

**KUNTOUTUSPELIEN FYYSINEN KUORMITTAVUUS POLVEN OJENNUS- JA  
KOUKISTUSLIIKKEISSÄ TEKONIVELLEIKKAUKSEN JÄLKEEN**

Antti Löppönen

Fysioterapian pro gradu -tutkielma  
Liikuntatieteellinen tiedekunta  
Jyväskylän yliopisto  
Syksy 2019

## TIIVISTELMÄ

Löppönen, A. 2019. Kuntoutuspelien fyysinen kuormittavuus polven ojennus- ja koukistusliikkeissä tekonivelleikkauksen jälkeen, Jyväskylän yliopisto, fysioterapian pro gradu -tutkielma, 49 s., 4 liitettä.

Tämä tutkimus on osa BEE-tutkimushanketta, jossa selvitetään pelillistetyn kotiharjoittelun vaikuttavuutta polven tekonivelleikkauksen jälkeen. Tämän kuormittavuustutkimuksen tarkoituksena oli selvittää eroaako kuntoutuspeliharjoittelu tavanomaisesta kotiharjoittelusta polvinivelen liikelaajuuden, kulmanopeuden ja kulmakertymän osalta.

Tutkimukseen osallistuneet vapaaehtoiset henkilöt rekrytoitiin Keski-Suomen keskussairaalan polven tekonivelpoliklinikakäynneiltä. Pelilaitteistona käytettiin liikesensoria (Microsoft Kinect 2) ja tietokonetta, joka yhdistettiin televisioon. Kuntoutuspelit (Turku Game Lab) olivat Unity-pohjaisia, joista kaksi (Cave & Intruders) keskittyivät polven ekstensio- ja yksi (Rowing) fleksiosuunnan liikkeisiin. Pelit kehitettiin erityisesti polventekonivelleikkauksen jälkeiseen kuntoutukseen. Tavanomaisina tekonivelleikkauksen jälkeisinä harjoitteina olivat koukistus istuen, koukistus seisten ja ojennus istuen. Polven nivelkulmaa ja kulmanopeutta mitattiin 2D-liiketoiminnan avulla. Liikelaajuus määriteltiin toistojen perusteella luokittelemalla ne liiketoiminnan datasta ja tilastoanalyysissä käytettiin painotettua keskiarvoa. Lisäksi tarkasteltiin polvinivelen kulmanopeutta ja kulmakertymää, joka määriteltiin kulmamutoksen summana. Tulokset esitetään keskiarvona ja keskihajontana ( $\pm$ ).

Tutkittavien ( $n = 7$ ) mediaani-ikä oli 66 (IQR = 10) vuotta. Istuen tehtävän ojennusharjoituksen ekstensiovajaus  $12(\pm 4)^\circ$  oli pienempi kuin Cave -pelin ekstensiovajaus  $16(\pm 3)^\circ$  ( $p=0,028$ ). Intruders -pelin ja ojennusharjoituksen välillä ei ollut eroa. Fleksiosuunnan Rowing-pelin liikelaajuus  $89(\pm 11)^\circ$  oli suurempi kuin seisten tehdyn koukistusharjoituksen liikelaajuus  $86(\pm 12)^\circ$  ( $p=0,028$ ). Istuen tehtävän fleksioharjoituksen ja Rowing -pelin välillä ei ollut eroa. Intruders-pelin kulmanopeus  $51(\pm 22)^\circ/s$  oli korkeampi kuin istuen tehtävän ojennusharjoituksen kulmanopeus  $23(\pm 13)^\circ/s$  ( $p=0,046$ ). Cave -pelin ja ojennusharjoituksen välillä ei ollut eroa. Fleksiosuunnassa Rowing -pelin kulmanopeus  $84\pm 36^\circ/s$  oli korkeampi kuin koukistus seisten -harjoituksen  $21(\pm 12)^\circ/s$  ( $p=0,018$ ). Rowing -pelin kulmanopeus oli myös korkeampi kuin koukistus istuen -harjoituksen kulmanopeus  $16(\pm 10)^\circ/s$  ( $p=0,018$ ). Kulmakertymä ei eronnut ekstensiosuunnan liikkeissä ja peleissä. Fleksiosuunnassa Rowing -pelin kulmakertymä  $4059(\pm 1932)^\circ/min$  oli korkeampi kuin koukistus seisten -harjoituksen ( $2161(\pm 463)^\circ/min$ ) ( $p=0,018$ ). Rowing -pelin kulmakertymä oli myös korkeampi kuin koukistus istuen -harjoituksen ( $1039(\pm 393)^\circ/min$ ) ( $p=0,018$ ).

