartioiden ja vyötärön alueelle, kuin Hawkissa käytettävän liivin. Modifioitua Hornet pelastusliiviä käytetään myös Hawkissa.

73,35 kilogrammaa painavan henkilön ylävartalo painaa 41,44 kilogrammaa ( $73,35 \text{ kg} \times (43 \% + 7 \% + 6,5 \%)$ ), joka vastaan 400 Newtonia ( $41,44 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$ ). Kun tähän lisätään kypärän, maskin ja pelastusliivin paino, saadaan yhteensä 4,190 kilogrammaa ( $1,530 \text{ kg} + 0,46 \text{ kg} + 2,2 \text{ kg}$ ). Lentohaalarin rintataskuissa voidaan olettaa olevan noin 0,3 kilogrammaa pelastautumisvarusteita. Täten ylävartalon painoksi L3-nikaman kohdalla kertyy 46 kilogrammaa ( $41,4 \text{ kg} + 4,190 \text{ kg} + 0,3 \text{ kg}$ ), joka on (450 Newtonia). 73,35 kilogrammaa painavan henkilön L3-nikamaan kohdistuva vääntömomentti on 54 Newtonmetriä ( $0,119 \text{ m} \times 450 \text{ N}$ ). Selkälihasten tarvitsema voima tämän vääntömomentin kumoamiseksi on 1100 Newtonia ( $54 \text{ Nm} / 0,05 \text{ m}$ ). Tähän lisätynä ylävartalon paino kohdistuneena L3- nikamaan on 1550 Newtonia ( $1100 \text{ N} + 450 \text{ N}$ ).

Lennolla tykkiväistöä tehdessä saavutetaan 7,5 G:n kuormituskerroin. Tällöin L3-nikamaan kohdistuva voima on 11600 Newtonia ( $7,5 \text{ m/s}^2 \times 1550 \text{ N}$ ). Tutkittavan tekemä oikea-aikainen vastaponnistus ja Valsalvan manööveri vähentävät selkälihasten tarvitsemaa voimaa 40 prosenttia ja keventää välilevyn kuormitusta 30 prosentilla. Tällöin L3-nikamaan kohdistuvaksi voimaksi saadaan 8100 Newtonia ( $0,7 \times 11655 \text{ N}$ ) ja selkärankaan kohdistuva voima on jo ylittänyt selkärangan murtumispisteen.

Teoreettisesti laskettua kuormitusta vähentävät Hawkissa olevat olkavyöt ja heittoistuimen selkänoja. Olkavöitä vasten nojaamalla tai niiden painaessa sotilaslentäjää heittoistuimen selkänojaa vasten selkärankaan kohdistuva voima pienenee. Selkärankaan kohdistuvan voiman todellista suuruutta on mahdoton laskea tarkasti ilman asianmukaisia mittauksia lennolla. Tähän tutkimukseen varatuin resurssein mittaukset lentokoneessa lennon aikana eivät olleet mahdollisia.

## 9. TUTKIMUSTULOSTEN POHDINTA

### 9.1 Keskeiset johtopäätökset ja niiden hyödynnettävyys

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli perehtyä Hawkin ohjaamon istuinergonomiaan tutkimalla, muuttaako selkätuki istuma-asentoa Hawkin heittoistuimessa siten, että selän ja niskan asento paranee ergonomisesti. Lisäksi tutkittiin, onko lannerangan lordoosin suuruudella yhteyttä pään eteen työntymiseen Hawkin heittoistuimessa. Kyselylomakkeella selvitettiin selkä- ja niskavaivojen esiintymistä KadK90:n ja KadK91:n ohjaajilla, kuinka he ehkäisevät niitä, sekä ennakkokäsityksiä selkätuen käytöstä. Lopuksi laskettiin teorian perusteella lannerankaan vaikuttavien voimien suuruutta Hawkillä lennettäessä.

Otos oli pieni (n=26), mutta näin oli mahdollista sovittaa huolella jokaiselle tutkittavalle sopiva selkätuki ja antaa huolelliset vyöttäytymisohjeet. Kuitenkin tutkimusolosuhteissa löytyy aina kehitettävää, jotta jokaisella vastaajalla olisi sopiva selkätuki ja vyöttäytymisen valvonta tarkkaa.

Cedercreutz (1997, 135) on tutkinut aiemmin, että selkätuen tulee ulottua noin 4 cm eteenpäin selkänojasta mitattuna ja sen tulisi myötäillä selän muotoa, jotta paine jakautuisi suurelle pinta-alalle. Ennakkokäsityksenä lannerangan asento muuttuu selkätuen vaikutuksesta siten, että lannerangan lordoosi säilyy. Myös kaularangan asento muuttuu siten, että pään painopiste liikkuu lähemmäksi painovoimakeskiön kautta kulkevaa luotisuoraan. Tällöin niskaan kohdistuvat rasitukset teoriassa pienentyisivät pään ollessa suorassa.

Yllättävää mittauksia analysoitaessa oli, kuinka vähän selkätuki vaikutti pään asentoon. Pää siirtyi keskimäärin 0,7 cm taaksepäin. Osalla tutkittavista pää siirtyi eteenpäin, vaikka kineettisen ketjun mukaan sen tulisi siirtyä taaksepäin (Koistinen ym. 1998, 37–41). Mittaustulosten mukaan osalla tutkittavista pää pysyi paikallaan selkätuesta huolimatta. Myös pään vertikaalisia muutoksia havaittiin mittausten aikana. Havaintojen mukaan, selkätuki kohotti kaularangan asentoa ylöspäin samalla, kun pää liikkui taaksepäin. Pään liikkeen vertikaalinen muutos voi olettaa johtuvan selkärangan luonnollisemmasta asennosta selkätuen kanssa istuttaessa. Mittauksissa keskityttiin kuitenkin pään horisontaaliseen liikkeeseen.

Tutkimustulos niskakipujen korreloimisesta lentotuntien määrään oli yhteneväinen Hämäläisen (1993, 53) tutkimuksen kanssa. Mielenkiintoista on, johtuvatko näin varhaisessa vaiheessa ilmenevät vaivat Hawkin heittoistuimen ergonomiasta. Tutkittavien keinot ehkäistä kuormitusta olivat osittain epärealistisia. Esimerkiksi kuormituskertoimen välttäminen ei liene realistinen vaihtoehto ilmataistelun aikana. Osa ehdotti pään suorassa pitämistä äkillisen kuormituskertoimen kasvun aikana, mutta se ei ole mahdollista ilmataistelussa. Alan kirjallisuudessa suositellaan liikkumista ohjaamossa nivelien ja lihaksien aineenvaihdunnan tehostamiseksi, mutta Hawkin ohjaamossa liikkuminen ei tule kyseeseen.

