

**Lauri Niskanen**

**Virtuaalisen todellisuuden liikepahoinvoinnin  
vähentäminen eri liikkumiskyvyillä**

Tietotekniikan kandidaatintutkielma

30. huhtikuuta 2020

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

**Tekijä:** Lauri Niskanen

**Yhteystiedot:** lauri.j.v.niskanen@student.jyu.fi

**Ohjaaja:** Antti-Jussi Lakanen

**Työn nimi:** Virtuaalisen todellisuuden liikepahoinvoinnin vähentäminen eri liikkumiskyvyillä

**Title in English:** A mapping study of locomotions for mitigating motion sickness in virtual reality

**Työ:** Kandidaatintutkielma

**Opintosuunta:** Pelit ja pelillisuus

**Sivumäärä:** 21+0

**Tiivistelmä:** Tässä tutkielmassa kartoitetaan virtuaalisen todellisuudessa tapahtuvan liikepahoinvoinnin vähentämisen keinoja eri liikkumiskykyjen näkökulmasta. Virtuaalinen todellisuus on kasvanut ilmiönä VR-laitteiston teknologian parantuessa ja hinnan alentuessa yksityiselle kuluttajalle sopivaan hintaan. Yksi virtuaalisen todellisuuden ongelmista käyttäjille on sen tuottama liikepahoinvointi. Tutkielman johtopäätös muista vertailevista tutkimuksista oli se, että liikkumiskyvyillä ei ollut yleisesti havaittavia eroja liikepahoinvoinnin suhteen. Tutkimusten tulokset olivat myös paikoin ristiriidassa keskenään. Tutkielma ehdottaa, että virtuaalisen todellisuuden sovellusten kehittäjien kannattaa tukea montaa eri sovelluksen kontekstissa toimivaa liikkumiskykyä, koska liikepahoinvoinnin vaikutus voi olla yksilöllistä sovelluksen käyttäjästä riippuen.

**Avainsanat:** virtuaalinen todellisuus, liikkumiskyky, vr, liikepahoinvointi, simulaattoripahoinvointi, pelisuunnittelu

**Abstract:** This study strives to map the different locomotions for mitigating motion sickness in virtual reality. Virtual reality has seen an increase in popularity due to better VR hardware and more manageable prices for the consumer. One of the problems of virtual reality is the VR sickness it causes to the user. The conclusion of the study made from other comparison

studies was that there were no generally discernible differences between the locomotions regarding VR sickness. The results from different studies also had some contradictions with each other. This study suggests that the developers of virtual reality applications should use multiple different locomotions, which work within the context of the application, due to how VR sickness affects users individually.

**Keywords:** virtual reality, vr, locomotion, motion sickness, simulation sickness, game design

## **Kuviot**

Kuvio 1. HTC Vive -lasit.....	2
Kuvio 2. Osoita ja siirry.....	7

## Sisältö

1	JOHDANTO .....	1
2	VIRTUAALISEN TODELLISUUDEN MÄÄRITTELY .....	2
3	VIRTUAALITODELLISUUDEN AIHEUTTAMA LIIKEPAHOINVOINTI .....	4
4	LIKKUMISKYKYJEN MÄÄRITTELY .....	6
	4.1 Osoita ja siirry .....	6
	4.2 Uudelleenohjattu käveleminen .....	7
	4.3 Paikallaan käveleminen ja käsien heiluttelu .....	8
	4.4 Lentäminen ja käsien räpyttely .....	8
	4.5 Ohjaimen käyttö .....	8
	4.6 Erikoisohjainten käyttö .....	9
	4.7 Katseella tai osoituksella ohjattu liikkuminen .....	9
5	LIKKUMISKYKYJEN VERTAILU .....	10
6	YHTEENVETO .....	12
	LÄHTEET .....	13

# 1 Johdanto

Virtuaalinen todellisuus (engl. virtual reality, VR) on kasvanut ilmiönä paljon viime vuosina. Tähän on auttanut kehitys VR-laitteiden teknologiassa, joka on johtanut VR-laitteiden kaupallisuuden kannattavuuteen ja siten lisännyt VR-sovellusten julkaisumäärää (Bozgeyikli ym. 2019). Esimerkkejä kyseisistä kaupallisista VR-laitteistoista ovat Valven Index<sup>1</sup>, HTC:n Vive<sup>2</sup> ja Facebookin Oculus<sup>3</sup>.

