

Niina Kopsa

Liikepahoinvoinnin minimointi virtuaalitodellisuusratkaisuissa

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

Kevät 2023



**KAMK • University
of Applied Sciences**

Tiivistelmä

Tekijä(t): Niina Kopsa

Työn nimi: Liikepahoinvoinnin minimointi virtuaalitodellisuusratkaisuissa

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), tieto- ja viestintätekniikka

Asiasanat: virtuaalitodellisuus, pahoinvointi

Opinnäytetyön tavoitteena oli koota tietoa VR-pahoinvoinnista ja sen minimoimisesta syntymekanismien ymmärtämisen kautta ja tutkia, miten paljon ja miten helposti on saatavilla VR-pahoinvointia vähentäviä lisälaitteita. Virtuaalitodellisuuden aiheuttama pahoinvointi on monelle yleinen vaiva, ja sen ymmärtäminen auttaa sekä käyttäjiä että sovelluskehittäjiä. Voimakkaat pahoinvoinnin kokemukset voivat tehdä sovelluksesta lähes käyttökelvottoman tai saada käyttäjän kieltäytymään virtuaalitodellisuussovelluksien tulevastakin käytöstä. Sopivaa kirjallisuutta etsittäessä kävi nopeasti ilmi, että aihetta tarpeeksi tarkkaan käsittelevää kirjallisuutta ei juurikaan löydy suomeksi. Tiedonhaku keskittyi nopeasti englanninkielisiin tieteellisiin artikkeleihin ja tutkimuksiin. Kerätystä materiaalista karsiutui vielä paljon pois, koska niiden näkökulma vain sivusi VR-pahoinvointia.

VR-pahoinvoinnin minimoimiseen tarvitaan ymmärrys sitä aiheuttavista tekijöistä. Virtuaalitodellisuuden aiheuttaman pahoinvoinnin syntyperän selittämiseen on kehitetty useita teorioita. Monia teorioita yhdistää ajatus, että VR-pahoinvointi syntyy jonkinlaisesta ristiriidasta koetun ja nähdyn välillä. Lisäksi VR-kokemus on etenkin tottumattomalle käyttäjälle monella tapaa jännittävä ja stimuloiva kokemus, joka voi aiheuttaa muutoksia autonomisen hermoston toimintaan, jotka voivat olla pahoinvoinnin oireiden kaltaisia tai korostaa niitä. Esimerkkinä autonomisen hermoston toiminnan muutoksista on kiihtynyt hengitystiheys.

Yksinkertaisin keino lievittää omaa VR-pahoinvointiaan on totuttaa itsensä hitaasti VR-kokemukseen. Alkua voi tarvittaessa helpottaa väliaikaisesti lääkitsemällä oireita huomioiden lääkkeiden mahdolliset sivuvaikutukset. Suurin vaikutusvalta jää kuitenkin sovelluskehittäjille. Sovellukset kannattaa kehittää hyödyntämään liikkeenseurantaa, jotta pelaajan kokemus liikkeestä ja pelissä tapahtuva liike olisivat mahdollisimman yhteneväisiä. Etenkin kääntymisen aiheuttaa usein ongelmia, jos se tapahtuu pelaajan odotusten vastaisesti tai ilman konkreettista kokemusta liikkeestä, esimerkiksi ohjaimella. Suurien etäisyyksien poikki kulkemisen voisi toteuttaa esimerkiksi marssimalla paikallaan.

Muita mahdollisesti hyödyllisiä käytäntöjä ovat erilaiset pelaajan näkymän muokkaukset. Näkökentän hienovarainen ja dynaaminen pienentäminen reunoilta vaikuttaa positiivisesti virtuaalipahoinvoinnin vähentämiseen, mutta liian voimakkaasti toteutettuna se saattaa rikkoa pelaajan läsnäolon kokemusta. Pelaajalle vähemmän tärkeän alueen ja objektien, esimerkiksi kaukana olevien kohteiden, dynaamisen sumentamisen on tutkittu parantavan virtuaalitodellisuuskokemusta.

Markkinoilla on saatavilla erilaisia lisälaitteita, useimmiten tuoleja tai kävelymattoja/-alustoja, joiden tarkoitus on paitsi helpottaa virtuaalitodellisuudessa liikkumista ja myös vapauttaa pelaaja fyysisen tilan rajoituksista ja ehkäistä pahoinvoinnin syntymistä. Lisälaitteita on saatavilla, tai tulossa saataville, sekä kuluttajille kotikäyttöön että ammattilaiskäyttöön. Usein pelaajan liikkumissuunta määritellään katseen mukaan, mutta joskus pelaaja saattaa haluta katsoa sivuilleen liikkeessaan eteenpäin, mistä puolestaan seuraa odottamaton suunnanmuutos. Ongelmaa korjaamaan löytyy lantion asentoa seuraavia laitteita, joilla vaikutetaan liikkumissuuntaan katseen suuntautumisen sijasta.

Abstract

Author(s): Kopsa Niina

Title of the Publication: Minimizing Motion Induced Nausea in Virtual Reality Solutions

Degree Title: Bachelor of Engineering, Information Technology

Keywords: virtual reality, motion sickness

The aim of the thesis was to gather information about virtual reality sickness and ways to minimize it through an understanding of the creation mechanisms and to study the availability of additional devices that aim to reduce virtual reality sickness are available. The nausea caused by virtual reality experiences is a common ailment for many, and understanding it helps both users and app developers. Intense experiences of nausea can make the application almost unusable or cause the user to refuse future use of virtual reality applications. When searching for suitable literature, it quickly became apparent that there is hardly any literature on the subject in Finnish. Information retrieval quickly focused on scientific articles and studies in English. A kit was still cut out of the collected material, because their perspective only lightly touched on virtual reality sickness.

To minimize virtual reality sickness, you need an understanding of the factors that cause it. Several theories have been developed to explain the origin of nausea caused by virtual reality. Many theories share the idea that virtual reality sickness arises from some kind of conflict between what is physically experienced and what is seen. In addition, the virtual reality experience is, especially for an unaccustomed user, in many ways an exciting and stimulating experience that can cause changes in the functioning of the autonomic nervous system, which can be similar to or emphasize the symptoms of nausea. An example of changes in the functioning of the autonomic nervous system is an accelerated respiratory rate.

The simplest way to alleviate your own virtual reality sickness is to slowly accustom yourself to the virtual reality experience. If necessary, the beginning of the process can be temporarily eased by medicating the symptoms, taking into account the possible side effects of the drugs. However, the greatest influence remains with the application developers. It's a good idea to develop apps to make use of motion tracking to make the player's sensation of movement and in-game movement as consistent as possible. Turning in particular often causes problems if it occurs contrary to the expectations of the player or without a tangible sensation of movement, for example when using a controller. Traveling large distances could be accomplished, for example, by having the player march in place.

Other potentially useful design choices include various edits of the player's field of view. Subtle and dynamic reduction of field of view at the edges has a positive effect on reducing virtual reality sickness, but if implemented too harshly, it may harm player's immersion. The dynamic blurring of areas and objects, for example distant objects, that are less important to the player has been found to improve the virtual reality experience.

Various additional devices are available on the market, most often chairs or treadmills, the purpose of which is not only to facilitate movement in virtual reality, but to also free the player from the limitations of physical space and prevent nausea. Additional devices are available, or are coming soon, for both home consumers and professional use. Often the direction of the player's movement is determined by the gaze, but sometimes the player may want to look to her side as she moves forward, which results in an unexpected change of direction. To correct the problem, there are devices to monitor the position of the pelvis, which is used to determine the direction of movement instead of the orientation of the gaze.

Sisällys

1.	Johdanto	1
2.	Liikepahoinvointi.....	2
2.1.	VR-liikepahoinvointi	2
2.2.	VR-liikepahoinvoinnin aiheuttajat.....	3
3.	VR-liikepahoinvoinnin ehkäiseminen käyttäjänä.....	10
4.	VR-liikepahoinvoinnin ehkäiseminen sovelluskehittäjänä.....	11
5.	VR-liikepahoinvointia ehkäisevät lisälaitteet.....	18
5.1.	Kaupalliset lisälaitteet kuluttajille	18
5.1.1.	Roto VR Chair	18
5.1.2.	KAT VR	19
5.1.3.	Virtuix Omni	21
5.2.	Lisälaitteet yrityskäyttöön.....	21
5.2.1.	KAT VR: KAT WALK ja KAT Walk Mini S	21
5.2.2.	Infinadeck.....	22
5.2.3.	Cyberith Virtualizer Elite 2.....	22
5.3.	Innovatiiviset lisälaitteet	23
6.	Yhteenveto.....	27
7.	Pohdinta.....	28

Liitteet

Symboliluettelo

VR	virtual reality, virtuaalitodellisuus, tietokoneen luoma kuvitteellinen ympäristö
Immersio	virtuaalitodellisuuteen uppoaminen, tunne läsnäolosta simulaatiossa
Stabilometria	ihmisen asennon ja ryhdin vakauden mittaustekniikka
SSQ	Simulator Sickness Questionnaire, simulaatioiden aiheuttaman pahoinvoinnin mittaamiseen käytetty kysely
HMD	head-mounted display, päässä pidettävä laite, virtuaalilasit
HTC Vive/Oculus Rift	tunnetut virtuaalilasit

1. Johdanto

Virtuaalitodellisuutta (virtual reality eli VR) voidaan soveltaa monin tavoin viihde-, koulutus- ja ammattikäytössä. Sen käyttöä varjostaa yleinen ongelma: virtuaalitodellisuuden aiheuttama liikepahoinvointi. Negatiiviset käyttökokemukset vaikuttavat käyttäjien haluun käyttää sovellusta, joten liikepahoinvoinnin minimointi on tärkeää virtuaalitodellisuuden laajamittaisen hyödyntämisen kannalta. Etenkin uudet käyttäjät saattavat kieltäytyä käyttämästä VR-sovelluksia uudestaan, jos he ensimmäisellä käyttökerralla kokevat voimakasta liikepahoinvointia.

Sovelluskehittäjän kannalta on haitallista, jos heidän sovelluksensa aiheuttaa tavallista enemmän pahoinvointia huomattavalle osalle käyttäjistä, koska se vaikuttaa arvostelujen ja käyttäjäkommenttien kautta sovelluksen potentiaaliseen käyttäjäkuntaan. VR-liikepahoinvoinnin aiheuttajien tunteminen auttaa kehittäjiä välttämään käyttökelvottomien sovellusten kehittämistä. Kyky minimoida aiheutettu liikepahoinvointi antaa mahdollisuuden laajan yleisön saavuttamiseen. Positiivinen palaute luo hyvän maineen, jos VR-liikepahoinvoinnista yleensä kärsivät käyttäjät kykenevät käyttämään sovellusta joko selkeästi tavallista lievemmillä oireilla tai täysin ilman pahoinvointia.