Tutkittavat toivat esiin useita selkätuen parannusehdotuksia. Selkätukea voi parantaa muotoilemalla. Muotoilu koskee selkätuen kokoa, reunojen pyöreyttä ja paksuusvaihtoehtoja. Muotoiltava selkätuen prototyyppi mahdollistaisi yksilön selkärangan huomioon ottamisen paremmin. Tutkittaessa, hyötyykö suurilordoosinen teoreettisesti enemmän tuesta lannerangan kulman korjauksen myötä, edellyttää erilaisia mittausvälineitä. Hawkin heittoistuimessa selkänojan kulmaa ei voi säätää, joten selkätuki vaikuttaa lordoosin kautta pelkästään pään asentoon, joka siirtyy eteenpäin, taaksepäin tai pysyy paikoillaan, koska hartiat ja takapuoli pysyvät kiinni heittoistuimessa. Suurilordoosisen sotilaslentäjän voidaan olettaa hyötyvän enemmän selkätuesta, kuin pienilordoosinen. Syvä lordoosi seisten oikenee istuttaessa ilman selkätukea enemmän, kuin pieni lordoosi. Syvän lordoosin oiettua muutokset selkärangan nikamissa ovat rajummat, kuin pienilordoosisella. Mitä suurempi muutos tapahtuu luonnollisen kokoiseen lordoosiin, sitä vahingoittuvampi selkärangasta tulee.

Tutkimustulokset osoittavat, että tietyillä lihaksilla on merkitystä tukirangan kestävyteen. Kadettien aloittaessa Hawk-lentokoulutusohjelman, tutkimustuloksia voitaisiin hyödyntää tärkeimpien tukirankaa tukevien lihasten voimakkuuden selvittämiseen. Riittääkö lihasten voima tukemaan selkärankaa ja näin ehkäisemään tukirankavaivoja. Haaraoja (2000, 87) kirjoittaa, että Maanpuolustuskorkeakoulun toteuttaman liikuntakoulutuksen yhteydessä on jokaiselle kadetille laadittu henkilökohtainen kunto-ohjelma neljäksi vuodeksi eteenpäin. Ohjelmassa on huomioitu opetussuunnitelman mukainen liikuntakoulutus. Kadetit huolehtivat silti jokainen itse oman fyysisen kunnon edistymisestä muun opiskelun ohessa. Kehittymisen mittaamisesta ja palautteen antamisesta huolehtivat liikunnan opettajat. Tämän järjestelmän ongelmana on muun muassa liikunnan opettajien määrä

suhteessa kadettien määrään. Lisäksi henkilökohtaisesta kunto-ohjelman laatimisesta tingitään. Kadettien tulevat työnkuvat vaihtelevat suuresti, joten oikeanlaisen kunto-ohjelman tekeminen on haastavaa.

Kirjallisuuskatsauksen tulokset käsittelevät normaalia istumatyötä, mutta tuloksia voidaan osittain käyttää tavallisuudesta poikkeavassa ympäristössä. Katsauksen perusteella voidaan nimetä asioita, jotka tekevät lentokoneen ohjaamosta ergonomisesti paremman paikan työskennellä. Ergonomian parantamiseen lentokoneessa ei kuitenkaan riitä pelkkä ergonomian tuntemus, vaan tarvitaan tietämystä monesta muusta osa-alueesta. Tällaisia alueita ovat muun muassa ihmisen kehon tarkka tuntemus, antropometria, biomekaniikka, aerodynamiikka ja kuormituskertoimen vaikutus elimistöön.

Istuma-asennon muutostarve ja instrumenttien sijainnin kritisointi on teoreettisen pohdinnan tulos ja muutoksia voi toteuttaa vain lentoturvallisuudesta tinkimättä. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää ohjaamoergonomian kehittämisessä ja heittoistuinten säätöjä tai istuma-asentoa parantavia apuvälineitä kehittäessä. Myös niska- ja selkävaivojen hoitoa voidaan kehittää. Tiedetään, että välilevyvammat voivat uusiutua (Aho ym. 1990, 78), joten varsinkin akuuttien vammojen hoidossa tulee olla tarkkana. Jos vamma ei parane, niin seuraa pitkä lentokielto tai ainakin kuormituksen henkilökohtainen rajoittaminen. Sotilaslentäjiä tulee neuvoa hakeutumaan hoitoon välittömästi niska- tai selkävammaa epäiltäessä.

Kirjallisuudessa ergonomisiksi vaaratekijöiksi luetellaan muun muassa kaularangan haitallinen taivutus tai kierto, yläraajojen kohoasento, ranteiden haitallinen taivutus, kyynärpää/-varren toistoliike tai haitallinen kierto tai taivutus, selän haitallinen kumara, kiertäminen tai taivutus, ja jatkuva paikallaan pysyvä kuormitus. Tutkimusten mukaan näyttää siltä, että oireiden vähentämiseen tarvittavat säädöt ja muutokset ovat sangen yksilöllisiä. Siten ei ole olemassa kaikille sopivaa vakioasettelua tai työvälinettä. Henkilöstön työhyvinvoinnin edistämiseksi tarvitaan kehittämis- ja tutkimustyötä sekä malleja. Henkilökohtaisten selkätukien saaminen sotilaslentäjien käyttöön on askel kohti parempaa ohjaamoergonomiaa. Toivon, että tämä tutkimus siivittää osaltaan henkilökohtaisen selkätuen käyttöönottoa ilmavoimien sotilaslentäjille.

## 9.2 Jatkotutkimusehdotukset

Tutkimuksen kuluessa nousi esiin monta mielenkiintoista tutkimusaihetta. Tämä tutkimus käsittelee sotilaslentäjien niska- ja selkävaivoja sotilaslentäjän näkökulmasta. Mielenkiintoista olisi tarkastella samaa aihetta työnantajan näkökulmasta. Tarkasteluun voisi sisällyttää laskelmia, joiden perusteella nykyisten selkä- ja niskavaivojen hoitojen kulut suhteutettaisiin kuluihin ergonomian parantamiseen lentokoneen ohjaamossa. Kiinnostavaa olisi myös selvittää globaalisti ilmavoimien toimenpiteitä selkä- ja niskavaivojen ehkäisyssä. Myös eri konekaluston vaikutus tukirankaongelmien määrään voisi olla tarkastelemisen arvoista.

Kiinnostava tutkimusaihe olisi, pysytäänkö mittauksilla selvittämään jo LentoRuk:n valintavaiheessa selän kestävyttä. Selkärangan liikkuvuusmittauksilla löydetäisiin niin sanotut ”riskiselät”. Hamillin ja Knutzenin (2003, 234) mukaan selkärangan liikkuvimmat kohdat ovat herkimmin vaurioituvia. Selkäranka on sitä liikkuvampi mitä suuremmat ovat lannerangan- ja kaularangan lordoosit. Mitä suurempi selkäranka, sitä jäykempi se on.

Uransa alussa olevien sotilaslentäjien tulee tietää riskit, joita tulevat työtehtävät hänelle tarjoavat. Suomessa ei ole tutkittu sotilaslentäjän antropometrinen mittojen todennäköistä suhdetta niska- ja selkävaivojen syntymiseen. Jatkotutkimuksessa voisikin paneutua siihen tarkemmin. Tutkimus toteutettaisiin haastattelemalla asiantuntijoita ja tekemällä kysely sotilaslentäjille. Kyselyn avulla poimittaisiin otos eniten selkävaivoja kokeneista sotilaslentäjistä.