Virtuaalinen todellisuus kuitenkin aiheuttaa useille sen käyttäjille liikepahoinvointia (Kennedy ym. 1993). Koska tärkeimmät liikepahoinvointiin vaikuttavat tekijät, kuten esimerkiksi näyttöjen virkistystaajuus (Somrak ym. 2019; Fernandes ja Feiner 2016), liittyvät VR-laitteiden teknologiaan, tutkielma pyrkii löytämään keinoja liikepahoinvoinnin vähentämiseen ohjelmantoteutuksen kautta. Tutkielman tarkoitus on myös kartoittaa ja vertailla löydettyjä keinoja siten, mitä eri keinoja virtuaalisen todellisuuden sovellusten tekijöiden tulisi käyttää.

Tutkielman tutkimusstrategiana käytetään kirjallisuuskatsausta. Tutkimuksen laatu perustuu kirjallisuuden laatuun, eli hyvään lähteiden ja tiedon etsintään. Kirjallisuudesta tehdyt johtopäätökset ovat myös perusteltu kirjallisuuden avulla. Tutkielman tarkoituksena ei ole löytää uusia keinoja, vaan sen tarkoitus on yrittää kartoittaa nykyisiä keinoja. Tutkielma pyrkii tekemään kartoituksen vain kirjallisuuden avulla, koska virtuaalisesta todellisuudesta, sen aiheuttamasta liikepahoinvoinnista ja sen liikkumiskyvyistä löytyy hyvin paljon lähteitä kymmenen viime vuoden ajalta.

Tutkielman rakenne on seuraava: Luvussa 2 määritellään virtuaalinen todellisuus ja siihen liittyvä laitteisto. Luvussa 3 avataan liikepahoinvoinnin määritelmää virtuaalisessa todellisuudessa. Luvussa 4 esitellään erilaisia liikkumiskykyjä virtuaalisessa todellisuudessa. Luvussa 5 vertaillaan esiteltyjä liikkumiskykyjä muiden tutkimusten avulla. Tutkielma lopettaa yhteenvetoon luvussa 6.

---

1. <https://store.steampowered.com/valveindex>

2. <https://www.vive.com>

3. <https://www.oculus.com>

## 2 Virtuaalisen todellisuuden määrittely

Jayaram, Connacher ja Lyons 1997 määrittelevät virtuaalisen todellisuuden illuusiona fyysisestä läsnäolosta tietokoneella tehdyssä virtuaalisessa maailmassa. Tällainen virtuaalinen todellisuus on tietokoneella luotu ympäristö, jonka näkymä (engl. viewport) on suoraan käyttäjän liikkeen mukainen. Käyttäjän liikkeet pystytään havaitsemaan VR-laseilla (engl. head mounted display, HMD). VR-lasit (ks. kuvio 1) koostuvat joko yhdestä tai kahdesta näytöstä siten, että kummallekin silmälle on oma näkymä virtuaalisesta maailmasta. Laseissa on myös erilaisia sensoreita, joilla pystytään seuraamaan käyttäjän pään rotaatiota ja sijaintia (Bozgeyikli ym. 2016). Jotkut VR-lasit pystyvät myöskin seuraamaan käyttäjän katsetta. VR-lasit toimivat joko itsenäisesti tai jonkun muun laitteen avulla (Duzmanska, Strojny ja Strojny 2018). Muita laitteita voivat olla esimerkiksi pöytätietokoneet tai kannettavat tietokoneet, älypuhelimet tai pelikonsolit. Halvimmat VR-laitteistot ovat älypuhelimelle suunniteltuja koteloita, joihin kuuluvat linssit. Näihin kuuluvat esimerkiksi Googlen Cardboard ja Samsungin Gear VR.



Kuvio 1. Yksi esimerkki VR-laseista ovat HTC Viven lasit. Kuvio on otettu HTC:n lehdistöpakkauksesta.

VR-laitteistoon voi kuulua lasien lisäksi myös erilliset käsien ohjaimet tai käden liikkeen tunnistavat sensorit (Boletsis 2017). Laitteiston ohjaimet pystyvät seuraamaan käyttäjän käsien sijaintia ja orientaatiota. Käsien paikantaminen on hyvin tärkeää, sillä se mahdollistaa

käyttäjälle kyvyn olla vuorovaikutuksessa luontaisesti suureen osaan virtuaalisen maailman esineistä.

Suurin osa nykyisistä VR-laitteistoista, kuten esimerkiksi HTC:n Vive, Valven Index ja Windowsin WMR-standardi, tukevat huoneen kokoista virtuaalista todellisuutta. Huoneen kokoisessa virtuaalisessa todellisuudessa laitteisto havaitsee käyttäjän paikkaa sille asetetulla alueella (Bozgeyikli ym. 2019). Käyttäjän paikan seuranta tehdään joko laitteiston sisältä käsin (engl. inside-out) tai laitteiston ulkopuolelta (engl. outside-in) majakoiden tai kameran avulla.