Opinnäytetyössä oli alun perin tarkoitus olla mukana myös käytännön osuus, mutta koronapandemian takia se jätettiin pois. Opinnäytetyössä perehdytään VR-liikepahoinvointia tutkivaan tieteelliseen kirjallisuuteen. Työssä yritetään ymmärtää VR-liikepahoinvoinnin oireita ja sitä aiheuttavia tekijöitä tutustumalla kirjallisuuteen VR-liikepahoinvoinnin taustatekijöistä ja syntyteoriasta. Tiedonhaku suoritettiin pääosin koulun tarjoamista tietokannoista. Yksi artikkeli ei ollut kyseisissä tietokannoissa saatavilla, vaan käyttöoikeus saatiin erikseen pyytämällä tekijältä. Erilaisia teorioita on esitetty useampia. Opinnäytetyössä tutkitaan myös kirjallisuutta, jossa on testattu erilaisiin teorioihin pohjautuvia sovellusratkaisuja VR-liikepahoinvoinnin aiheuttajien minimoimiseksi, sekä esitellään keinoja, joilla käyttäjä voi itse vaikuttaa kokemaansa liikepahoinvointiin. Lopuksi tehdään lyhyt katsaus erilaisiin laiteratkaisuihin, jotka yrittävät vähentää liikepahoinvoinnin syntyä. Näihin liittyvä tieto haettiin vapaasta verkosta.

2. Liikepahoinvointi

Liikepahoinvointia syntyy, kun kehon kokemus liikkeestä ärsyttää tasapainoa aistivaa sisäkorvaa. Liikepahoinvointi voi pahentua, jos sisäkorvan kokemus liikkeestä poikkeaa silmien antamasta informaatiosta. Esimerkiksi autolla matkustaessa keho aistii liikkeen, mutta auton sisälle katsoessaan silmät eivät näe liikettä. Liikepahoinvoinnin oireisiin kuuluvat lievässä tapauksessa kalpeus, kylmänhikisyys, haukottelu ja lisääntynyt syljeneritys. Vakavammassa tapauksissa oireita ovat pahoinvointi, joka voi johtaa oksenteluun, päänsärky, ripuli, puristava tunne rinnassa ja heikotus. Noin joka kolmannes ihminen saa helposti oireita, ja matkapahoinvointiin taipuvuus on osittain perinnöllistä. [1.]

Liikepahoinvointia voi ehkäistä huolehtimalla, että kehon ja silmien kokemus liikkeestä on yhtenevä, esimerkiksi katsomalla ulos liikkuvan auton ikkunasta, ja hakeutumalla ajoneuvon vähiten liikkuvaan osaan, joka on yleensä sen keskiosassa. Toistuvan altistumisen kautta on mahdollista opettaa elimistö sietämään matkapahoinvointia aiheuttavia tilanteita. Matkapahoinvoinnin ehkäisyyn löytyy lääkehoitoa, jota on saatavilla myös reseptivapaasti. [1.]

2.1. VR-liikepahoinvointi

VR-liikepahoinvointi syntyy, kun käyttäjä saa virtuaalimaailmassa liikkuessaan visuaalisen viestin kehon liikkeestä, mutta kehon mukaan käyttäjä pysyy paikallaan, tai jos visuaalinen liike poikkeaa kehon liikkeestä. Tällaisia tilanteita syntyy esimerkiksi peleissä, joissa pelaajan liike on sidottu ennalta määrätyille reitille: vaikka pelaaja haluaisi liikkua, vapaaehtoisesti tai esimerkiksi perääntyä refleksinomaisesti säikähdettyään, raiteilla oleva kamera jatkaa kulkemistaan kuin mitään ei olisi tapahtunut. [2.]

Pelaajan immersion (virtuaalitodellisuuteen uppoaminen) vaikutuksesta liikepahoinvoinnin syntyyn on kaksi eri teoriaa. Ensimmäisen oletus on, että mitä syvemmin pelaaja on uppoutunut kokemukseen, sitä enemmän pelaaja kärsii tasapainohäiriöistä ja liikepahoinvoinnista. Toinen olettaa, että aikaisemmat tasapainohäiriöt herkistävät pelaajan liikepahoinvoinnille. Kumpaankaan näkemykseen ei ole onnistuttu löytämään puoltavaa näyttöä empiiristen tutkimusten kautta. [3.]

VR-liikepahoinvoinnin objektinen ja konkreettinen mittaaminen on vaikeaa. Fysiologisia indikaattoreita on tutkittu ja etsitty, mutta mitään niistä ei ole voitu konkreettisesti ja yksiselitteisesti todeta johtuvan nimenomaan VR-liikepahoinvoinnista. Autonominen hermosto aktivoituu pahoinvoinnin syntyessä, jolloin pulssi kiihtyy, iho alkaa johtamaan paremmin sähköä ja ruumiinlämpö nousee, mutta oireet voivat myös johtua VR-kokemuksen jännittävydestä. Otsan hikoilusta johtuva parempi sähkönjohtavuus on ainoa todistettu merkki pahoinvoinnista. Usein VR-liikepahoinvoinnin mittaamiseen käytetään alun perin simulaatioiden aiheuttaman pahoinvoinnin mittaamiseen kehitettyä Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) kyselyä, koska oireet ovat pääosin samat. [4.]

VR-liikepahoinvoinnin oireet voidaan ryhmitellä seuraavasti: [4], [5], [6]

- silmän liikkeisiin liittyvät oireet: silmänrasitus, sumea näkö, päänsärky
- sekavuuden oireet: pyörrytys, huimaus, uupumus, vaikeus keskittyä, "pää täynnä" - tunne, mielialan muutokset, heikotus
- fysiologiset oireet: Huonovointisuus, syljen erityksen muutokset, hikoilu, oksennus, hengityksen muutokset, tietoisuus vatsasta, ulostamisen tarve, ruokahalun muutokset

Oireet voivat ilmentyä heti VR-kokemuksen alussa tai vasta pidemmän käytön jälkeen. Oireet jatkuvat VR-käytön lopettamisen jälkeen, ja toipumisaika riippuu oireiden alkuperäisestä voimakkuudesta. Voimakkaammat oireet vaativat pidemmän toipumisajan. [4.]

2.2. VR-liikepahoinvoinnin aiheuttajat

VR-liikepahoinvointia aiheutuu, jos sovelluksen ruudunpäivitysnopeus (Frames Per Second, FPS/Frame Rate) putoaa tai laitteen resoluutio on liian pieni. [7.] Nykypäivän päässä pidettävien VR-laitteiden (head mounted display, HMD) suorituskyky on saavuttanut sellaisen tason, että uudempien laitteiden ei pitäisi asettaa laiterajoituksia. Alla oleva taulukko 1 esittää kahden tunnetuimman VR-laitteen valmistajan laitteiden päivitysnopeuden ja resoluution.

Taulukko 1. VR-laitteiden suorituskyky

	Oculus Rift S	HTC Vive Cosmos
Päivitysnopeus	80Hz	90Hz
Resoluutio	2560x1140 (1280x1440 per silmä)	2880x1700 (1440x1700 per silmä)

Mahdolliset FPS-pudotukset johtuvatkin yleensä joko huonosti optimoidusta sovelluksesta tai tietokoneesta, jonka teho on riittämätön VR-käyttöön. [8.]

Thiago M. Porcino et al. [9] perehtyivät saatavilla olevaan kirjallisuuteen ja keräsivät tiivistelmän yleisistä syistä, jotka aiheuttavat pahoinvointia VR-käyttäjissä:

- Kiihdytys/kiihtyvyys (Acceleration): Kameran nopeuden jatkuvat muutokset aiheuttavat monella ihmisellä pahoinvoinnin tuntemuksia. Kiihdyttämisen ajallinen kesto on suurempi ongelma kuin nopeuden muutoksen suuruus. Välitön, suuri nopeuden muutos aiheutti pahoinvointia vain harvalle.
- Pelaajan hallinta VR-kokemuksen aikana: Odottamattomat kameran liikkeet aiheuttavat aistiritiriitojen kautta pahoinvointia.
- Käyttöaika ja sen rajoittaminen: VR-pahoinvointi pääsääntöisesti kasvaa suoraan verrannollisesti suhteessa käyttöaikaan.
- Näkökenttä: Sekä käytettävän VR-laitteen näytön mahdollistama näkökenttä että kameran kautta näkyvä piirretty näkökenttä. Matalampi laitteen resoluutio saattaa vähentää VR-pahoinvointia, mutta samalla vähentää paikallaolon tunnetta. Pahoinvointia on mahdollista aiheuttaa muokkaamalla pelaajan näkymää luonnottomilla tavoilla.
- Pelihahmon liikkeet: Jos pelaaja itse ei tee samoja liikkeitä kuin pelihahmo, aistien ristiiriita voi johtaa vahvaan pahoinvointiin.
- Katseen keskittäminen: Tietokonesovelluksissa on yleensä käytössä ääretön keskitys, eli koko näkymä on koko ajan selkeänä. Verrattuna oikeaan maailmaan ihminen tarkentaa katseensa pienelle alueelle kerrallaan etäisyyden mukaan. Sitä lähempänä tai kauempana olevat objektit ovat vähän epätarkkoja. Tämän simuloiminen on kuitenkin vaikeaa, koska

ainakin tämän hetken VR-laitteista puuttuu katseenseuranta (eye tracking), jonka kautta voitaisiin tarkentaa se osuus näkymästä, jota pelaaja katsoo.

- Tekniset ja laitteeseen liittyvät ongelmat: Laitteiden parantuessa kyseiset ongelmat ovat entistä harvinaisempia, mutta tähän luokkaan kuuluvat esimerkiksi viive, ruudunpäivityksen hidastuminen, kahdesta ruudusta koostuvien laitteiden ruutujen kuvien keskinäiset eroavaisuudet sekä laitteen väärä kalibrointi.

VR-liikepahoinvoinnin syntymisen selittämiseen on kehitetty aistikonfliktiteoria (Sensory Conflict Theory), joka teoretisoi liikepahoinvointia muistuttavien oireiden olevan yhteydessä ryhdinhallintamekanismiin. Staattisen seisomisasennon ylläpitämiseen vaikuttavat näköhermosto, tuntoaisti ja tasapainoelin. Kuitenkin Yuzo Takahashin & Atsuo Muratan tutkimuksessa [10] VR:n kanssa pelkästään visuaalinen stimulaatio voi olla riittävä aiheuttamaan liikepahoinvointia.

Takahashi & Murata tutkivat koehenkilöiden kykyä kävellä horjumatta suoraan 90 minuutin kestoisen VR-pelisesion jälkeen, joka toteutettiin kolmessa 30 minuutin osassa. Tutkimuksessa käytettiin painolaattoja ja stabilometriä (forceplates and stabilometry) määrittelemään koehenkilöiden painopiste ja tasapainon vakaus. Kokeessa koehenkilöt seisoivat paikallaan laatoilla, ensin silmät auki, sitten silmät suljettuina ja lopuksi kävelivät kaksi kierrosta molemmat jalat omalla laatalaan. Koehenkilöt vastasivat SSQ-kyselyyn ennen VR-altistumista ja viisi kertaa altistumisen jälkeen. [10.]