Tutkimuksen aikana heräsi kysymys, vaikuttaako yhdellä lentokalustolla lennetty tuntimäärä myöhemmin uralla niska- ja hartiakipujen esiintyvyyteen? Kuinka kehittää ergonomiaa ja työoloja lentokoneen ohjaamossa? Tarjoaako uudistuva teknologia vaihtoehtoja? On olemassa näyttöä Hawk suihkuharjoituskoneella lentämisen vaikutuksesta niska- ja selkäkipuihin. Ilmailufysiologi Harri Rintalan ajama selkätuki Hawkiin pitäisi vähentää selkävaivoja. Mikäli vaivojen syntyvyydellä on suhde antropometriaan, sotilaslentäjien valintaa voisi tarkentaa ja rajata LentoRuk:lle hakijoiden antropometrisia mittoja. Riskiryhmään kuuluvien henkilöiden poisrajaaminen nopeuttaisi valintaprosessia ja säästyttäisiin myöhemmin lentopalveluksen keskeyttämisiltä. Näin ollen kallis sotilaslentäjien koulutus ei menisi hukkaan.



Mielenkiintoista olisi myös vertailla Hawk- ja Hornet-lentäjiä, jotka ovat joutuneet rajoittamaan lentämistä tai ovat lentokiellossa selkä- ja niskavaivojen vuoksi. Vertailu koskisi heidän antropometrisia mittojaan ja selän liikkuvuutta palvelukseen tultaessa sekä lentotuntien määrää eri konetyypeillä.

## LÄHTEET

### 1. JULKAISEMATTOMAT LÄHTEET

Crew-systems Integration Section. (SY72N). Scott Price, Aircrew systems department. U.S.

Ilmavoimat. 1982. Hawk, Järjestelmä 29 / Pelastautumisvarusteet HW 5–29S1.

Ilmavoimat, Hawk ohjaajan ohje, selostus ja käsittely, Heittoistuimet.

Ilmavoimat. Hawk RHS–2, luku 19, ohjaimet.

Ilmavoimien Esikunta, 11.05.2005. R1768/22.4/D/III. Viranomaiskäyttö, Esitys.

Ilmavoimien Esikunta, 16.9.2004. R3114/22.7/D/III. Viranomaiskäyttö, Päätös.

Sotilaslentäjien lääketieteelliset valintamenettelyt. IlmavEh-os PAK I 03:03.

### 2. JULKAISTUT LÄHTEET

Aho, J., Hämäläinen, O. & Vanharanta, H. 1990, 74–79. Niskakivut suomalaisilla sotilaslentäjillä. Ilmailulääketieteen erikoisnumero 1/1990.

Ahonen, J. & Lahtinen, T. 1995, 294. Lihastasapaino ja ryhti. Teoksessa kehon rakenne, toiminta ja lihashuolto. 4.uusittu painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Ahonen, J., Lahtinen, T., Pogliani, G., Saarinen, H., Sundström, M, Suovanen, J., Vanninen, V. & Wirhed, R. 1998. Kehon rakenne, toiminta ja lihashuolto. 5.uusittu painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Airaksinen, O. 1998. Tutkimustietoa selkä- ja niskavaivoista. Teoksessa Selän rakenne, toiminta ja kuntoutus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Bouisset, S. 1988. Työasennot ja työliikkeet. Teoksessa Työn fysiologia. Juva: WSOY:n graafiset laitokset. Alkuperäisteos: Précis de Physiologie du Travail 1967. Masson, Paris.

Brisson, C., Montreuil S. & Punnett, L, 1999. Effects of an ergonomic training program on workers with video display units. Scandinavian Journal of Work Environment & Health Vol 25, Nro 3, 255–263.

Cedercreutz, G. 1997. Selkäsairauksien riskitekijöitä. toim: Kukkonen, R., Hanhinen, H., Ketola, R., Luopajarvi, T., Noronen, L. & Helminen, P. Työfysioterapia. Yhteistyötä työ- ja toimintakyvyn hyväksi. Helsinki: Työterveyslaitos.

Cedercreutz, G. & Hanhinen, H. 1993. Niska, selkä ja työ. Vaasa: WR RIP Ab/ Wasa Repro Oy/ WR GRAPHICS Oy.

Chaffin, D., Andersson, G. & Martin, B. 1999. Occupational Biomechanics. 3. painos. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

Eklundh, M. 1978. Spara Ryggen. Käänt. Peura, J. 1980. Säästä selkäsi. Tampere: Tamprint.

Enoka, R. 1994. Neuromechanical basis of kinesiology 2.painos. U.S.A: Braun-Brumfield

Ergonomia tiedote 3/1993. Työterveyslaitos.

Ernsting, J., Nicholson, A. & Rainford, D. 1999. Aviation physiology and aircrew systems. Teoksessa Aviation medicine. 3.painos. London: Butterworth-Heinemann.

Fakta 2001 4.osa, 1981, 534. Porvoo: WSOY

Gellerstedt, S., Almqvist, R., Atterbrant, D., Myhrman, D., Wikström, B. & Winkel, J. 1999. Nordiska ergonomiska riktlinjen för skogsmaskiner. Suomenkielinen versio: Metsäkoneiden ergonomian suositukset pohjoismaissa. Vantaa: Tummavuoren kirjapaino Oy.

- Grönblad, M. 1998. Välilevy selkävun lähteenä. Teoksessa selän rakenne, toiminta ja kuntoutus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Hamill, J. & Knutsen, K. 2003. Biomechanical Basis of Human Movement. second edition. U.S.A: Lippincott Williams & Wilkins.
- Heikkilä, A. 1998. Selkä. Juva: WSOY.
- Heikkilä, T 2004. Tilastollinen tutkimus 5. uudistettu painos. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Hervonen, A. 1979. Anatomia 1, Tuki- ja liikuntaelimistö. 2.painos. Tampere: RKV-Offset
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2001. Tutki ja kirjoita. 6–7. painos. Vantaa: Tummavuoren kirjapaino Oy.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2005. Tutki ja kirjoita. 11. painos. Vantaa: Tummavuoren kirjapaino Oy.
- Hämäläinen, O. 1993. Fighter pilot`s neck pain. Oulu: university of oulu, printing center.
- Hämäläinen,O., Vanharanta, H., Hupli, M., Karhu, M., Kuronen, P. & Kinnunen, H. 1996. Aviation, Space and environmental medicine. July 67(7); 659–661. Spinal shrinkage due to +Gz forces. Alexandria: Aerospace Medical Association.
- Ivergård, T. 1992. Handbook of control room design and ergonomics. London; Taylor & Francis.
- Kanninen, P & Rintala, H. 1996. Voima. Teoksessa Ilmavoimien lentävän henkilöstön liikuntaopas. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Kapandji, I.A. 1997. Kinesiologia, Osa 3 Selkärangan, Rintakehän ja lantion nivelten toiminta. Laukaa: Medirehab. Alkuperäinen julkaisu Physiologie articulaire. Ranska: 1995: Édition Vigot, Paris.