VR-laitteiston osana voivat olla myös erikoisohjaimet, kuten esimerkiksi monisuuntainen kävelymatto tai askellin (Bozgeyikli ym. 2019). Näiden käyttö on kuitenkin jäänyt suurimmaksi osaksi ei-kaupallisiin virtuaalisten todellisuuksien sovelluksiin. Erikoisohjaimiin kuuluvat myös lento-ohjaimet lentosimulaattoriin tai ratti- ja poljin-ohjaimet autosimulaattoriin. Nämä eivät ole kuitenkaan suoraan VR-laitteiston mukana, vaan käyttäjä on erikseen lisännyt kyseiset ohjaimet tarpeen vaatiessa.



### 3 Virtuaalitodellisuuden aiheuttama liikepahoinvointi

Liikepahoinvointi (engl. motion sickness) on virtuaalitodellisuuden sovelluksien käyttäjille usein tapahtuva pahoinvointitila (Somrak ym. 2019; Duzmanska, Strojny ja Strojny 2018; Guna ym. 2019). Sen oireisiin kuuluvat useimmiten huimaus, pahoinvointi ja päänsärky (Guna ym. 2019), vaikka muitakin oireita voi olla, kuten esimerkiksi silmien raskaus (Duzmanska, Strojny ja Strojny 2018). Virtuaalisen todellisuuden liikepahoinvointi on samankaltainen tila kuin matkapahoinvointi (Somrak ym. 2019).

Virtuaalisen todellisuuden liikepahoinvoinnista käytetään montaa eri nimitystä, kuten esim. simulaatiopahoinvointi (engl. simulation sickness) ja kyberpahoinvointi (engl. cyber sickness). Näiden eri nimitysten tarkat merkitykset eivät kuitenkaan ole samoja (Guna ym. 2019). Tässä tutkielmassa virtuaalisen todellisuuden liikepahoinvoinnilla tarkoitetaan kaikkea sitä liikepahoinvointia, jota tapahtuu käyttäjälle virtuaalisen todellisuuden sovelluksen käytön aikana.

Duzmanska, Strojny ja Strojny (2018) mukaan suosituimpia teorioita virtuaalisen todellisuuden liikepahoinvoinnin syille ovat aistien ristiriita -teoria (engl. sensory conflict theory) (Reason ja Brand 1975), hermojen yhteensopimattomuus -teoria (engl. neural mismatch theory) (Reason 1978) ja posturaalinen epätasapaino -teoria (engl. postural instability theory) (Riccio ja Stoffregen 1991). Vaikka osa teorioista on tuotu kritiikkinä aiemmille teorioille, jokainen teorioista perustuu virtuaalisen todellisuuden tuoman aistihavainnon ristiriitaan joko muiden aistien tai entisten kokemusten välillä (Duzmanska, Strojny ja Strojny 2018).

Aistien ristiriidalla Reason ja Brand (1975) tarkoittavat sitä ristiriitaa, joka tapahtuu ihmisen eri aistien välillä. Tämä näkyy virtuaalisessa todellisuudessa siinä, että virtuaalisen todellisuuden näkymä näyttää eri asiaa, mitä käyttäjän tasapainoelin tuntee. Hermojen yhteensopimattomuudella tarkoitetaan taas vastaanotetun aistitiedon ja henkilön hermoston aiempien kokemusten kautta hankitun aistitiedon ristiriitaa (Reason 1978). Riccio ja Stoffregen (1991) ehdottavat posturaalisen tasapainon teoriallaan sitä, että liikepahoinvointia tapahtuisi silloin, kun henkilö on ollut alttiina posturaaliselle epätasapainolle, mihin henkilö ei ole tottunut.

Vaikka liikepahoinvointi voi vaikuttaa fysiologisesti käyttäjään nopeuttamalla käyttäjän sykettä, lisäämällä ihon johtavuutta ja laskemalla ihon lämpötilaa (Min ym. 2004; Bruck ja Watters 2011), tarkkoja fysiologisia muuttujia liikepahoinvoinnin havaitsemiselle ei ole löytynyt (Duzmanska, Strojny ja Strojny 2018). Liikepahoinvoinnin mittaus täysin fysiologisin menetelmin on kuitenkin hankalaa liikepahoinvoinnin oireiden, laukaisijoiden ja oireiden voimakkuuksien yksilöllisyyksien vuoksi (Gavgani ym. 2018). Näiden fysiologisten menetelmien puutteiden vuoksi tutkimukset, kuten esimerkiksi Suma ym. (2010), ovat käyttäneet liikepahoinvoinnin kartoitukseen kyselyitä.