Tuloksien yhteenvedon jälkeen Takahashi & Murata totesivat, että kaksi kymmenestä koehenkilöstä kärsi voimakkaasta pahoinvoinnista, mutta yksikään ei oksentanut. VR-kokemuksen jälkeen painopisteen liikkumisnopeus, liikkumismatka ja horjumisalue kasvoivat, mutta heidän kokeensa mukaan VR-altistumisen kestolla ei ole merkittävää vaikutusta. Tämä havainto on ristiriidassa Atsuo Muratan ja Tetsuya Miyoshin tutkimuksen [3] kanssa, jossa käytettiin tunnin, kahden tunnin ja kolmen tunnin VR-kokemuksia ja havaittiin, että tasapainon epävakaus kasvoi. Empiiriset tutkimukset eivät ole onnistuneet todentamaan, johtuuko pahoinvointi heikosta yleistasapainosta, vai syntyykö tasapainon epävakaus ja liikepahoinvointi immersion seurauksena. [9.]

Aistikonfliktiteoria on saanut kritisointia siitä, että sen kuvaamat ristiriidat ovat yleisiä tapahtumia, eikä käyttäjän kokemuksen ja odotuksen välisiä eroja voida mitata. Toinen teoria, jota käytetään VR-liikepahoinvoinnin selittämiseen, on asentoon liittyvä epävakausteoria (Postural Instability Theory). Asentoon liittyvä epävakausteoria esittää, että henkilöt kokevat liikepahoinvointia

silloin, kun he kokevat asentonsa epävakaaksi pitkäkestoisesti, eikä heillä ole kokemusta, miten sopeutua tilanteeseen ylläpitääkseen hyvää tasapainoa. Konkreettinen esimerkki tästä on laivalla matkustaessa syntyvä meripahoinvointi. [4.]

Aistikonfliktiteoria ja asentoon liittyvä epävakausteoria ovat kaksi eniten esitettyä ja tutkittua teoriaa, mutta niiden lisäksi on käytetty muitakin teorioita VR-liikepahoinvoinnin selittämiseen. Silmänliiketeoria (Eye Movement Theory) esittää, että vagusherma (eli kaulasta löytyvä kiertäjähermo) saa ärsykeitä tietyistä silmänliikkeistä. Nämä silmänliikkeet ovat optokineettinen silmävärve ja vestibulo-okulaarinen refleksi. Optokineettinen silmävärve tarkoittaa silmän tekemiä liikkeitä, kun katse seuraava objektia ilman pään liikkumista. Vestibulo-okulaarinen refleksi on tasapainoelimen reaktiot tasata katsetta pään kääntyessä: katse pysyy vakaasti yhdessä pisteessä, vaikka pää kääntyy. Näistä syntyvä lihasjännitys stimuloi vagushermaa, mikä voi aiheuttaa keskittymisvaikeuksia, silmän räsitusta ja päänsärkyä. Tekstissä jo aikaisemmin mainitusta ristiriidasta aistien välillä voidaan puhua myös evoluutioteorian (Evolutionary Theory). [4.]

Lisäksi Bruck ja Watters [11] ovat yrittäneet kehittää kaikenkattavaa teoriaa VR-liikepahoinvoinnista. Tutkittuaan fysiologisia muutoksia he päätyivät keskittymään veren happi- ja hiilidioksidipitoisuuksien muutoksiin, koska se on yksinkertainen, kätevä ja hyödyllinen tapa mitata henkistä räsitusta, stressiä ja syvää keskittymistä sekä mahdollista ahdistumista, kiihtymistä ja pelkotiloja. Hyperventiloinnin on todettu vähentävän pahoinvointia esimerkiksi liikkuvan televisionäytön ja pyörivien tai kallistuvien fyysisten ympäristöjen kanssa. Heidän teoriansa mukaan VR-altistus stimuloi käyttäjää ja saa käyttäjän kiihtymään, jolloin hengitystahdin muutoksesta johtuva veren hiilidioksidipitoisuuden lasku aiheuttaa osan VR-liikepahoinvoinnin oireista.

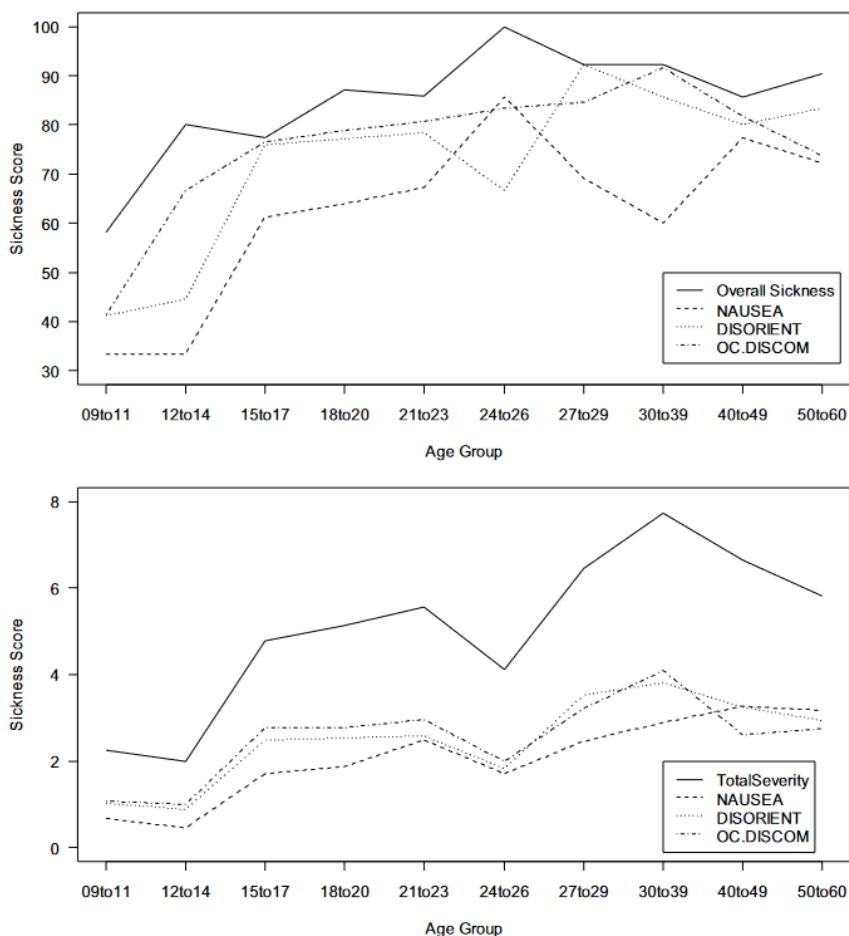
Bruck ja Watters testasivat teoriaansa 28 ihmisen testiryhmällä. Testiryhmän jäsenet täyttivät ahdistuneisuuskyselyn (kuusi kysymystä, joissa arvioitiin ahdistuneisuustaso asteikolla 0–5) ja SSQ-kyselyn sekä ennen koetta että kontrollikokeen ja itse testin jälkeen. Testin aikana testihenkilöiltä mitattiin sydänsähkökäyrää ja hengitysdataa tarkoituksiin sopivilla lääketieteellisillä laitteilla. Virtuaalitodellisuusympäristö näytettiin suurella (6,2 m x 1,7 m) 160 asteen kaarevalla näytöllä, ja testihenkilöillä oli käytössään lasit, jotka loivat kolmiulotteisen efektin. Kontrollitestinä oli luminen ja mäkinen maisema, jonka poikki testihenkilö matkustaa hitaasti. Testinä oli vuoristorata, jossa testihenkilö altistettiin kohtuullisesta voimakkaaseen simuloituun liikkeeseen. Molemmat testit kestivät kaksi minuuttia, ja ne toistettiin kolme kertaa. Testihenkilö istui testin ajan tavallisessa toimistotuolissa, eikä heidän liikkettään ollut mitenkään rajoitettu tai estetty. Analyysissa käytettiin vain vuoristoradan dataa. Testin tavoitteena oli saada tapa mitata VR-liikepahoinvointia

mahdollisimman vähillä muuttujilla. Näiksi muodostuivat yleinen virtuaalipahoinvointi, näkö, kiihtymys ja uupumus.

- “Yleinen virtuaalipahoinvointi”-muuttujan alle listattiin yleisimmät virtuaalipahoinvoinnin oireet, kuten pulssi, yleinen epämukavuus, uupumus, kuolaaminen, keskittymisvaikeus, pahoinvointi, pään sumuisuus, huimaus, pyörrytys, röyhtäily ja kohonnut ahdistuminen. Testin aikana tämän muuttujan arvot vaihtelivat suuresti, joka viittaisi siihen, että näiden oireiden erilaiset yhdistelmät aiheuttaisivat yhdessä pahoinvointia.
- Näkötekijän ehdotettiin johtuvan siitä, että liiallinen visuaalinen stimulaatio johtaa näköaistin yllirasittumiseen, joka puolestaan aiheuttaa testissä sen alle listatut oireet (hengitys, päänsärky ja silmänrasitus); mutta näkötekijä ei ole riippuvainen ahdistumisesta, kuten muu virtuaalipahoinvointi.
- Kiihtymystekijä paljasti, että hengitys liittyy pelkästään keskittymisvaikeuksiin, huimaukseen, sumeaan näköön ja vatsatietoisuuteen.
- Uupumustekijä yhdisti silmänrasituksen ja “täyden pään” -tunteen itseraportoituun uupumukseen, myös sumea näkö ja pyörrytys saivat kohonneita arvoja. Tämä tekijä vaikutti vähiten liikepahoinvoinnin kokonaisarvoon, mutta ehkä pidemmissä testeissä sen vaikutus olisi merkittävämpi.

Laura L. Arns ja Melinda M. Cerney [12.] tutkivat käyttäjän iän vaikutusta VR-liikepahoinvointiin. Usein tavallisen matkapahoinvoinnin tutkimusten tulokset ovat yhteneviä VR-liikepahoinvoinnin tulosten kanssa, joten tavalliseen matkapahoinvointiin liittyviä tutkimuksia on usein pystytty soveltamaan ja hyödyntämään VR-liikepahoinvoinnin ymmärtämisessä. Tavallisessa matkapahoinvoinnissa lapset ja nuoret ovat herkempiä liikepahoinvoinnille, mutta Arns ja Cerney totesivat omassa tutkimuksessaan, että sama ei päde VR-liikepahoinvoinnissa. Tutkimukseen osallistui määrällisesti selkeästi eniten alle 30-vuotiaita henkilöitä, minkä takia alle 30-vuotiaat jaettiin pienempiin ryhmittymiin. Lapset ja nuoret kärsivät vähemmän VR-liikepahoinvoinnista, kuten kuvan 1 pahoinvointituloksia kuvaavasta kaaviosta (ylempi) voi helposti todeta: pahoinvointia kokevien osuus nousee selkeästi siirryttäessä kohti vanhempia ikäryhmiä. VR-liikepahoinvointia useimmiten kokeva ryhmä oli 24–26-vuotiaat. Tutkimus selvitti myös oireiden vakavuutta, jossa on pahoinvoinnin yleisyyden tapaan havaittavissa nouseva trendi vanhempiin ikäryhmiin siirryttäessä.