Kuntoutuspelien polvinivelelle tuottama liike täyttää harjoittelulle asetetut tavoitteet hyvin, vaikkakin se on luonteeltaan erilaista kuin tavanomainen kotiharjoittelu. Tutkimustietoa vaikuttavuudesta ja pelikokemuksista tarvitaan, jotta voidaan varmistua pelien soveltuvuudesta käytännön kuntoutukseen.

Asiasanat: videopeli, kinetic, kuormitus, polvileikkaus, polvinivel, tekonivel

## ABSTRACT

Löppönen, A. 2019. Exergame loading in knee extension- and flexion movements after knee replacement surgery. University of Jyväskylä, Master's thesis, 49 pp., 4 appendices.

The BEE research project examines the effectiveness of exergame after knee replacement surgery. This study preceded a later effectiveness study. The purpose of this study was to determine whether exergame training differs from therapeutical home training of knee joint mobility, angular velocity and angular accumulation.

The study participants were recruited from Central Hospital Central Finland. The game equipment consisted of a motion sensor (Microsoft Kinect 2) and a computer connected to a television. Exergames (Turku Game Lab) were Unity -based. Two of the games (Cave & Intruders) focused on knee extension and one (Rowing) flexion movements. Exercises after knee replacement surgery included flexion while sitting, flexion while standing and extension while sitting. Knee joint angle and angular velocity were measured using 2D motion analysis. Mobility was determined by repetitions and a weighted average was used in statistical analyses. The angular velocity was examined by the angular velocity and the total workload as the sum of the angular changes. Results are presented as mean and standard deviation ( $\pm$ ).

The median age of the subjects ( $n=7$ ) was 66 (IQR=10) years. Extension while sitting -exercise extension gap  $10(\pm 6)^\circ$  was less than Cave -game extension gap  $16(\pm 3)^\circ$  ( $p=0.028$ ). There was no difference between Intruders -game and extension while sitting -exercise. The movement of the Rowing -game was  $89(\pm 11)^\circ$  greater than the motion of the flexion while standing -exercise  $86(\pm 12)^\circ$  ( $p=0.028$ ). There was no difference between flexion while sitting -exercise and Rowing -game. In the flexion direction, the angular velocity of the Rowing -game  $84(\pm 36)^\circ/s$  was higher than the flexion while standing -exercise  $21(\pm 12)^\circ/s$  ( $p=0.018$ ). The angular velocity of the Rowing -game was also higher than the angular velocity of the flexion while sitting -exercise at  $16(\pm 10)^\circ/s$  ( $p=0.018$ ). The total workload did not differ in extension directional movements and games. In flexion direction, the angular accumulation of the Rowing -game at  $4059(\pm 1932)^\circ/\text{min}$  was higher than the flexion while standing -exercise ( $2161(\pm 463)^\circ/\text{min}$ ) ( $p=0.018$ ). The angular accumulation of the Rowing -game was also higher than the flexion while sitting -exercise ( $1039(\pm 393)^\circ/\text{min}$ ) ( $p=0.018$ ).

The movement produced by exergames for the knee joint fulfils the training goals well. Although it is different than therapeutical home training. Research evidence of the effectiveness of exergames and gaming experiences is needed to verify the suitability of exergames for practical rehabilitation.