Yksi käytetyimmistä kyselyistä on Kennedy ym. (1993) tekemä ”Simulator Sickness Questionnaire” (SSQ) (Duzmanska, Strojny ja Strojny 2018). Ennen virtuaalisen todellisuuden sovelluksen kokeen aloittamista koehenkilöltä kysytään tietoa hänen fyysisestä kunnosta sekä hänen entisestä kokemuksesta virtuaalisen todellisuuden sovellusten käytöstä. Sovelluksen käytön jälkeen koehenkilöltä kysytään kysely, joka koostuu 16 kysymyksestä (Duzmanska, Strojny ja Strojny 2018).

## 4 Liikkumiskykyjen määrittely

Vaikka virtuaaliset todellisuuden maailmat voivat olla laajoja, niille varattu alue oikeassa maailmassa on rajattu. Jotta virtuaalisen todellisuuden sovelluksen käyttäjä pystyisi tutki- maan virtuaalisen todellisuuden maailmaa laajemmin, sovelluksien kehittäjien on kehitel- tävä käyttäjälle liikkumiskykyjä virtuaalisessa maailmassa. Liikkumiskyvyillä tarkoitetaan eri metodeja, joilla käyttäjä pystyy liikkuttamaan näkymäänsä virtuaalisessa maailmassa, kun käyttäjän liikkeitä ei pystytä havainnoimaan tai käyttäjän liikkeitä havainnoiva alue lop- puu. Tämän vuoksi liikkumiskykyjä tarvitaan vieläkin, vaikka nykyajan kaupallinen VR- teknologia pystyy paikantamaan käyttäjän sijainnin huoneen alueella. Eri liikkumiskykyjä voidaan käyttää riippuen sovelluksen kontekstista ja käytetystä VR-laitteistosta.

Boletsis (2017) mukaan liikkumiskyvyt voidaan kategorisoida neljään eri tyyppiin: liikkee- seen perustuvaan (engl. motion-based), tilaan perustuvaan (engl. room scale-based), ohjai- meen perustuvaan (engl. controller-based) ja siirtymiseen perustuvaan (engl. teleportation- based) liikkumiskykyyn. Kategorisointi tehtiin jaotteleamalla liikkumiskyvyt niiden vuoro- vaikutuksen, liikkeen ja tilan mukaan.

### 4.1 Osoita ja siirry

Osoita ja siirry (engl. point and teleport) on usein virtuaalisen todellisuuden sovelluksissa käytetty liikkumiskyky (esim. Valven Half-Life: Alyx) (ks. kuvio 2). Liikkumiskyky toimii siten, että käyttäjä osoittaa ohjaimella tai kädellä paikkaan virtuaalisessa todellisuudessa siir- täen käyttäjän kyseiseen paikkaan. Sovellus tietää oikean siirtymiskohdan laskemalla vekto- rin käyttäjän ohjaimesta tai olkapäästä. Käyttäjä ei liiku vähitellen, vaan hänet siirretään vä- littömästi uuteen sijaintiin. Käyttäjän orientaatio kuitenkin pyritään säilyttämään samana uu- dessa positiossa. Boletsis (2017) mukaan osoita ja siirry -liikkumiskyky kuuluu siirtymiseen perustuviin liikkumiskykyihin.

Bozgeyikli ym. (2016) mukaan käyttäjät eivät koe virtuaalisen todellisuuden liikepahoin- vointia käyttäessään osoita ja siirry -liikkumiskykyä. Heidän tutkimuksessaan käytettiin myös muunneltua sovitusta liikkumiskyvystä, jossa käyttäjä pystyy valitsemaan orientaation uu-



Kuvio 2. Esimerkki osoita ja siirry -liikkumiskyvyn käytöstä kaupallisessa tuotteessa. Kuva on kaapattu Half-Life: Alyx -pelistä. (Valve Corporation 2020)

nessa sijainnissa. Tämä muunneltu liikkumiskyky ei kuitenkaan ollut tarpeeksi käyttäjäystävällinen ja tuotti enemmän liikepahoinvointia (Bozgeyikli ym. 2016).

## 4.2 Uudelleenohjattu käveleminen

Uudelleenohjattu käveleminen (engl. redirected walking) on liikkumiskyky, jossa kääntään virtuaalista maailmaa algoritmin avulla siten, että käyttäjä kävelee koko ajan kauimmaista seinää kohten. Kyseinen algoritmi pystyy tähän ilman liikepahoinvointia, sillä se hyväksikäyttää ihmisen paikan, orientaation ja liikkeen havaitsemisen puutteita. Nämä puutteet voi nähdä esimerkiksi laittamalla silmät kiinni ja yrittämällä kävellä suoraan eteenpäin. Virtuaalisen maailman kääntäminen ei saa olla kuitenkaan liian suurta, sillä käyttäjä tulee havaitsemaan virtuaalisen maailman käännön. (Razzaque, Kohn ja Whitton 2001)

Myös Bozgeyikli ym. (2019) käyttivät tutkimuksessaan uudelleenohjattua kävelemistä. Hei-

dän havaintojensa mukaan käyttäjät eivät koe liikepahoinvointia eivätkä dissosiaatiota. Bozgeyikli ym. (2019) suosittlevat uudelleenohjatun kävelemisen käyttöä liikkumiskyynä niissä sovelluksissa, jotka pyrkivät käyttäjän läsnäoloon virtuaalisessa maailmassa. Boletsiksen (2017) mukaan uudelleenohjattu käveleminen kuuluu liikkumiseen perustuviin liikkumiskykyihin.