Oireiden voimakkuuden suhteen eniten kärsivä ryhmä oli 30–39-vuotiaat, mutta myös siitä vanhemmat kärsivät alle 30-vuotiaita enemmän.



Kuva 1. Ylempi kuvaaja kuvaa prosenttia ikäryhmästä, joka raportoi kokevansa yleisesti pahoinvointia VR:ssä, ja mikä osuus koki huonovointisuutta, sekavuutta tai silmän liikkeen epämukavuutta. Alempi kuvaaja esittää ikäryhmien kokeman pahoinvoinnin voimakkuuden keskiarvon. [12]

Xavier Hunt ja Leigh Ellen Potter [13] käyttivät VR-liikepahoinvoinnin tutkimuksessaan yhtenä mittapuuna testihenkilöiden kokemusta perinteisistä videopeleistä. Testissä pieni, kymmenestä henkilöstä koostuva testiryhmä pelasi ensimmäisen persoonan kuvakulmassa pulmapeliä, jonka painovoiman suunta vaihtui. Pelaajilla oli mahdollista käyttää joko tavallisen peliohjaimen kaltaista touchpad-liikkumista tai liikkua fyysisesti huoneen kokoisessa tilassa. Ennen testin alkamista osallistujat saivat vapaasti tutustua ja totutella VR-ympäristöön, minkä jälkeen he pelasivat noin 10 minuuttia kestävän testiosuuden. Vaikka pelaajilla oli mahdollisuus lopettaa milloin tahansa,

kaikki suorittivat tehtävän loppuun. Testin arvioimiseen käytettiin SSQ-kyselyä, ja pelaajien tekemisiä ja sanomisia myös seurattiin testin aikana. Osa testihenkilöistä käytti omia, uniikkeja tapoja vähentää kokemaansa pahoinvointia, kuten nojaamalla liikkumissuuntaansa. Paikallaan pysyviin pelaajiin verrattuna liikkuvat pelaajat kärsivät vähemmän liikepahoinvoinnista. Testissä todettiin, että enemmän perinteistä pelikokemusta omaavat pelaajat saivat korkeammat SSQ-arvot kuin kokemattomat. Poikkeuksena oli yksi paljon pelannut testihenkilö, jolla oli myös paljon kokemusta VR-peleistä. Tämä voi viitata siihen, että VR-kokemuksiin on todella mahdollista siedättää itsensä. On kuitenkin huomioitava, että tässä tutkimuksessa käytetty 10 hengen testiryhmä ei ole riittävän suuri antamaan todellista kuvaa tilanteesta. Tämän takia selkeää varmuutta perinteisen videopelikokemuksen vaikutuksesta VR-pahoinvointiin ei voida saada pelkästään tämän tutkimuksen perusteella.

3. VR-liikepahoinvoinnin ehkäiseminen käyttäjänä

Käyttäjän valinnoista tärkein ja helpoin on varmistaa, että hänen käyttämänsä laitteisto on VR-yhteensopiva. Huonosti toimiva sovellus, joka menee jumiin, takkuaa ja nykii, on omiaan aiheuttamaan VR-pahoinvointia. Listausta minimivaatimuksista löytyy aina laitevalmistajan sivuilta tai sovelluskaupasta. [9.]

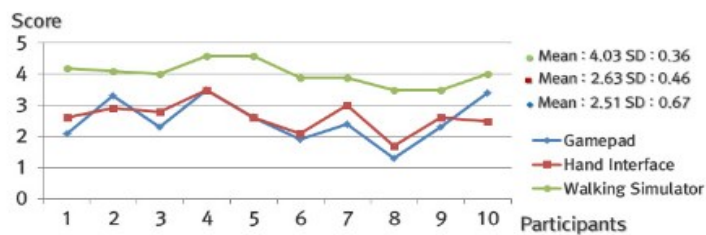
Lääkkeistä voi saada apua: pahoinvoinnin hoitoon tarkoitettuja lääkevalmisteita voivat helpottaa oireita, ja matkapahoinvointilääkkeet tai muut tasapainoelimen herkkyyttä laskevat lääkkeet saattavat auttaa ehkäisemään oireiden syntymistä. Amerikassa on saatavilla myös nimenomaan VR-pahoinvoinnin lääkitsemiseen tarkoitettuja valmisteita, mutta ainakaan toistaiseksi vastaavia ei ole tarjolla Suomessa. Lääkkeiden huonona puolena on mahdolliset sivuvaikutukset, joten niistä ei kannata hakea apua pitkäaikaisesti. [2.]

Työssä on aikaisemmin todettu, että VR:n käyttöaika vaikuttaa pahoinvoinnin oireiden ilmenevyyteen ja niiden voimakkuuteen. Oireiden syy on tottumattomuus VR:stä syntyviin aistiärsykkeisiin ja niiden mahdollisiin ristiriitaisuuksiin kehon tuntemuksien kanssa. Tämän takia saattaa olla käyttäjän edun mukaista aloittaa lyhyillä ja säännöllisillä sessioilla. Näin käyttäjä antaa itselleen mahdollisuuden tottua VR-stimulaatioon, ja sitä kautta vähentää kokemaansa VR-pahoinvointia. Totutumisesta syntyvät positiiviset vaikutukset näkyivät jo saman päivän aikana olleissa sessioissa ja säilyivät eri päivinä olevien sessioiden välillä. Duzmańska et al. [4] näkivät käyttämässään tutkimuksissa viitteitä myös siitä, että vaihtoehtoisesti yhden pidemmän VR-altistumisen aikana löytyy piste, jonka jälkeen oireet eivät pahene, vaan saattavat jopa helpottua, mikäli käyttäjä ei joudu keskeyttämään VR-altistusta ennen aikaisesti.

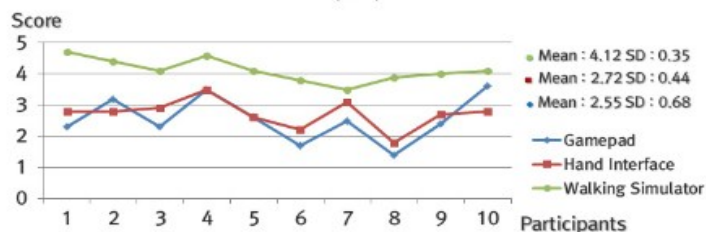
4. VR-liikepahoinvoinnin ehkäiseminen sovelluskehittäjänä

Varmin keino ehkäistä pahoinvointia on suunnitella sovellus hyödyntämään VR-laitteiden liikkeen seurantaan, jolloin pelaaja liikkuu itse fyysisessä tilassa, joka vastaa virtuaalimaailmassa olevaa tilaa. Pelaajan liikkeet tapahtuvat VR-maailmassa mahdollisimman tarkasti ja lyhyellä viiveellä. Lisäksi tämä lähestymistapa antaa pelaajalle vahvan paikallaolemisen kokemuksen (presence), eli pelaaja kokee olevansa oikeasti paikalla virtuaalimaailmassa. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista, mikäli pelaajan käytettävissä oleva tila on virtuaalista tilaa pienempi tai pelaaja on syystä tai toisesta haluton tai kykenemätön liikkumaan itse. [14.] Jiwon Lee et al. [15] tutkivat ohjausmetodin valinnan vaikutusta VR-kokemukseen verraten peliohjainta, käsieleitä (käsi auki = kävele, käsi nyrkissä = seis) ja paikallaan marssimista nilkkoihin puettavien sensoreiden avulla. Heidän kokeessaan käyttäjä päätti kulkusuuntansa HMD:nsä (Head Mounted Display) avulla kääntämällä päänsä haluamaansa suuntaan, ja itse liikkuminen tapahtui vain suoraan eteenpäin ohjaustavasta riippumatta. Käytettyinä virtuaaliympäristöinä oli matalapolygoninen maisema, sarjakuvamaisen grafiikan kaupunki ja realistinen luonto, ja jokainen koehenkilö kävi kaikki ympäristöt läpi kaikkien ohjaustapojen kanssa.

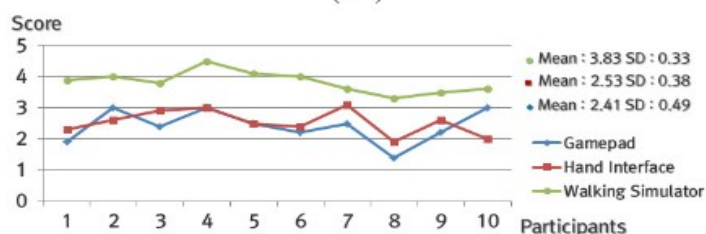
Virtuaaliympäristöjen yksityiskohtaisuudella graafisella tasolla ei löydetty olevan merkittävää vaikutusta käyttäjän immersioon. Paikallaan marssiminen antoi käyttäjille selkeästi parhaimman immersion, kun taas käsieleet ja peliohjain olivat lähes tasoissa, käsieleiden ollessa hieman parempi immersion kannalta. Koehenkilöille esitettiin kysymys "Antaako käyttämäsi vuorovaikutustapa riittävän immersion virtuaalitodellisuudessa kävelemiseen?" ja käyttäjät arvioivat kokemuksensa asteikolla 1 Ei lainkaan - 5 Erittäin paljon. Kuva 2 esittää kyselyn tulokset.



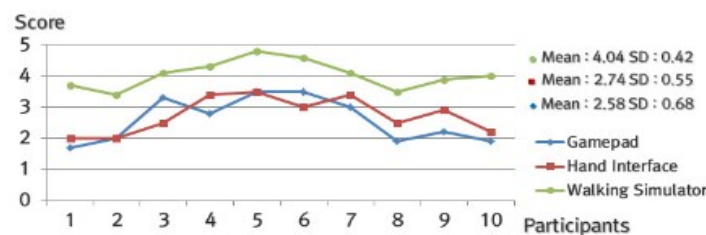
(a-1)



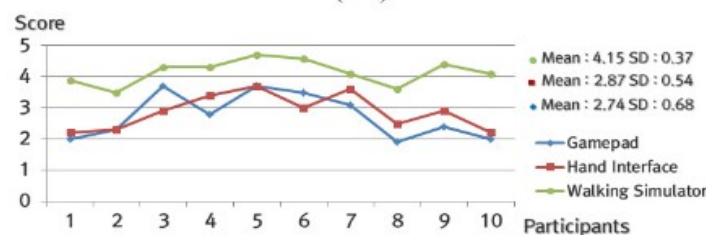
(a-2)



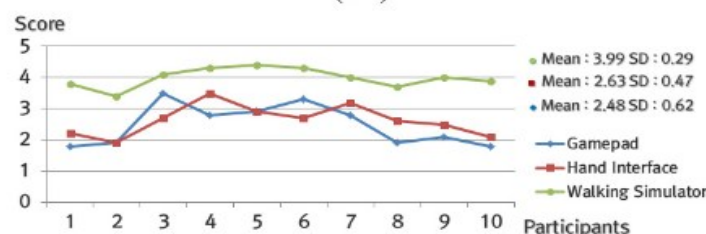
(a-3)



(b-1)



(b-2)