- Karvonen, E. 1997. Kohti relationaalista tietokäsitystä. Teoksessa Stachon, K. toim. Näkökulmia tietoyhteiskuntaan. Tampere: Gaudeamus
- Ketola, J-M., Heinimaa, T., Kivimäki, T., & Lappalainen, J. 2001. Muuttuviin töihin soveltuva riskinarviointimenetelmä. Työ ja ihminen. Vol 15, Nro 4–5, 242–255.
- Koistinen, J. 1998. Lannerangan toiminnallista anatomiaa; Niska – lisääntynyt staattinen työ aiheuttaa ongelmia; Selkärangan yleisanatomia. Teoksessa Selän rakenne, toiminta ja kuntoutus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Korte, M. 1999. Hawkissa käytössä olevan Martin Baker MK SF 10B-1/2 heittoistuimen ala- ja ristiselän lisätuki. Kauhava.
- Koskela, A. 1970, 128–129. Työasennot. Teoksessa Ergonomia. 2. uusitettu painos. Porvoo: WSOY.
- Kouri, J-P. 1998. Selkäkipu - mitä voimme tehdä sen eteen? Teoksessa selän rakenne, toiminta ja kuntoutus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Kroemer, K.H.E & Grandjean, E. 1997. Fitting the task to the human. 5. painos. Great Britain: Taylor & Francis.
- Krusen, F., Ellwood, C.M. & Kottle, F.J. 1965. Handbook of physical medicine and rehabilitation. Philadelphia: Saunders
- Kukkonen, R. & Ketola, R. 2002, 276. Ergonomian merkitys niska- ja yläraajavaivoissa. Teoksessa niska- ja yläraajavaivojen ennaltaehkäisy, hoito ja kuntoutus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Kukkonen, R. 1998, 417. Ergonomia liikuntaelinten kunnon ylläpitäjänä. Teoksessa selän rakenne, toiminta ja kuntoutus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Kukkonen, R. 1993, 15. Ruumiillisen kuormituksen arviointi osallistuvassa suunnittelussa. Teoksessa Ergonomia, työkuormituksen arviointi tiedote 2/1993. Helsinki: Painotalo MIKTOR.

- Kukkonen, R. & Takala, E-P. 2001 Työfysioterapia, Helsinki: Vammalan kirjapaino
- Kuronen, P. & Myllyniemi, J. 1996, 11. Lentäjän työn kuormittavuus. Teoksessa Ilmavoimien lentävän henkilöstön liikuntaopas. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Kyrklund, M. Fysiokimpparyhmät ovat aktiivista fysioterapiaa. 2002 Teoksessa niska- ja yläraajavaivojen ennaltaehkäisy, hoito ja kuntoutus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Leino, P. & Magni, G. 1993. Depressive and distress symptoms as predictor of low back pain, neck shoulder pain, and other musculoskeletal morbidity: a 10-year follow-up of metal industry employees. *Pain* 53, 89–94
- Luhtanen, P. 1988. Biomekaniikan tutkimusmenetelmien perusteet. Jyväskylän yliopiston monistuskeskus.
- Luoma–Aho, P. 2005. Hawkin selkätuen hankinnan tarpeellisuus. Maanpuolustuskorkeakoulu. Koulutustaidonlaitos. Tutkimus
- Murtonen, M. 2000. Riskien arviointi työpaikalla. Työkirja. Sosiaali- ja terveysministeriö. Tampere.
- Nienstedt, W. 2004. Lääketieteen termit, Duodecim selittävä suursanakirja. 4.Painos. Jyväskylä: Gummerus.
- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A., Björkqvist, S. 2000. Ihmisen fysiologia ja anatomia 12–13 painos. Porvoo: WSOY.
- Nordin, M. & Frankel, V. 2001. Basis biomechanics of the musculoskeletal system. 3. painos. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Nummenmaa, L. 2004. Käyttäytymistieteiden tilastolliset menetelmät. 1–2.painos. Helsinki: Tammi.
- Oksa, J., Linja, T & Rintala, H. 2003. Aviation, Space and environmental medicine. Vol 74, No, 8. August 2003. The effect of lumbar support on the effectiveness of anti-

G straining manuevers. Alexandria: Aerospace Medical Association.

Pheasant, S. 1996. Bodyspace; Anthropolmetry, Ergonomics and the Design of Work. 2.painos. Great Britain: Padstow Ltd

Punakallio, A. 1997, 92–97. Motorinen taito työssä ja sen arviointi. Teoksessa Kukkonen, R., Hanhinen, H., Ketola, R., Luopajarvi, T., Noronen, L. & Helminen, P. (toim.): Työfysioterapia: Yhteistyötä työ- ja toimintakyvyn hyväksi. Helsinki: Työterveyslaitos

Riegel, K. 1973. Dialectic operations: the final period of cognitive development. Human Develepment, Vol. 16, 344–372.

Rintala, H. 1996. Lentävän henkilöstön liikunta. Ilmavoimat 1996, 115–118.

Saari, J. 1982. Ergonomian perusteet, työterveyslaitos. Jyväskylä: K. J. Gummerus.

Seng, Lam & Lee 2003, 164–168. Acceleration Effect on Neck Muscle strength: Pilots vs. Non-pilots. Teoksessa Aviation, Space, and environmental medicine 2003, Volume 74, number 2.

Sheridan & Young 1996, 899–914. Human Factors in Aeroxpace medicine. Teoksessa Fundamentals of Aerospace medicine. 2.painos. Baltimore: Williams & Wilkins.

Sovelius, R., Oksa, J., Rintala, H., Huhtala, H., Ylinen. J. & Siitonen. S. 2006. Trampoline exercise vs. strength training to reduce neck strain in fighter pilots. Aviation, Space, Environmental Medicine. 77:20–25.

Taimela, S. 2002, 200. Niskan retkahdusvamma. Teoksessa niska- ja yläraajavaivojen ennaltaehkäisy, hoito ja kuntoutus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Takala, E-P. 2002. Static muscular load, an increasing hazard in modern information technology (Editorial). Scandinavian Journal of Work Environment & Health. Vol 28, Nro 4, 211–213.

Takala, E-P. 2004. Systemaattinen katsaus tietokonetyöhön kohdistuneiden ergonomisten interventioiden vaikuttavuudesta liikuntaelinten vaivoihin. Työ ja ihminen. Vol 18, Nro 3, 113–126.

Takala, E-P. & Nevala-Puranen, N. 2001. Työfysioterapia, Työterveyslaitos. Helsinki: Vammalan kirjapaino

Teollisuusergonomia, Käsikirja suunnitteluun 1992. Käänt. Kuorinka, T. Helsinki: WSOY. Alkuperäisteos 1983. Ergonomic Design for people at work.