### **4.3 Paikallaan käveleminen ja käsien heiluttelu**

Käyttäjä liikkuu virtuaalisessa todellisuudessa käyttäjän näkymän suuntaan kävellen paikallaan (Bozgeyikli ym. 2019). VR-laitteisto voi seurata liikettä kahdella tavalla: Joko seuraten vain käsien liikettä, jolloin liikkumiskyky muuttuu käsien heilutteluksi (engl. arm swinging) (Boletsis 2017), tai seuraten käyttäjän koko sijaintia ja liikettä, jolloin seurataan myös jalkojen liikettä. Liikkumiskyvyissä tapahtuu samantapaista liikettä kuin kävelyssä, jolloin liikepahoinvointia pitäisi esiintyä vähemmän (Bozgeyikli ym. 2019). Kummatkin liikkumiskyvyt kuuluvat Boletsis (2017) mukaan liikkeeseen perustuviin liikkumiskykyihin.

### **4.4 Lentäminen ja käsien räpyttely**

Lentäminen on liikkumiskyky, jossa käyttäjä käyttää käsieleitä lentämiseen virtuaalisessa todellisuudessa. Käyttäjän pitää olla oikeassa asennossa lentämisen toimimiseksi tai käyttää ohjainta lennon aloittamiseksi tai lopettamiseksi (Bozgeyikli ym. 2019). Käsien räpyttely vastaa hyvinkin paljon lentämistä, mutta liikkuminen tapahtuu käsien räpyttelyllä (Bozgeyikli ym. 2019). Sekä lentäminen että käsien räpyttely kuuluvat liikkeeseen perustuviin liikkumiskykyihin (Boletsis 2017).

### **4.5 Ohjaimen käyttö**

Tässä liikkumiskyvyssä käytetään ohjainta virtuaalisen todellisuuden maailmassa liikkumiseen. Liikkumiskyky kuuluu ohjaimiin perustuviin liikkumiskykyihin (Boletsis 2017). Virtuaalisessa todellisuudessa tapahtuva liike ei vastaa tehtyä liikettä, mikä voi tuottaa käyttäjälle dissosiaatiota ja liikepahoinvointia (Fernandes ja Feiner 2016). Joissakin tapauksissa, ku-

ten esimerkiksi autosimulaattorissa, ohjaimen käytössä ei ole näitä ongelmia, sillä ohjaimen käyttö on tarpeeksi lähellä oikean maailman liikettä.

## **4.6 Erikoisohjainten käyttö**

Tässä liikkumiskyvyssä käytetään erikoisohjaimia, kuten esimerkiksi monisuuntaista kävelymattoa tai askellinta (Bozgeyikli ym. 2019; Boletsis 2017). Myös luvun 2 autosimulaattorin esimerkkivälineet ovat erikoisohjaimia. Jos virtuaalisen todellisuuden sovelluksen konteksti sopii erikoisohjaimen kontekstiin, ohjaimet tuovat luontevuutta liikkumiseen. Niiden käytännöllisyys yksityiskäytössä on kuitenkin rajoittunut, sillä ne ovat hyvin kalliita ja tilaa vieviä. Suurin osa käytössä olevista erikoisohjaimista on tehty tarkoin määriteltyihin konteksteihin. Jos sovelluksen konteksti toimii, liikkumiskyky ei tuota paljon dissosiaatiota tai liikepahoinvointia käyttäjälle.

Monisuuntainen kävelymatto on toimiva ratkaisu liikkumiskyynä, sillä sen tuottama kävely vastaa paljon oikeaa kävelyä (Bozgeyikli ym. 2019). Kävelymatto on kuitenkin hyvin paljon tilaa vievä ja kallis ohjain, joten kaupalliset laitteistot eivät ole käyttäneet kyseistä ohjainta. Bozgeyikli ym. (2019) käyttivät tutkimuksessaan askellinta. Kyseisessä tutkimuksessa todettiin se, että käyttäjät pitivät askellinta fyysisesti liian vaativana ja siten epäluonnollisena liikkumiskyynä. Myös virtuaalisessa maailmassa kääntyminen tuntui käyttäjille vaikealta.