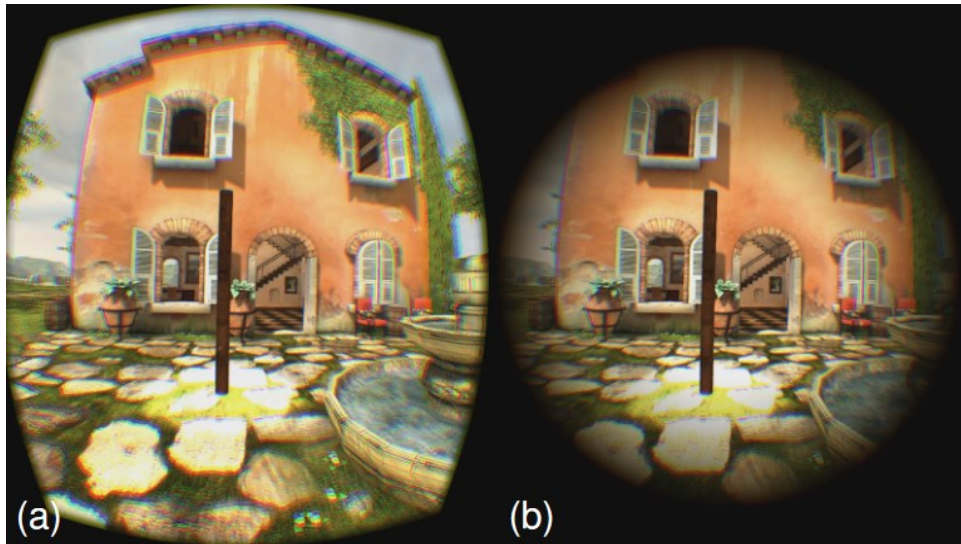
(b-3)

Kuva 2. Ryhmä A testasi ohjaustavat järjestyksessä peliohjain, käsieleet, paikallaan marssi; ryhmä B:n järjestyksen ollessa päinvastainen. Tulokset on eritelty käytetyn virtuaaliympäristön mukaan,

ensimmäisenä matalapolygoninen maisema (a-1, b-1), toisena sarjakuvamainen kaupunki (a-2, b-2) ja viimeisenä realistinen luonto (a-3, b-3). [15.]

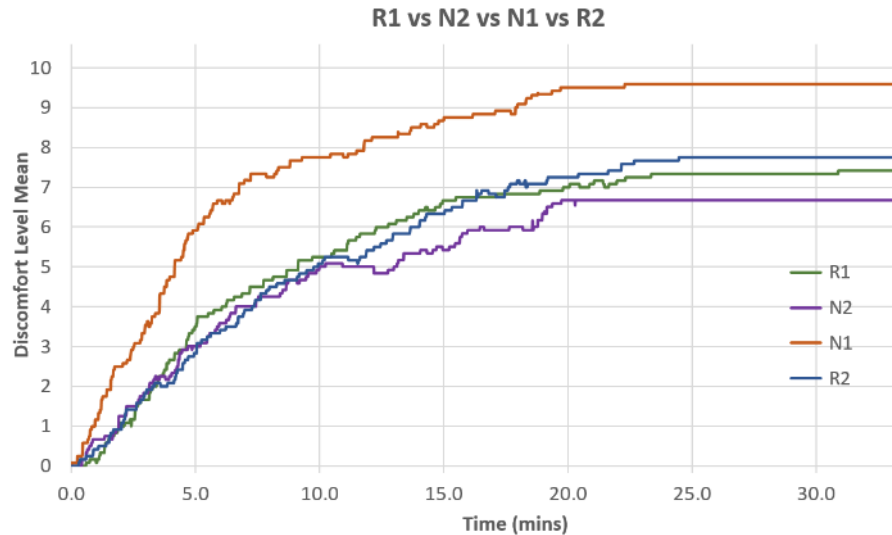
Toisessa kokeessa Lee et al. [15] tutkivat ohjaustapojen vaikutusta läsnäolon tunteeseen. Kärjessä oli taas paikallaan marssiminen, toisena käsieleet ja viimeisenä ohjain. Kolmas ja viimeinen koe keskittyi VR-liikepahoinvointiin, jossa vähiten pahoinvointia aiheuttava liiketapa oli jälleen paikallaan marssiminen, ja käsieleet aiheuttivat hieman vähemmän pahoinvointia kuin peliohjain. Tulosten tarkemmassa analyysissä huomattiin, että käsieleiden ja ohjaimen kanssa liikkeessä kamera liikkuu kohti katseen suuntaa keinumatta. Paikallaan marssiessa käyttäjän oma liike ja keinuminen siirtyy virtuaaliseen maailmaan, mikä edistää käyttäjän kykyä havaita liikkumistaan ja sen suuntaa. Pitkä kävely aika aiheutti enemmän pahoinvointia, eniten peliohjaimella ja vähiten paikallaan marssimisella.

Pienemmän näkökentän on todettu yleensä vähentävän VR-liikepahoinvointia, mutta se myös heikentää paikallaolemisen tunnetta. Lisäksi kapeammalla näkökentällä on huomattu olevan negatiivisia vaikutuksia käyttäjän kykyyn suoriutua visuaalisista tehtävistä, esimerkiksi tietyn kohteen etsimisestä. Fernandes & Feiner [14] tutkivat pelaajan näkökentän (Field of View, FOV) hienovaraisen ja dynaamisen muokkauksen vaikutusta paikallaan istuvan pelaajan VR-pahoinvointiin. He toteuttivat kokeen, jossa pelaajan näkökenttää muokattiin dynaamisesti tilanteissa, joissa VR-liikepahoinvoinnin todennäköisyys kasvoi pelaajan sovelluksen sisäisen liikkeen perusteella, ja palauttivat sen normaaliksi tilanteen päätyttyä. Kuva 3 havainnollistaa kokeessa tehtyä muokkausta. Kokeen tavoitteena oli selvittää, onko muokkauksella positiivista vaikutusta ja onko muokkaus mahdollista tehdä käyttäjän huomaamatta säilyttäen silti mahdolliset positiiviset vaikutukset.



Kuva 3. (a) näyttää yhden silmän muokkaamattoman FOV näkymän. (b) näyttää saman näkymän 90 asteen pehmeäreunaisen rajoitetun FOV:n kanssa [14].

Testissä käytettiin Oculus Rift DK2 -laitetta, ja sen mukana tulevaa Tuscany-demoa, joka muokattiin sopivaksi. Esitutkimusta käytettiin hyväksyttävän näkökentän muokkauksen löytämiseen (80 astetta/90 astetta), minkä jälkeen 24 tarkasteltua koehenkilöä teki testin istualtaan. Testissä kuljettiin välietapilta toiselle peliohjaimen avulla. Käyttäjät vastasivat SSQ-kyselyyn ennen ja jälkeen testin, ja lisäksi toiseen lyhyeen kyselyyn. Kesken testin sovellus kysyi senhetkistä pahoinvointia asteikolla 0–10, jossa 0 oli olotila aloittaessa ja 10 keskeytti testin. Koehenkilöt jaettiin kahteen ryhmään, joista toinen aloitti ilman näkökentän muokkausta (N1= No Restriction), ja toinen rajoitetulla näkymällä (R1 = Restriction). Seuraavana koepäivänä ryhmät tekivät toisen testin (N1 = R2 ja R1 = N2). Rajoitetuissa ryhmissä puolet testihenkilöistä saivat 80 asteen rajoituksen, puolet 90 astetta. Tulokset on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Ryhmien testin aikaisen pahoinvoinnin keskiarvon kuvaajat ryhmittäin. R1 = rajoitettu ensimmäisenä päivänä, N1 = normaali ensimmäisenä päivänä, R2 = rajoitettu toisena päivänä, N2 = normaali toisena päivänä [14].

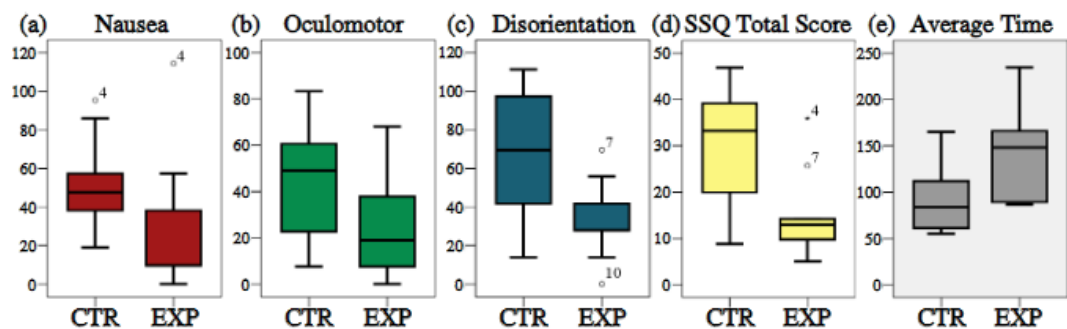
Tulosten mukaan N1-ryhmällä ilmenee eniten VR-liikepahoinvointia, joka osittain laski heidän tuloonsaan toisena testipäivänä (ryhmä R2). Negatiivisen ensimmäisen kokemuksen takia osa testihenkilöistä keskeytti testin jo lievempien oireiden ilmestyessä välttääkseen pitkän toipumisajan. R1-ryhmä pärjasi paremmin toisena päivänä (ryhmä N2), mikä voi selittyä testien järjestyksellä. Voidaan olettaa, että näkökentän rajoituksilla olisi positiivinen vaikutus sekä senhetkiseen VR-kokemukseen että myöhempisiin käyttökertoihin, vaikka myöhemmillä kerroilla näkökenttää rajoittavia muokkauksia ei olisi käytössä.

Näkökentän muutoksen huomasi 9 testihenkilöä 30:stä, joista viisi vastasi tarkentaviin kysymyksiin huomiosta. Heistä neljä koki näkökentän rajoittamisen positiivisena, ja haluaisi sen tuleviin VR-kokemuksiin. Vaikka 80 asteen ja 90 asteen näkökenttien havainnointien välillä ei ollut merkittävää eroa, yksi osallistuja huomasi 80 asteen rajoituksen kokien sen pahentavan pahoinvointia, koska joutui tällöin käyttämään enemmän ohjainta kääntymiseen. Suurin osa testihenkilöistä koki ohjaimella suoritettujen kääntymisten pahentavan oloaan, joten syy ei välttämättä ole näkökentässä. Läsnaolon kokemuksessa ei myöskään ollut merkittäviä eroja ryhmien välillä.