Teppo, M. 2006. Lentokadetin isometrisen maksimivoiman ja dynaamisen kestovoiman viitearvot - testausta muodon vuoksi. Maanpuolustuskorkeakoulu. Koulutustaidon laitos. Pro gradu –tutkielma.

Thuresson, M., Äng, B., Linder, J. & Harms – Ringdahl 2004. Internation Journal of Industrial Ergonomics. Volume 35. Issue 1, January 2005.

Tilley, R. 2002. The measure of man & woman. uusittu painos. New York: John Wiley & Sons.

Toiskallio, J. 1998a. Toimintakyky sotilaspedagogiikassa. Vaasa: Ykkös-Offset Oy

Toiskallio, J. 1998b. Sotilaspedagogiikan perusteet. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Työterveyslaitos 1974. Ergonomia, käsikirjatietoa sisältäviä ohjelehtisiä: ihmisen mitat, ihmisen kehittämät voimat, lämpöolosuhteet, melu, melun torjunta, tärinä ja valaistus.

Työterveyslaitos. 3/1999. Työpaikan ergonominen tarkastusohje. Helsinki

Töytäri, O., Koistinen A-K., Hiltunen, N. & Leivo, H. 2003. Teoksessa Apuvälinekirja. Kehitysvammaliitto Toim. Salminen, A-N.Helsinki: Tammer-Paino Oy

Vanharanta, H. 1998. Välilevyn merkitys selkäkivussa. Teoksessa selän rakenne, toiminta ja kuntoutus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.



Vapaavuori, E.K. & Sorsa, M. 2001. Human performance & limitations. Helsinki: Tummavuoren kirjapaino.

Vapaavuori, E.K. & Sorsa, M. 2005. Lentävä ihminen. Helsinki: EDITA.

Vapaavuori, E.K., Sorsa, M., Nurmi, L. & Kuronen, P. 1992. Lentävä ihminen. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

Virtapohja, H. 1997. Liikuntaelinten toiminnallinen anatomia. toim: Kukkonen, R., Hanhinen, H., Ketola, R., Luopajarvi, T., Noronen, L. & Helminen, P. Työfysioterapia. Yhteistyötä työ- ja toimintakyvyn hyväksi. Helsinki: Työterveyslaitos.

Visuri, T. & Aho, J. 1990. Heittoistuimen aiheuttamat vammat suomalaislentäjillä teoksessa Sotilaslääketieteellinen aikakausilehti, Ilmailulääketieteen erikoisnumero 1/1990.

Väyrynen, S. 1996. Suunnittelijan ergonomia. Oulu; Kirjapaino Osakeyhtiö Kaleva

Väyrynen, S., Nevala, N. & Päivinen, M. 2004. Ergonomia ja käytettävyys suunnittelussa. Tampere: Tammer-Paino Oy

Werner, R., Armstrong, T., Bir, C & Aylard, M. 1997. Intracarpal canal pressures: the role of finger, hand, wrist and forearm position. Clin Biomech 12 (1997)1: 44–51.

Winfield, D.A. 1999. Aircrew Lumbar Supports: An Update. Aviation, Space and Environmental Medicine 70 (4), 321–324. Teokseen viitattu teoksessa Luoma – Aho, P. 2005. Hawkin selkätuen hankinnan tarpeellisuus. Maanpuolustuskorkeakoulu. Koulutustaidonlaitos. Tutkimus

### 3 MUUT LÄHTEET

Ilmavoimien lentävän henkilöstön liikuntakoulutustyöryhmä. 1998. High G cd-rom. Tietovalta Oy

Puolustusvoimat. [Viitattu 4.12.2006]. Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.ilmavoimat.fi/index.php?id=233>>.

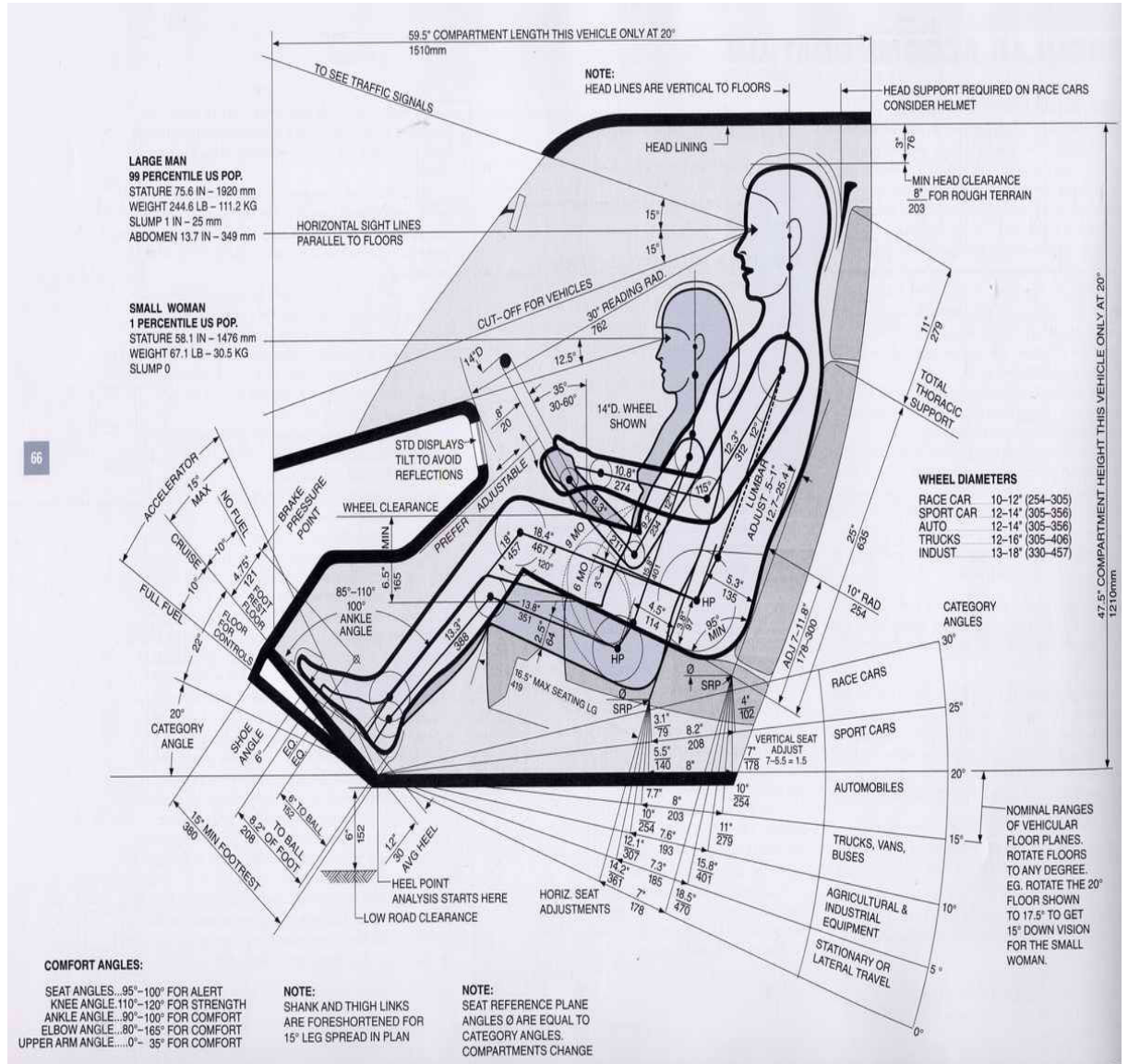
Selkäcenter. [Viitattu 4.12.2006]. Saatavilla www-muodossa: <[URL: http://www.selkacenter.fi/luettavaa/useinkysyttya/80.html](http://www.selkacenter.fi/luettavaa/useinkysyttya/80.html)>.