## **4.7 Katseella tai osoituksella ohjattu liikkuminen**

Katseella ohjatussa liikkumisessa käyttäjä liikkuu virtuaalisessa maailmassa näppäintä painamalla pään suunnan mukaan (Suma ym. 2010). Osoituksella ohjattu liikkuminen on hyvin lähellä osoita ja siirry -liikkumiskykyä, sillä osoituksella ohjatussa liikkumisessa käyttäjä osoittaa suuntaa tai sijaintia virtuaalisessa maailmassa. Käyttäjä aloittaa ohjaimella tai eleellä liikkeen, jossa sovellus liikuttaa käyttäjän näkymää kohti annettua suuntaa tai sijaintia. Suma ym. (2010) mukaan katseella tai osoituksella ohjatut liikkumismenetelmät ovat yksi yksinkertaisimmista liikkumiskyvyistä toteuttaa.

## 5 Liikkumiskykyjen vertailu

Bozgeyikli ym. 2019 toteavat tutkielmassaan, että liikkumiskyvyissä ei ollut suurta eroa liikepahoinvoinnin kannalta. Tutkimuksessa käytettiin kahdeksaa eri liikkumiskykyä, joista suositeltiin osoita ja siirry -liikkumiskykyä, uudelleenohjattua kävelyä ja ohjaimen käyttöä. Käsien räpyttelyä tai lentämistä ei suositeltu niiden liikkeen rasituksen vuoksi. Boletsis ja Cedergren (2019) taas päättelevät tutkimuksessaan, että osoita ja siirry, paikallaan kävelminen ja ohjaimen käyttö olivat kaikki toimivia liikkumiskykyjä. Heidän tutkimuksessaan eniten liikepahoinvointia aiheutti ohjaimen käyttö ja vähiten osoita ja siirry -liikkumiskyky.

Fernandes ja Feiner 2016 taas toteavat, että ne liikkumiskyvyt, jotka eivät ole liikkeen kontekstin mukaisia, voivat tuottaa enemmän liikepahoinvointia. Razzaque, Kohn ja Whitton (2001) taas tottavat tekemänsä tutkimuksen perusteella, että uudelleenohjattu kävely ei tuota liikepahoinvointia koehenkilöille. Bozgeyikli ym. (2019) myös vertailivat osoita ja siirry -liikkumiskykyä, paikallaan kävelemistä ja ohjaimen käyttöä. He eivät löytäneet tarpeeksi suuria eroavaisuuksia liikkumiskykyjen kesken liikepahoinvoinnin osalta. Suma ym. (2010) toteavat, että heidän tutkimuksessaan katseella ohjattu liikkuminen tuotti vähemmän liikepahoinvointia kuin huoneen kokoisessa virtuaalisessa todellisuudessa kävely. Tämä tulos oli heille hyvin yllättävä, sillä se oli ristiriitainen aiempien tutkimuksien kanssa (Zanbaka ym. 2005; Chance ym. 1998).

Tutkimuksen perusteella liikkumiskyvyt eivät johdonmukaisesti tuottaneet merkittäviä poikkeuksia liikepahoinvoinnin kannalta. Luetut tutkimukset eivät myöskään kaikki suositelleet samoja liikkumiskykyjä. Osasyt eriäviin havaintoihin voi olla luvussa 3 kerrottu liikepahoinvoinnin laukaisijoiden yksilöllisyys, joka voi tehdä myös liikkumiskykyjen vaikutuksesta yksilöllistä. Vaikka osoita ja siirry oli useimmiten suositeltu liikkumiskyky (Boletsis ja Cedergren 2019; Bozgeyikli ym. 2019, 2016), tutkimusten tuloksien ristiriitaisuuden perusteella yhden liikkumiskyvyn suosittelu ei ole mahdollista.

Tutkimusten pohjalta virtuaalisen todellisuuden sovellusten kehittäjien ja tutkijoiden kannattaisi tukea montaa eri sovelluksen kontekstiin sopivaa liikkumiskykyä, sillä kehittäjät eivät pysty takaamaan yksittäisen liikkumiskyvyn yleistä tehokkuutta liikepahoinvoinnin kannal-

ta. Jotkut kaupalliset virtuaalisen todellisuuden sovellukset, kuten esimerkiksi Valven Half-Life: Alyx, käyttävät jo tätä menetelmää heidän sovelluksen suunnittelussa (Valve Corporation 2020). Kyseinen sovellus käyttää kolmea eri liikkumiskykyä, jotka ovat: osoita ja siirry, osoituksella ohjattu liikkuminen ja ohjaimen käyttö.