Guangyu Nie et al. [16] jatkoivat näkökentän muokkauksen testaamista kehittämällä joustavaan dynaamiseen tärkeysanalyysiin perustuvan algoritmin. Pelaajan katsetta yritetään ohjata huomiointiin objekteihin sumentamalla algoritmin perusteella ei-tärkeää aluetta. He kehittivät koetta varten ensimmäisen persoonan rallipelin. Esitestin avulla haettiin sopiva parametri taustan sumennukselle. Itse kokeessa oli 20 henkilön koeryhmä (10 miestä ja 10 naista),

joka jaettiin kahteen 5 miehen ja 5 naisen ryhmään satunnaisesti. Toinen ryhmä oli kontrolliryhmä, joka suoritti testin ilman sumennusta. Toinen suoritti testin koeolosuhteita käyttäen. Koehenkilöt vastasivat kyselyyn omista aikaisemmista kokemuksistaan VR:stä ja VR-liikepahoinvoinnista sekä suorittivat SSQ:n ennen ja jälkeen kokeen. Koehenkilön tehtävänä oli ajaa 13 kierrosta mahdollisimman nopeasti kaataen samalla radalla olevia seiniä ja yrittäen välttää auto-onnettomuutta.

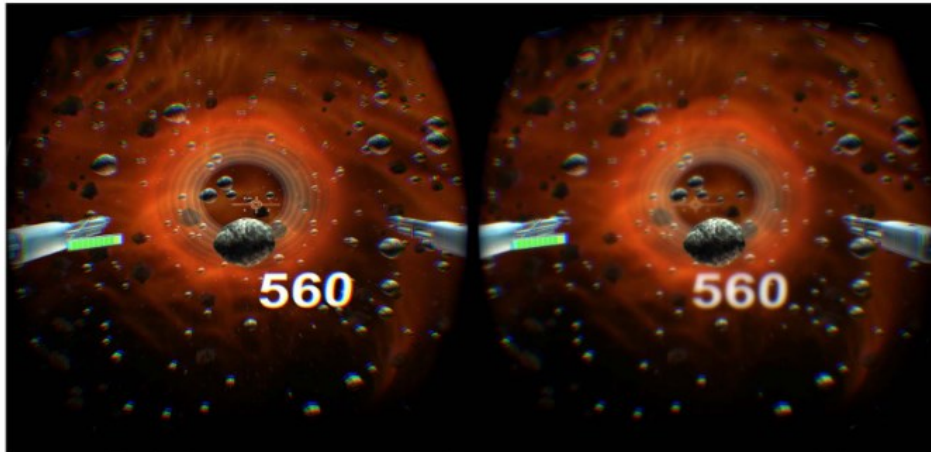
Kokeen kokonaisaika vaihteli 30 minuutin ja yhden tunnin välillä. 18 koehenkilöä suoritti testin loppuun, kaksi koeolosuhteiden jäsentä keskeytti. Toinen keskeytti voimakkaan pahoinvoinnin takia, toinen taas yritti suoriutua tehtävästä kykyjään nopeammin ja menetti siksi toistuvasti auton hallinnan aiheuttaen itselleen sekavan olon. Tuloksien (Kuva 5) mukaan käyttäjien kokema pahoinvointi väheni huomattavasti SSQ-kyselyn jokaisessa alaluokassa, noin 50 % keskimäärin, mutta heidän kierrosnopeutensa oli kontrolliryhmää 55 % hitaampi. Vaikka yleensä pitempi altistumisaika johtaa pahempaan VR-liikepahoinvointiin, tulokset olivat päinvastaisia tässä tutkimuksessa. Tämän takia voidaan olettaa, että tärkeyteen perustuvat muutokset parantavat käyttäjän VR-kokemusta.



Kuva 5. CTR kuvaa kontrolliryhmän tuloksia, EXP koeolosuhteita käyttäen [16].

Thiago M. Porcino et al. [9] pohtivat, onko syväterävyysalueen (Depth of Field, DOF) muokkauksella positiivista vaikutusta VR-käyttäjän kokemukseen. Yleensä tietokonesovelluksissa käytetään ääretöntä tarkennusta, eli kaikki näkyvissä olevat objektit ovat tarkkoina, mikä voi aiheuttaa pahoinvointia. Objektien dynaaminen tarkennus on vaikea toteuttaa, koska ilman silmänliikkeiden seuranta käyttäjän huomion kohdetta on vaikea määrittellä. Porcino et al. määrittelivät alueen, jolla käyttäjän mielenkiinnon kohde (Region of Interest, ROI) todennäköisesti olisi, ja kaikki siinä olevat objektit olisivat tarkkoina. Lisäksi kaikki käyttäjän huomiota vaativat objektit voisivat olla

tarkkoina sijainnistaan riippumatta. Teorian testaamista varten kehitettiin avaruusräiskintäpeli (Kuva 6), ja he antoivat ohjeet sen käyttämiseen, mutta eivät itse suorittaneet testiä. Käyttäjä pystyi itse laittamaan dynaamisen tarkennuksen päälle tai pois.



Kuva 6. Testiä varten kehitetty avaruusräiskintäpeli. Vasemmalla on normaali näkymä, oikealla dynaamisesti tarkennettu [9].

5. VR-liikepahoinvointia ehkäisevät lisälaitteet

Tässä kappaleessa on tarkasteltu eri valmistajien tarjoamia VR-lisälaitteita, joista osa on jo markkinoilla, osa on vielä kehitteillä. Laitteet on esitelty satunnaisessa järjestyksessä, ja tässä esitellään pelkästään niiden toimintaperiaatteita kiinnittäen erityistä huomiota ominaisuuksiin, joilla liikepahoinvointia olisi teoriassa mahdollista vähentää.

5.1. Kaupalliset lisälaitteet kuluttajille

5.1.1. Roto VR Chair

Roto VR Chair [17] on VR:ää varten suunniteltu pelituoli, josta käytetään tästedes lyhennettä Roto (kuva 7). Käyttäjän täytyy itse erikseen hankkia yhteensopiva VR-laite. Roton takana oleva firma tekee töitä tarjotakseen tukensa myös uusille VR-laitteille. Tuolin fyysisten ominaisuuksien ei pitäisi olla rajoittava tekijä, vaan tulevatkin VR-laitteet pitäisi pystyä kiinnittämään tuoliin muokattavissa olevan johtojenhallinnan kautta.



Kuva 7. Roton VR-tuoli [17].

Roton mukana tulee pääseurantalaitte (headtracker), joka kertoo tuolille, mihin suuntaan pelaaja katsoo. Moottoroitu tuoli sitten kääntyy seuraten pelaajan katsetta pään asennon mukaan. Väriätoiminto tarjoaa mahdollisuuden antaa pelaajalle tuntoaistiin perustuvaa palautetta. Tuoli on mahdollista laittaa tarvittaessa ohjaamotilaan, jossa tuolin kääntyminen on poissa käytöstä. Tuolista löytyy jalkatuki, jossa on digitaaliset kosketuspolkimet, joiden kautta pelaajan on mahdollista simuloida kävelyä istuessaan. [17.]

J. Rigg [18] kertoo Endgadget-sivustolle kirjoittamassaan artikkelissa teoreettisesti, miten Roto voisi hyödyntää pahoinvoinnista kärsiviä. Teoriassa Roton kääntyminen tarjoaa stimulaatiota sisäkorvalle, joka ehkäisisi VR-liikepahoinvointia. Lisäksi kääntymiseen liittyvistä kiihdytyksistä ja jarrutuksista seuraavat alitajuntaiset asennon ja tasapainon korjaukset viestivät kehon fyysisestä liikkumisesta. Vaikka artikkelissa esitellään vanhaa prototyyppiä Rotosta, samat mekaniikat pätevät nykyiseen Rotoon. Rigg mainitsee, ettei itse koskaan kärsi pahoinvoinnista, joten artikkeli ei kerro, onko Rotolla oikeasti vaikutusta VR-liikepahoinvointiin.

Eric Switzer [19] kirjoitti artikkelin The Gamer- sivulla kokemuksistaan tuolin kanssa. Hänen kokemuksiansa mukaan Roto soveltuu parhaiten kiihkeätempoisiin peleihin, esimerkiksi "Epic Roller Coaster" -vuoristoratapeliin. Hitaampitempoisissa peleissä tuolin kääntyminen vähän liian pitkälle ja palautuminen oikeaan kohtaan oli joissakin tilanteissa häiritsevää. Pelit, joissa tuolin kääntymistä ohjattiin ratti- tai sauvaohjaimella, olivat miellyttävämpiä. Tuoli ei myöskään erota toisistaan tilanteita, joissa pelaaja haluaa vain vilkaista vähän sivummalle tai haluaa tuolin kääntyvän, vaan tuoli kääntyy aina pelaajan katsoessa sivulle. Tuolin väriätoiminto syvensi immersiota. Pahoinvoinnista ei artikkelissa ole mainintaa.

5.1.2. KAT VR

KAT VR [20] tarjoaa monta erilaista ratkaisua VR:ssä tapahtuvaan liikkumiseen. Heidän tuotteisiinsa kuuluvat erilaiset jokasuuntaiset kävelymatot (omnidirectional threadmills), kolmesta liikesensorista koostuva Loco S sekä edellä mainittuihin tuotteisiin kuuluva KAT Gateway -sovellus. Kaikissa liikesuunta määräytyy lantion mukaan, joten pelaajan on mahdollista katsoa eri suuntaan kuin kulkee.

KAT Walk C (kuva 8) on maailman ensimmäinen jokasuuntainen kävelymatto. Sen tarkoituksena on tarjota käyttäjälle rajaton liiketila VR:ssä mahdollisimman pienellä fyysisellä tilalla. Laite koostuu liukkaasta koverasta alustasta, jolla kävellään mukana tulevilla erikoisvalmisteisilla kengillä, joihin kiinnitetään sensorit. Laitteessa on selkätuki, johon pelaaja kiinnittää itsensä laitteessa olevan vyön avulla. Selkätuki auttaa pitämään käyttäjän jaloillaan ja kertoo sovellukselle käyttäjän rintamasuunnan. Laite mahdollistaa käyttäjältään sivuaskeltamiset ja kääntymiset sekä menemisen kyykkyyhän. Koska laite korvaa normaalit ohjaimen syötteet, laite on yhteensopiva monen VR-laitteen ja pelin kanssa. [20.]



Kuva 8. Kat Walk C -kävelymatto [20].

Kolme Kat Loco S -sensoria kiinnitetään käyttäjän nilkkoihin ja vyötärölle. Käyttäjä voi valita joko normaalitilan, jossa hahmoa liikutetaan marssimalla paikallaan, tai cruise-tilan, jossa pelaaja siirtää jompaakumpaa jalkaansa haluamaansa suuntaan. Mahdollisia liikesuuntia ovat eteenpäin menemisen lisäksi taakse ja sivuille. Käyttäjän on mahdollista vaihtaa asetuksista "itsenäinen vartalon ja pään suunta" -vaihtoehto, jolloin hahmo liikkuu vartalon suunnan mukaan katseesta riippumatta.

5.1.3. Virtuix Omni

Virtuix Omni One [21] on KAT Walk C:n kaltainen koveraan alustaan pohjautuva jokasuuntainen kävelymatto (Kuva 9). Erityiset, matalakitkaiset kengät tarvitaan myös Omni One -maton käyttöön. Erona KAT Walk C:hen verrattuna on se, että Omni Onessa pelaajan ja tukipuomin yhdistää liivi. Käyttäjän on mahdollista kävellä, juosta, kyykistyä, polvistua, hyppiä ja perääntyä.



Kuva 9. Virtuix Omni One jokasuuntainen kävelymatto [21].