Työterveyslaitos. [Viitattu 4.12.2006]. Saatavilla www-muodossa: <[URL: http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Ergonomia/Tyokalut/jalkaselkatuet.htm](http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Ergonomia/Tyokalut/jalkaselkatuet.htm)>.

**LIITTEET**

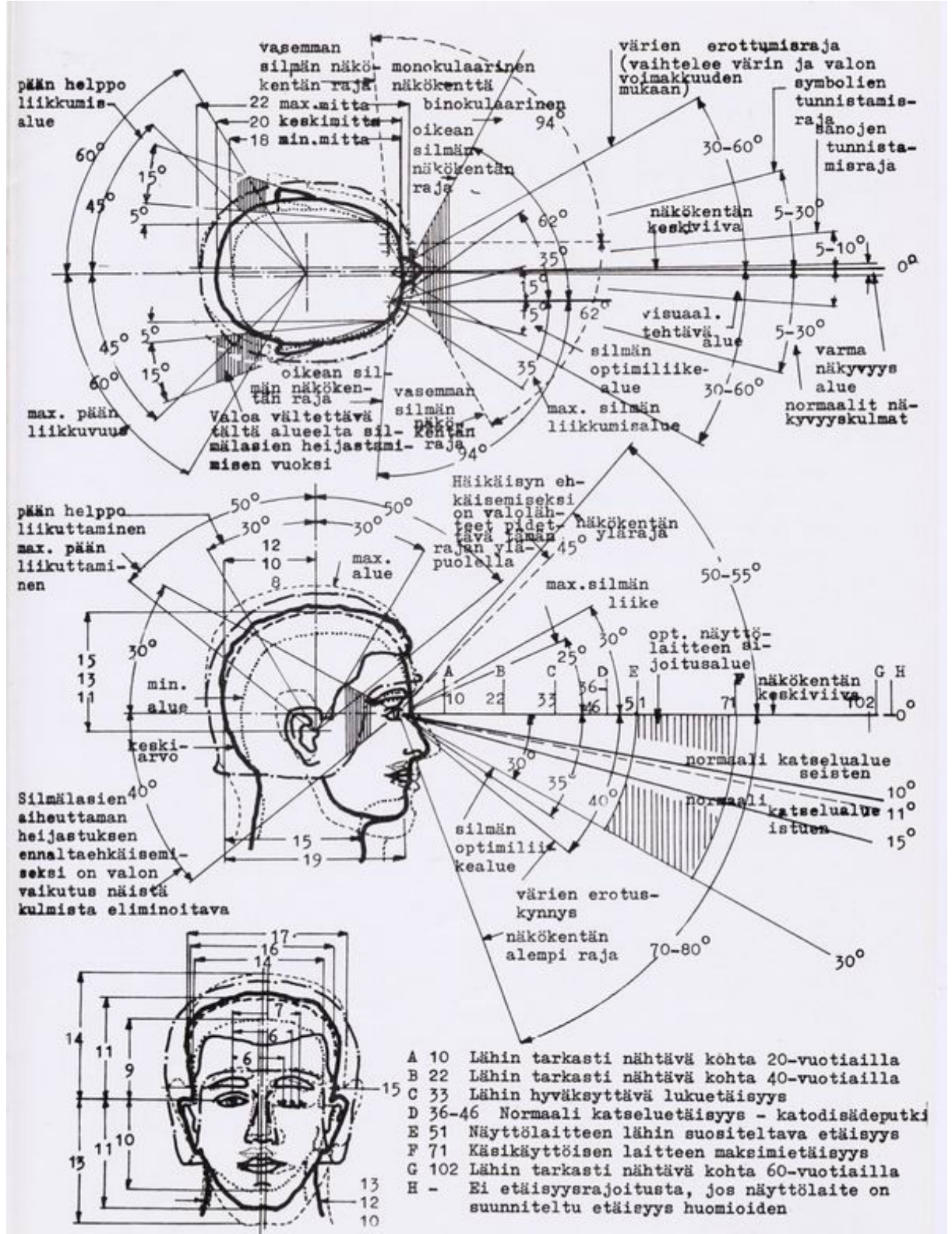
- Liite 1. Vakio olosuhteet ajoneuvon istuimessa
- Liite 2. Silmän ja pään liikkeet sekä katselualue
- Liite 3. Normalisoitu välilevypaine erilaisissa istuma-asennoissa
- Liite 4. Lannerangan lordoosin muuttuminen eri asennoissa
- Liite 5. Selkänikaman sisäinen paine eri asennoissa (%)
- Liite 6. Kysely selkätuesta
- Liite 7. SPSS-taulukot
- Liite 8. SPSS-taulukot