## 6 Yhteenveto

Tutkielma pyrki kartoittamaan liikkumiskykyjä ja niiden vaikutuksia liikepahoinvoinnin vähentämiseen käyttämällä aiemmin tehtyjä liikkumiskykyjä vertailevia tutkimuksia. Tutkimukset valittiin niissä käytettyjen liikkumiskykyjen takia, sillä jokaista tutkittua liikkumiskykyä on käytetty paljon tutkimuksissa tai sovelluksissa. Tutkimukset käyttivät vertailuissa useita samoja liikkumiskykyjä tehden tutkimusten vertailusta myös helpompaa.

Tutkimusten perusteella jokainen tutkittu liikkumiskyky voi soveltua liikepahoinvoinnin kannalta sovellusten käyttöön, sillä yhtenäistä tutkimustulosta jonkin liikkumiskyvyn merkittävästä vaikuttavuudesta liikepahoinvointiin ei löytynyt. Eniten suositteluja liikepahoinvoinnin suhteen tutkimuksista sai osoita ja siirry -liikkumiskyky, mutta liikkumiskyky sai paljon kritiikkiä vähäisestä immersioista käyttäjille. Liikepahoinvoinnin yksilöllisten vaikutusten ja laukaisijoiden vuoksi monen eri liikkumiskyvyn tukeminen olisi suositeltavaa virtuaalisen todellisuuden sovelluksissa. Näiden päätelmien perusteella tutkielma on kartoittanut liikkumiskykyjä niiden tuottaman liikepahoinvoinnin suhteen.

Kirjallisuuskatsauksen käyttö tutkielmassa oli toimiva, sillä liikkumiskykyjä vertailevaa tutkimusta on tehty paljon. Kuitenkaan omaa empiiristä tutkimusta ei voi kirjallisuuskatsauksessa tehdä, mikä voisi auttaa liikkumiskykyjen vertailussa. Lisätutkimuksen teko empiriisellä tutkimuksella voisi olla tarpeellista.

Vaikka vertailevia tutkimuksia on tehty, lisää tutkimusta voitaisiin tehdä käyttämällä kyselyiden lisäksi fysiologisia muuttujia liikepahoinvoinnin mittaukseen, mikä tekisi liikkumiskykyjen vertailusta tarkempaa liikepahoinvoinnin suhteen. Myös lisätutkimuksen teko suuremmalla osallistujamäärällä voisi tuottaa johdonmukaisempia tuloksia.

## Lähteet

Boletsis, Costas. 2017. “The New Era of Virtual Reality Locomotion: A Systematic Literature Review of Techniques and a Proposed Typology”. *Multimodal Technologies Interact* 1, numero 4 (syyskuu). <https://doi.org/10.3390/mti1040024>.

Boletsis, Costas, ja Jarl Erik Cedergren. 2019. “VR Locomotion in the New Era of Virtual Reality: An Empirical Comparison of Prevalent Techniques”. *Advances in Human-Computer Interaction* 2019:7420781. doi:10.1155/2019/7420781. <https://doi.org/10.1155/2019/7420781>.

Bozgeyikli, E., A. Raij, S. Katkooi ja R. Dubey. 2016. “Point and Teleport locomotion technique for virtual reality” [kielellä English]. Teoksessa *CHI PLAY 2016 - Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 205–216. Cited By :40. doi:10.1145/2967934.2968105. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84995528812&doi=10.1145%2f2967934.2968105&partnerID=40&md5=6df2d8ff8a67beea56fc1db80d40db2e>.

———. 2019. “Locomotion in virtual reality for room scale tracked areas”. *International Journal of Human Computer Studies* 122:38–49. doi:10.1016/j.ijhcs.2018.08.002. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85052476268&doi=10.1016%2fj.ijhcs.2018.08.002&partnerID=40&md5=d6eeb0583858f5e775b4c993ddf94dd2>.

Bruck, Susan, ja Paul A. Watters. 2011. *The factor structure of cybersickness*. ID: 271537. doi:<https://doi.org/10.1016/j.displa.2011.07.002>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014193821100059X>.

Chance, S. S., F. Gaunet, A. C. Beall ja J. M. Loomis. 1998. *Locomotion Mode Affects the Updating of Objects Encountered During Travel: The Contribution of Vestibular and Proprioceptive Inputs to Path Integration*. ID: 1. doi:10.1162/105474698565659.