5.2. Lisälaitteet yrityskäyttöön

5.2.1. KAT VR: KAT WALK ja KAT Walk Mini S

KAT Walk [20] on tukipuomista ja kuperasta kävelyalustasta koostuva jokasuuntainen kävelymatto. Pelaajan yläpuolelle kurottuva kiinteä puomi auttaa pitämään pelaajan jaloillaan ja mahdollistaa kävelyn lisäksi hyppimisen ja kyykistymisen.

KAT Walk Mini S [20] on pelihalleihin (Arcade) ja virtuaalikoulutusympäristöihin tarkoitettu toisen sukupolven kävelymatto. Mini S on pienempi kuin edeltäjänsä sekä tarvitsemaltaan pinta-alalta että korkeudeltaan, koska siinä pään päälle kurottuva puomi on vaihdettu KAT Walk C -kaltaiseen selkätukeen. Laitteesta löytyy haptinen palaute, eli pelaajan on esimerkiksi mahdollista tuntea

räjähdyksistä syntyvät värähtelyt. Tuotteen kanssa on mahdollista käyttää pelaajan omia kenkiä, mutta tarjolla on myös kenkien pohjiin kiinnitettävät suojat. KAT:n valmistamat kengät toimivat myös laitteen kanssa.

5.2.2. Infinadeck

Infinadeck [22] on suuri jokasuuntainen kävelymatto (Kuva 10). Infinadeck fyysisesti liikkuu käyttäjän askelten mukaan. Laite hyödyntää käyttäjän kenkiin ja selkään kiinnitettäviä jäljittämiä ja liikkuu pitäkseen käyttäjän maton keskellä. Askellus on luonnollinen, koska käyttäjän ei tarvitse liukua kaltevalla pinnalla. Koska matto liikkuu käyttäjän liikkeen mukaan, VR-pahoinvointia syntyy vain vähän, jos ollenkaan. Laitteen tukirengas näkyy myös VR-todellisuudessa tarjoten käyttäjälle kiinnekohdan sekä visuaalisesti että fyysisesti. Sen lisäksi että käyttäjä voi tarvittaessa tarttua tukirengaaseen ottaakseen siitä tukea, se estää käyttäjää vahingossa kävelemästä pois matolta. Yritys suunnittelee tuovansa markkinoille kuluttajaversioon lähitulevaisuudessa.



Kuva 10. Infinadeck jokasuuntainen kävelymatto [22].

5.2.3. Cyberith Virtualizer Elite 2

Cyberith Virtualizer Elite 2 [23] on alusta, joka kallistuu käyttäjän kulkusuunnan mukaan (Kuva 11). Siinä on mahdollista kävellä, juosta, kyyristyä ja perääntyä. Virtualizer Elite 2 reagoi käyttäjän

liikeisiin nopeasti ja vaihtaa kallistuskulmaa käyttäjän liikenopeuden mukaan. Kävelyn fyysistä raskautta on mahdollista säätää nappia painamalla, ja alustalla on mahdollista kävellä myös takaperin. Laitteen kanssa käytetään Virtualizer Overshoe -kengänpäällisiä. Tukivarsi pitää käyttäjän alustan keskellä ja samalla kertoo käyttäjän vyötärön suunnan sovellukselle, minkä ansiosta on mahdollista kulkea eri suuntaan kuin katsoo. Tukivarren ansiosta laite myös tietää käyttäjän pituuden ja mahdollistaa kyyristymisen.



Kuva 11. Cyberith Virtualizer Elite 2 kallistuva alusta [23].

5.3. Innovatiiviset lisälaitteet

Edellä esiteltyjen, nimenomaan VR-käyttöön suunniteltujen tuotteiden ja laitteiden lisäksi luova kehittäjä tai käyttäjä voi keksiä omia apuvälineitä VR-pahoinvoinnin ehkäisyyn. Esimerkiksi Yoshikazu Onuki et al. [24] kiinnittivät tuoliin ilmatyynyjä, jotka vähensivät pahoinvoinnin vaikutuksia antamalla henkilölle mahdollisuuden mukautua passiivisesti kokemaansa liikkeeseen omalla kehonliikkeellään. Testissä mitattiin koehenkilöiden kehon liikettä videotallenteen avulla. Liian liik-

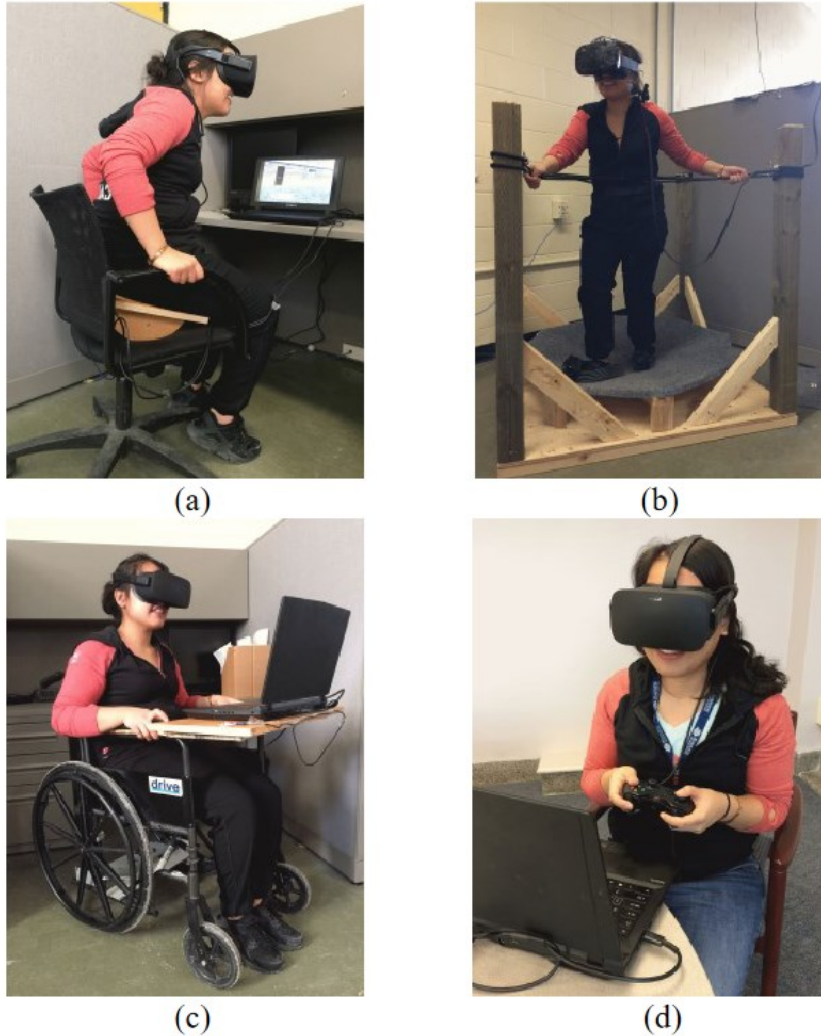
kuvan alustan, kuten jumppapallon, todettiin väsyttävän ja olevan epämukava. Tästä syystä kokeeseen valikoituivat ilmatyynyt tuolilla, jolloin koehenkilön jalat pystyivät olemaan tukevasti maassa. Kuva 12 esittää käytetyt ilmatyynyt.



Kuva 12. Kokeessa käytetyt tyynyasetelmat [24].

Koehenkilöt tekivät kokeen ilman tyynyjä, vain C1-tyynyn kanssa nojaamatta selkänojaan, sekä C1- ja C2-tyynyn kanssa molemmissa asetelmissä. Sovelluksina olivat virtuaalinen huvipuiston viikinkilaiva ja virtuaalinen vuoristorata. C1 yksinään vähensi vatsan tietoisuutta, mutta oli osalle väsyttävä eikä vähentänyt huimausta. Näiden löytöjen seurauksena koetilanteeseen lisättiin tyyny istuimen selkäosaan. C2 vähensi väsymystä, vatsan tietoisuutta, päänsäryn syntymistä ja huomausta.

Cassandra N. Aldaba et al. [25] vertasivat TiltChairia, jokasuuntaista kävelymattoa, pyörätuolia, ja ohjaussauvaa (Kuva 13).



Kuva 13. Aldaba et al. käyttämät ohjausmenetelmät [25].

TiltChair on yhdistelmä toimistotuolia ja istuttavaa tasapainolautaa, joiden mukaan käyttäjä liikkuu VR-sovelluksen sisällä. TiltChairillä liikkuminen oli käyttäjien mielestä hankalaa, ja aiheutti koehenkilöissä enemmän liikepahoinvointia kuin sauvaohjain. TiltChair ei huomionnut, että käyttäjä saattaisi katsoa eri suuntaan kuin olisi halunnut liikkua, mikä saattaa olla syynä suurempaan liikepahoinvointiin.

Pyörätuolissa käyttäjä kävelytti itseään haluamaansa liikkumasuuntaan. Se vähensi VR-liikepahoinvointia, mutta huonona puolena on sen vaatima suuri liikkumistila. Käyttäjien mielestä pyörätuolilla oli helppo liikkua.

Ryan Sullivan [26] kehitti proof of concept -sovelluksen, jossa virtuaalitodellisuusjärjestelmä HTC Viveen kuuluvien liikeohjaimien avulla seurattiin lantion suuntaa, ja liikkuminen tapahtui juoksemalla paikallaan. Ohjaimien lisäksi Viveen kuuluvat virtuaalilasit ja seuranta-anturit, jotka seuraa-

vat ohjaimien ja virtuaalilasien sijaintia antureiden määrittelemällä pelialueella. Tämä sallii käyttäjän katsella ympärilleen vapaasti ilman, että liikkumissuunta muuttuu. Viven lisäjäljittimiä on mahdollista käyttää seuraamaan ruumiinosia ja saavuttaa jopa kokonaisvaltainen kehon seuranta, mutta lisäjäljittimet joutuu ostamaan erikseen. Tarjolla on myös mobiilisovelluksia, jotka tekevät puhelimesta lantionseurantaan soveltuvan [27], ja valmistajia, jotka tekevät lantioseurantaan tarkoitettuja laitteita, esimerkiksi Decamove. [28.]

6. Yhteenveto

Virtuaalitodellisuuden aiheuttama aistiritiriitä nähdyn ja koetun välillä tuottaa helposti pahoinvointia käyttäjälle sekoittamalla ryhdinhallintamekanismin. Näin ollen yksinkertaisin ja tehokkain keino VR-liikepahoinvoinnin välttämiseen on virtuaalitodellisuuslaitteiden oma liikkeenseurannan hyödyntäminen ilman, että pelaajan kontrollia otetaan välillä pois. Etenkin kääntyminen ilman tasapainoelimen saamaa palautetta liikkeestä aiheuttaa pahoinvointia. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi kääntyminen peliohjaimella tai kameran kääntyminen katsomaan ennalta määrättyyn suuntaan ilman käyttäjän suostumusta. Liikkeenseurannan ongelmana saattaa olla käyttöpäikän rajallinen tila. Tilarajoituksia on mahdollista välttää valitsemalla ohjausmetodiksi paikallaan marssiminen sen sijaan, että käyttäjä liikkuisi fyysisessä tilassa. Lisäksi markkinoilta joko löytyy tai tulossa saataville erilaisia kävelymattoja ja -alustoja, joiden tarkoitus on mahdollistaa virtuaalitodellisuudessa liikkuminen pienessäkin fyysisessä tilassa.