Vakio olosuhteet ajoneuvon istuimessa



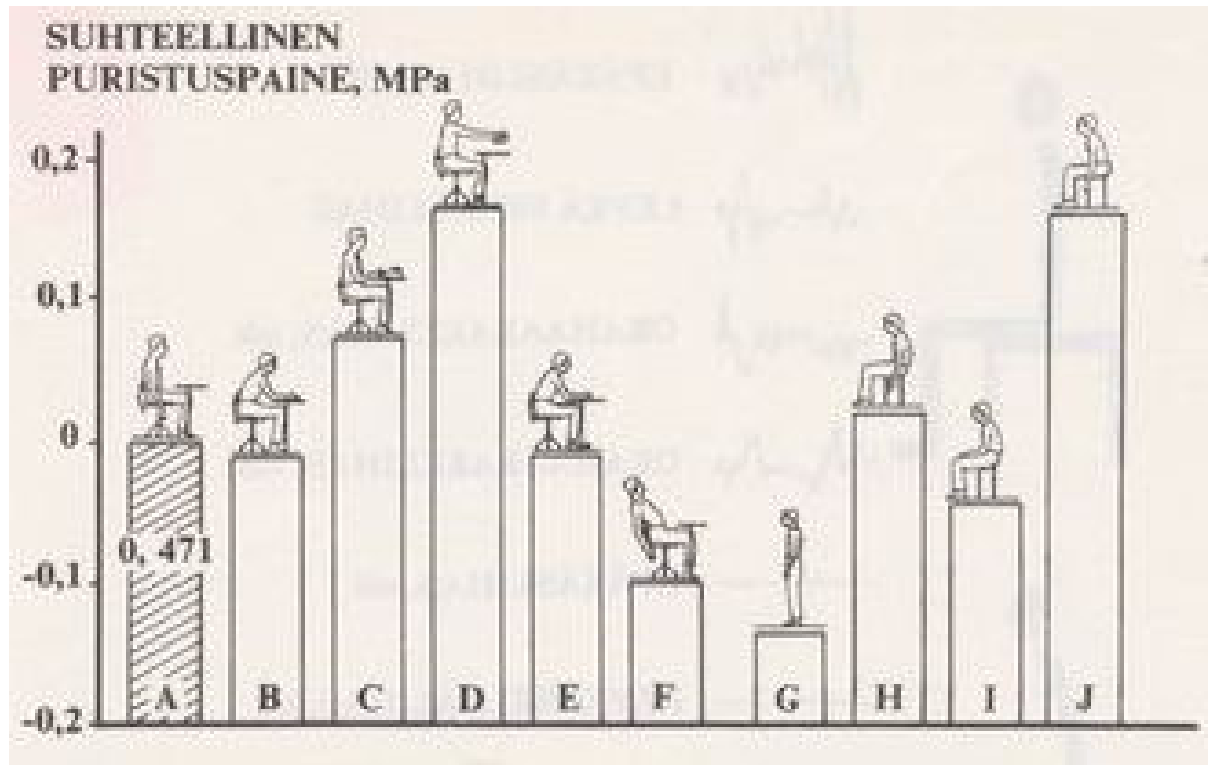
Vakio olosuhteet ajoneuvon istuimessa (Tilley 2002, 66).

Silmän ja pään liikkeet sekä katselualue



Silmän ja pään liikkeet sekä katselualue (Työterveyslaitos 1974, 7).

## Normalisoitu välilevypaine erilaisissa istuma-asennoissa



Normalisoitu välilevypaine erilaisissa istuma-asennoissa (Bouisset 1988,86).

A: Istuma-asento lannetuen kanssa yläraajojen riippuessa vapaasti

B: Kirjoitusasento, yläraajat lepäävät pöydällä

C: Konekirjoitusasento

D: 1,2 kilogrammaa painavan taakan nostaminen

E: Sanelukoneen polkimen painaminen, yläraajat lepäävät pöydällä

F: Rentoutunut asento, lannetuki

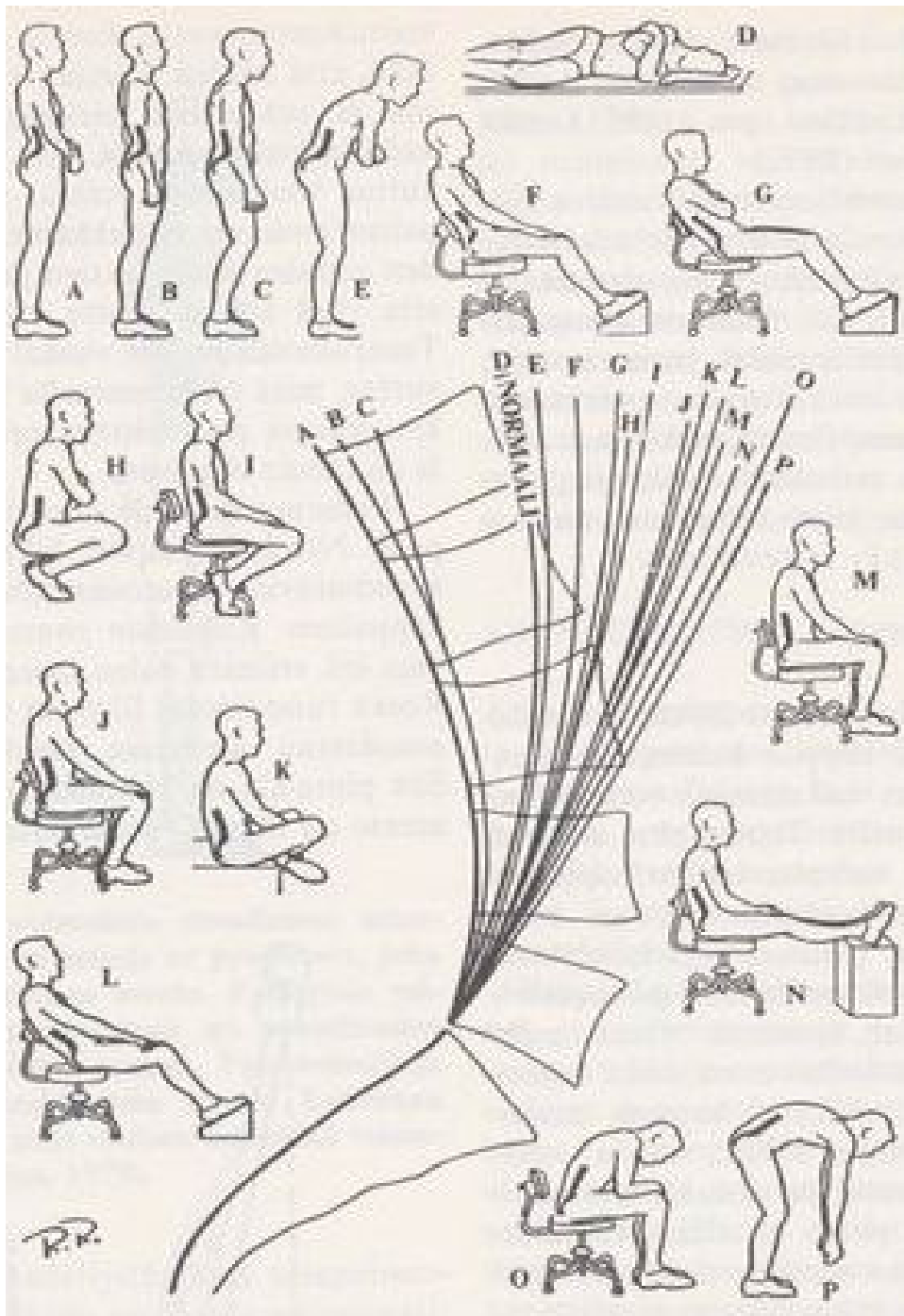
G: Tavallinen seisoma-asento

H: Luonnollinen istuma-asento

I: Sama kuin asento H, paitsi yläraajat lepäävät reisillä

J: Vartalo nojaa ja lantio kääntyy eteenpäin

## Lannerangan lordoosin muuttuminen eri asennoissa



Lannerangan lordoosin muuttuminen eri asennoissa (Työterveyslaitos 1974).

Normaaliasennoksi on otettu kyljellään makaavan henkilön asento, jossa vartalon ja reisien välinen kulma on 135 astetta sekä reisien ja säärtien väliset kulmat ovat 135 astetta.