- Duzmanska, N., P. Strojny ja A. Strojny. 2018. “Can simulator sickness be avoided? A review on temporal aspects of simulator sickness” [kielellä English]. *Frontiers in Psychology* 9 (NOV). doi:10.3389/fpsyg.2018.02132. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85055989441&doi=10.3389%2ffpsyg.2018.02132&partnerID=40&md5=f55434e8d468d0ee604ac5c9719d0778>.
- Fernandes, A. S., ja S. K. Feiner. 2016. “Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification” [kielellä English]. Teoksessa *2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces, 3DUI 2016 - Proceedings*, 201–210. Cited By :69. doi:10.1109/3DUI.2016.7460053. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84974588713&doi=10.1109%2f3DUI.2016.7460053&partnerID=40&md5=3bc0fc1b9c4be07c4bd746baf6b3441f>.
- Gavani, A. M., F. R. Walker, D. M. Hodgson ja E. Nalivaiko. 2018. “A comparative study of cybersickness during exposure to virtual reality and “classic” motion sickness: Are they different?” *Journal of applied physiology* 125 (6): 1670–1680. doi:10.1152/jappphysiol.00338.2018. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85057808912&doi=10.1152%2fjappphysiol.00338.2018&partnerID=40&md5=3ba04aaaaa9622c14ed0f9b52add9371>.
- Guna, J., G. Geršak, I. Humar, J. Song, J. Drnovšek ja M. Pogacnik. 2019. “Influence of video content type on users’ virtual reality sickness perception and physiological response”. *Future Generation Computer Systems* 91:263–276. doi:10.1016/j.future.2018.08.049. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85053791595&doi=10.1016%2fj.future.2018.08.049&partnerID=40&md5=fa483bb4f5fc78c71ef2071b7684e3b1>.
- Jayaram, S., H. I. Connacher ja K. W. Lyons. 1997. “Virtual assembly using virtual reality techniques”. *Virtual Reality, Computer-Aided Design* 29 (8): 575–584. ISSN: 0010-4485. doi:[https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(96\)00094-2](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(96)00094-2). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010448596000942>.

Kennedy, R. S., N. E. Lane, K. S. Berbaum ja M. G. Lilienthal. 1993. "Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness" [kielellä English]. Cited By :1389, *The International Journal of Aviation Psychology* 3 (3): 203–220. doi:10.1207/s15327108ijap0303\_3. [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84910097390&doi=10.1207%2fs15327108ijap0303\\_3&partnerID=40&md5=6d364187310ee17c88c7fb679ff059ac](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84910097390&doi=10.1207%2fs15327108ijap0303_3&partnerID=40&md5=6d364187310ee17c88c7fb679ff059ac).

Min, Byung-Chan, Soon-Cheol Chung, Yoon-Ki Min ja Kazuyoshi Sakamoto. 2004. *Psychophysiological evaluation of simulator sickness evoked by a graphic simulator*. ID: 271441. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.06.002>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687004000985>.

Razzaque, S., Z. Kohn ja M. C. Whitton. 2001. *Redirected walking*. Citeseer. <http://www.cs.unc.edu/Research/hyre/papers/EVEAuthored/2001-Razzaque.pdf>.

Reason, J. T. 1978. "Motion Sickness Adaptation: A Neural Mismatch Model". *J R Soc Med* 71 (11): 819–829. doi:10.1177/014107687807101109. <https://doi.org/10.1177/014107687807101109>.

Reason, James T, ja Joseph John Brand. 1975. *Motion sickness*. Academic press.

Riccio, Gary E., ja Thomas A. Stoffregen. 1991. "An ecological Theory of Motion Sickness and Postural Instability". *Ecological Psychology* 3 (3): 195–240. doi:10.1207/s15326969eco0303\_2. [https://doi.org/10.1207/s15326969eco0303\\_2](https://doi.org/10.1207/s15326969eco0303_2).

Somrak, A., I. Humar, M. Sh. Hossain, M. F. Alhamid, M. A. Hossain ja J. Guna. 2019. *Estimating VR Sickness and user experience using different HMD technologies: An evaluation study*. ID: 271521. doi:<https://doi.org/10.1016/j.future.2018.11.041>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X18325044>.

Suma, E., S. Finkelstein, M. Reid, S. Babu, A. Ulinski ja L. F. Hodges. 2010. *Evaluation of the cognitive effects of travel technique in complex real and virtual environments* [kielellä English]. Cited By :42. doi:10.1109/TVCG.2009.93. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77952741057&doi=10.1109%2fTVCG.2009.93&partnerID=40&md5=e315377a19b9605614b709fe63f8b863>.

Valve Corporation. 2020. *Half-Life: Alyx - VR specifications*. <https://www.half-life.com/en/alyx/vr>.

Zanbaka, C. A., B. C. Lok, S. V. Babu, A. C. Ulinski ja L. F. Hodges. 2005. *Comparison of path visualizations and cognitive measures relative to travel technique in a virtual environment*. ID: 1. doi:10.1109/TVCG.2005.92.