Stimuloivan luonteensa takia VR-kokemus ärsyttää käyttäjänsä autonomisen hermoston osia, kuten vagus-hermoa, aiheuttaen fysiologisia muutoksia esimerkiksi käyttäjän hengitystiheydessä. Fysiologiset muutokset voivat puolestaan korostaa ja pahentaa syntyviä pahoinvoinnin oireita. Maltillisen hitaasti suoritettu totuttautuminen virtuaalitodellisuusympäristöön ja -laitteistoon auttaa vähentämään käyttäjän herkkyyttä pahoinvoinnille. Pahimpia VR-pahoinvoinnin oireita voi aluksi helpottaa lääkkeiden avulla, mutta niiden sivuvaikutukset tai yhtäjaksoisen käyttöajan rajoitukset voivat olla esteinä pitkäaikaiselle käytölle.

Erilaiset näkökentän hienovaraiset ja dynaamiset muokkaukset vähensivät tutkimuksissa VR-pahoinvoinnin syntyä. Käyttäjän näkökentän pienentäminen reunoilta käyttäjän liikkeessä ja kääntyessä sekä käyttäjälle vähemmän tärkeän alueen ja objektien dynaaminen sumentaminen vähensivät tutkimuksien mukaan VR-pahoinvoinnin syntyä. Kehittäjien haasteena on niiden toteuttaminen ilman, että käyttäjän läsnäolon kokemus kärsii ja uhkaa rikkoa käyttäjän uppoutumisen virtuaalitodellisuuden maailmaan.

VR-pahoinvoinnille saattaa olla riskiryhmiä: iällä näyttäisi olevan merkitystä VR-pahoinvoinnin syntyyn. Erään tutkimuksen mukaan 24–26-vuotiaat kokivat useimmiten pahoinvointia, mutta 30–39-vuotiaat saivat voimakkaimmat oireet. Pienen testiryhmän perusteella perinteisesti paljon pelanneet kokivat enemmän pahoinvointia kuin henkilöt, joilla oli vähän perinteistä pelikokemusta.

7. Pohdinta

Työllä oli kaksi päätavoitetta. Ensimmäisenä tavoitteena oli ymmärtää, miksi virtuaalitodellisuus aiheuttaa pahoinvointia monelle käyttäjälle. Toisena tavoitteena oli löytää keinoja ja ohjelmointikäytäntöjä, joilla vähentää virtuaalitodellisuuden aiheuttamaa liikepahoinvointia.

Opinnäytetyössä käsitellään VR-pahoinvoinnin syntyä ja sen vähentämisen keinoja monelta kannalta. Keinoja löytyy yksinkertaisesta virtuaalilasien liikkeenseurannan hyödyntämisestä monimutkaisella algoritmilla toteutettavaan dynaamiseen näkymän muokkaukseen. Käyttäjän puolelta on harmillisen vähän tehtävissä; suurin vastuu virtuaalitodellisuuden kokemuksen miellyttävyydestä jää kehittäjien vastuulle.

Aiheen tutkiminen on vielä suhteellisen alussa, ja sopivien lähdetekstien löytämisessä oli omat haasteensa. Työ oli odotettua haastavampi, koska lähes kaikki aiheeseen liittyvä kirjallisuus oli englanniksi, ja osa teksteistä sisälsi paljon lääketieteellistä terminologiaa ja kuvausta pahoinvoinnin synnystä. Niiden ymmärtämiseen ja kääntämiseen suomeksi kului suhteessa liikaa aikaa ja vaivaa, mutta kyseisissä teksteissä oli paljon aiheeseen nähden tärkeää tietoa. Työn näkökulman muuttamista yksinomaan ohjelmointikäytäntöjen kannalta tarkastelevaksi tai rajaamista muilla kriteereillä olisi voinut harkita, mutta silloin työn laajuus olisi saattanut jäädä vajaaksi koronasta johtuneen käytännön osuuden poistamisen takia.

Opinnäytetyössä esitetyn teorian pohjalta voisi tulevaisuudessa tehdä käytännön tutkimusta yhdistelemällä esitettyjä VR-pahoinvointia vähentäviä käytäntöjä. Etenkin lantion suunnan seurantaan olisi hyvä keskittyä, koska lantio osoittaa aina eteenpäin kävellessä kulkusuuntaan, olipa käyttäjä katsomassa mihin suuntaan tahansa. Katseenseurantateknologian yhdistäminen pelaajan näkökentän dynaamisiin ja hienovaraisiin muokkauksiin todennäköisesti vähentäisi VR-pahoinvoinnin syntyä ja parantaisi näkökentän muokkausten tehokkuutta ja huomaamattomuutta. Tämä ei kuitenkaan ole vielä mahdollista, sillä ainakaan toistaiseksi kaupallisesti saatavilla olevissa virtuaalilaseissa ei ole oletusarvoisesti valmiuksia katseenseurannan toteuttamiseen.

Lähteet

1. Osmo S. Matkapahoinvointi [Internet]. 2020. Available from: http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00301
2. Jung S m., Whangbo T k. Study on inspecting VR motion sickness inducing factors. In: 2017 4th International Conference on Computer Applications and Information Processing Technology (CAIPT). 2017. p. 1–5.
3. Murata A, Miyoshi T. Effects of duration of immersion in a virtual environment on postural stability. In: Systems, Man, and Cybernetics, 2000 IEEE International Conference on. 2000. p. 961–6 vol.2.
4. Dużmańska N. Can Simulator Sickness Be Avoided? A Review on Temporal Aspects of Simulator Sickness. *Front Psychol* [Internet]. 2018;9. Available from: https://kamk.finna.fi/PrimoRecord/pci.doaj_soai_doaj_org_article_b1e7b3b3f17f40158047c199bd06ca3a
5. Carnegie K, Rhee T. Reducing Visual Discomfort with HMDs Using Dynamic Depth of Field. *IEEE Comput Graph Appl*. 2015;35(5):34–41.
6. Kennedy RS, Lane NE, Berbaum KS, Lilienthal MG. Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *Int J Aviat Psychol*. 1993 Jul;3(3):203–20.
7. Kawamura S, Kijima R. Effect of head mounted display latency on human stability during quiescent standing on one foot. In: 2016 IEEE Virtual Reality (VR). 2016. p. 199–200.
8. VR Source. Oculus Rift S vs HTC Vive Cosmos: Which is the Better Headset? [Internet]. <https://vrsource.com/oculus-rift-s-vs-htc-vive-cosmos-which-is-the-better-headset-16305/>. 2021 [cited 2022 Nov 9]. Available from: <https://vrsource.com/oculus-rift-s-vs-htc-vive-cosmos-which-is-the-better-headset-16305/>
9. Porcino TM, Clua E, Trevisan D, Vasconcelos CN, Valente L. Minimizing cyber sickness in head mounted display systems: Design guidelines and applications. In: 2017 IEEE 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH). 2017. p. 1–6.
10. Takahashi Y, Murata A. Change of equilibrium under the influence of VR experience. In: Proceedings 10th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication ROMAN 2001 (Cat No01TH8591). 2001. p. 642–7.
11. Bruck S, Watters PA. The factor structure of cybersickness. *Displays* [Internet]. 2011;32(4):153–8. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014193821100059X>
12. Arns LL, Cerney MM. The relationship between age and incidence of cybersickness among immersive environment users. In: IEEE Proceedings VR 2005 Virtual Reality, 2005. 2005. p. 267–8.
13. Hunt X, Potter LE. High computer gaming experience may cause higher virtual reality sickness. 2018. 598–601 p.
14. Fernandes AS, Feiner SK. Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification. In: 2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI). 2016. p. 201–10.
15. Lee J, Kim M, Jinmo K. A Study on Immersion and VR Sickness in Walking Interaction for Immersive Virtual Reality Applications. *Symmetry (Basel)*. 2017;9:78.
16. Nie G, Liu Y, Wang Y. [POSTER] Prevention of Visually Induced Motion Sickness Based on Dynamic Real-Time Content-Aware Non-salient Area Blurring. In: 2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct). 2017. p. 75–8.
17. Roto VR. Roto VR [Internet]. <https://www.rotovr.com/>. 2022 [cited 2022 Nov 9]. Available from: www.rotovr.com

18. Rigg J. How a spinning chair made virtual reality feel more real [Internet]. <https://www.engadget.com/2015-03-05-roto-virtual-reality-chair.html?guccounter=2>. 2015 [cited 2022 Nov 9]. Available from: <https://www.engadget.com/2015-03-05-roto-virtual-reality-chair.html?guccounter=1>
19. Switzer E. Test Driving The World's First Interactive VR Chair - Roto VR Review [Internet]. <https://www.thegamer.com/roto-vr-gaming-chair-review/>. 2021 [cited 2022 Nov 9]. Available from: <https://www.thegamer.com/roto-vr-gaming-chair-review/>
20. KatVR. Kat VR [Internet]. <https://www.kat-vr.com/>. 2022 [cited 2022 Nov 9]. Available from: <https://www.kat-vr.com/>
21. Virtuix. Virtuix Omni [Internet]. <https://omni.virtuix.com/>. 2022 [cited 2022 Nov 9]. Available from: <https://omni.virtuix.com/>
22. INFINADECK. Infinadeck [Internet]. <https://www.infinadeck.com/>. 2022 [cited 2022 Nov 9]. Available from: <https://www.infinadeck.com/>
23. cyberith. Cyberith Virtualizer Elite [Internet]. <https://www.cyberith.com/virtualizer-elite/>. 2022 [cited 2022 Nov 9]. Available from: <https://www.cyberith.com/virtualizer-elite/>
24. Onuki Y, Ono S, Kumazawa I. Air cushion: A pilot study of the passive technique to mitigate simulator sickness by responding tovection. In: 2017 IEEE Virtual Reality (VR). 2017. p. 323–4.
25. Aldaba CN, White PJ, Byagowi A, Moussavi Z. Virtual reality body motion induced navigational controllers and their effects on simulator sickness and pathfinding. In: 2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 2017. p. 4175–8.
26. Sullivan R. RIPMotion [Internet]. <https://smirkingcat.software/ripmotion/>. 2016 [cited 2022 Nov 9]. Available from: <https://smirkingcat.software/ripmotion/>
27. Finoki. owoTrack [Internet]. https://play.google.com/store/apps/details?id=org.ovrgyro-trackersync&hl=en_US&gl=US&pli=1. 2022 [cited 2022 Nov 9]. Available from: https://play.google.com/store/apps/details?id=org.ovrgyrotracker-sync&hl=en_US&gl=US&pli=1
28. DECA.NET. DecaMove [Internet]. <https://www.deca.net/decamove/>. 2022 [cited 2022 Nov 9]. Available from: <https://www.deca.net/decamove/>