## Selkänikaman sisäinen paine eri asennoissa (%)

**Values of Intradiscal Pressure for Different Positions and Exercises As a Percentage Relative to Relaxed Standing in One Subject (Chosen Arbitrarily As 100%)**

<b>Position/Maneuver</b>	<b>Percentage</b>
Lying supine	20
Side-lying	24
Lying prone	22
Lying prone, extended back, supporting elbows	50
Laughing heartily, lying laterally	30
Sneezing, lying laterally	76
Peaks by turning around	140–160
Relaxed standing	100
Standing, performing Valsalva maneuver	184
Standing, bent forward	220
Sitting relaxed, without back rest	92
Sitting actively straightening the back	110
Sitting with maximum flexion	166
Sitting bent forward with thigh supporting the elbows	86
Sitting slouched into the chair	54
Standing up from the chair	220
Walking barefoot	106–130
Walking with tennis shoes	106–130
Jogging with hard street shoes	70–190
Jogging with tennis shoes	70–170
Climbing stairs, one at a time	100–140
Climbing stairs, two at a time	60–240
Walking down stairs, one at a time	76–120
Walking down stairs, two at a time	60–180
Lifting 20 kg, bent over with round back	460
Lifting 20 kg as taught in back school	340
Holding 20 kg close to the body	220
Holding 20 kg, 60 cm away from the chest	360
Pressure increase during the night rest (over a period of 7 hours)	20–48

Adapted with permission from Wilke, H.J., Neef, P., Caimi, M., et al. (1999). New in vivo measurements of pressures in the intervertebral disc in daily life. *Spine*, 24, 755.

Selkänikaman sisäinen paine eri asennoissa (Wilke, Neef, Caimi, ym. 1999, Nordin & Frankel 2001, 269 mukaan).



Kadettikersantti Teemu Elosen tutkielman

LIITE 6.



**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU  
PERUSTUTKINTO-OSASTO/KADK90**

**KYSELY**

Kadetti Teemu Elonen

Santahamina 20.12.2006 /

sivu 1(3)

Teemu Elosen Pro gradu: Hawkin heittoistuimen biomekaanisia kulmia selkätuen kanssa ja ilman.

Ole ystävällinen ja vastaa allaoleviin kysymyksiin

1. Syntymävuotesi \_\_\_\_\_
2. Pituutesi \_\_\_\_\_ cm, Painosi \_\_\_\_\_ kg
3. Tuntijakauma eri konetyypeillä:
  - a. VN: \_\_\_\_\_h
  - b. WS: \_\_\_\_\_h
  - c. HW: \_\_\_\_\_h

4.1 Esiintyykö sinulla selkävaivoja?

- a Ei
- b Kyllä, millaisia?

---



---

4.2 Esiintyykö sinulla niskavaivoja?

- a Ei
- b Kyllä, millaisia?

---



---

5.1 Miten pyrit ehkäisemään selän kuormitusta ohjaamossa?

---

5. 2. Miten pyrit ehkäisemään niskan kuormitusta ohjaamossa?

---

5.3 Onko sinulla esiintynyt selän puutumista lentopalveluksessa?

- a. Ei
- b. Kyllä

6.1 Onko sinulla esiintynyt niskan puutumista lentopalveluksessa?

- c. Ei
- d. Kyllä

7 a) Millaisia ennakkokäsityksiä sinulle on muodostunut ristiselkätuesta Hawkin istuimessa? (ympyröi tarvittaessa useampi vaihtoehto)

- e. Tuki parantaa istuma-asentoa
  - f. Tuki huonontaa istuma-asentoa
  - g. Tuki ehkäisee selkävaivoja
  - h. Tuki lisää selkävaivoja
  - i. Tuki voi olla vaarallinen
  - j. Tuki on vaaraton kaikissa tilanteissa
  - k. Tuki tuntuu epämukavalta
  - l. Tuki tuntuu mukavalta
  - m. Tuki ehkäisee niskavaivoja
  - n. Tuki kasvattaa niskavaivojen riskiä
  - o. Tuki on helppokäyttöinen
  - p. Tuki on vaikea käyttää
  - m. Jokin muu:
- 

Vastauksesi ovat luottamuksellisia. Kiitos vastauksistasi ja Hyvää Joulua 2006! Tutkimukseni valmistuu keväällä 2007 ja on luettavissa Maanpuolustuskorkeakoulussa.

Omat merkinnän ja kysymykset mittausten aikana.

Miltä tuki tuntuu?

- a) positiivinen ilmaisu
- b) negatiivinen ilmaisu
- c) neutraali ilmaisu

Miltä istuma-asento tuntuu tuen kanssa, verrattuna istuma-asentoon ilman tukea:

a) Miten tuki vaikuttaa selän asentoon?

b) Miten tuki vaikuttaa niskan asentoon?

Kumpi asento tuntuu paremmalta selän kannalta- ilman tukea vai tuella?

Kumpi asento tuntuu paremmalta niskan kannalta- ilman tukea vai tuella?

Vaikuttaako tuen käyttö millään tavalla istuma-asentoon?

Miten kehittäisit ristiselkätukea?

Numeeriset mittaukset sen jälkeen kun tutkittavan mielestä sopivimman kokoinen tuki on asetettu paikoilleen:

Tuen paksuus: \_\_\_\_\_ cm

Pään asento ilman tukea: \_\_\_\_\_ cm

Pää asento tuen kanssa: \_\_\_\_\_ cm

Seisten pään asento: \_\_\_\_\_ cm

Seisten selän asento: \_\_\_\_\_ cm

Taulukko 7. Pään liike eteen ja taaksepäin.

One-Sample Test						
Test Value = 0						
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Päänliike	1,505	25	,145	,6769	-,249	1,603

Taulukko 8. Selkä- ja niskavaivojen korreloiminen lentotunteihin.

		VN	SW	HW	Selkäv	Niskav
VN	Pearson Correlation	1	,206	,195	,262	,232
	Sig. (2-tailed)		,313	,339	,195	,254
	N	26	26	26	26	26
SW	Pearson Correlation	,206	1	,981**	,235	,345
	Sig. (2-tailed)	,313		,000	,249	,085
	N	26	26	26	26	26
HW	Pearson Correlation	,195	,981**	1	,308	,393*
	Sig. (2-tailed)	,339	,000		,125	,047
	N	26	26	26	26	26
Selkäv	Pearson Correlation	,262	,235	,308	1	,347
	Sig. (2-tailed)	,195	,249	,125		,083
	N	26	26	26	26	26
Niskav	Pearson Correlation	,232	,345	,393*	,347	1
	Sig. (2-tailed)	,254	,085	,047	,083	
	N	26	26	26	26	26

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

VN= Vinka, SW= Hawk simulaattori ja HW= Hawk

Taulukko 9. Selän lordoosin korreloiminen pään liikkeeseen.

	N	Correlation	Sig.
Selän lordoosi & Päänliike	24	,250	,239

Taulukko 10. T-testi selän lordoosi ja pään liike.

	Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Slordoosi - Päänliike	3,8875	2,3003	,4696	2,9162	4,8588	8,279	23	,000	