Key words: exergame, video game, knee, rehabilitation, motion analysis

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 POLVEN TEKONIVELLEIKKAUKSEN JÄLKEINEN KUNTOUTUS .....	3
1.1 Kuntoutuksen tavoitteet.....	3
1.2 Kuntoutuksen vaikuttavuus .....	4
3 KUNTOUTUSPELIT.....	7
1.3 Kuntoutuspelien vaikuttavuus .....	9
1.4 Kuntoutuspelien aiheuttama biomekaaninen kuormitus.....	10
4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET .....	12
5 MENETELMÄT.....	13
1.5 Tutkittavat.....	13
1.6 Tavanomainen harjoittelu .....	14
1.7 Kuntoutuspelit .....	15
1.8 Mittausmenetelmät .....	17
1.8.1 Liikeanalyysi .....	17
1.8.2 Kipujana .....	19
1.8.3 Liikkuvuus.....	20
1.8.4 WOMAC-kysely.....	20
1.8.5 Fyysinen itsearvioitu rasittavuus .....	20
1.9 Tilastolliset menetelmät.....	21
1.10 Eettinen arviointi .....	21
6 TULOKSET .....	23
6.1 Ekstensio- ja fleksiosuunnan liikelaaajuus.....	24

6.2	Kulmanopeus.....	26
6.3	Kulmakertymä.....	27
7	POHDINTA.....	28
7.1	Tulosten käytettävyys ja luotettavuus.....	28
7.2	Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet.....	31
7.3	Jatkotutkimusehdotukset.....	32
8	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	34
9	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

Nivelrikko eli artroosi on maailman yleisin nivelsairaus ja se on aikuisten tavallisin polvikipujen syy. Polven nivelrikon ensisijaiseksi hoitomuodoksi suositellaan konservatiivista lääkkeitöntä hoitoa kuten fysioterapiaa. Sen tavoitteena on kivun hallinta ja lieventäminen, toimintakyvyn ylläpito ja parantaminen sekä sairauden pahenemisen estäminen (Polvi- ja lonkkanivelrikko. Käypä hoito -suositus, 2018). Liikunta on tärkeä osa hoitoa ja alaraajojen nivelrikosta kärsiviä tulisi rohkaista fyysiseen aktiivisuuteen, vaikka alhaisella intensiteetillä (Rausch Osthoff ym. 2018; Kraus ym. 2019).

Huonosti konservatiiviseen hoitoon reagoivan polven nivelrikon vakiintunein hoitomuoto on polven tekonivelleikkaus (Pendleton ym. 2000; Suomen Artroplastiayhdistys 2015). Perinteinen polven tekonivelleikkauksen jälkeinen kuntoutus sisältää alaraajojen nivelten liikkuvuutta parantavia, lihaksia vahvistavia ja tasapainoa kehittäviä harjoitteita. Niiden tarkoituksena on kävelykyvyn kehittäminen ja päivittäisten toimintojen helpottaminen (Polvi- ja lonkkanivelrikko. Käypä hoito -suositus, 2018). Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL 2018) ylläpitämän implanttirekisterin mukaan, polven tekonivelleikkausten määrä on lähtenyt aivan viime vuosina lievään laskuun Suomessa. Suomessa tehtiin kuitenkin vuonna 2018 yli 12 000 polven tekonivelen ensileikkausta. Kansainvälisesti polven tekonivelleikkaukset ovat kasvussa (OECD 2017).

Digitalisaatio on noussut Suomessa kovaa vauhtia kansalliseen keskusteluun ja yhteiskunnan tukeman rahoituksen kohteeksi. Se nostetaan esille vahvasti myös hallitusohjelmassa (Valtioneuvoston kanslia 2019). Lisäksi Sosiaali- ja terveysministeriön (STM) hallinnonala loi vuonna 2016 digitalisaatiolinjaukset vuoteen 2025. Niiden tavoitteena on muodostaa digitalisaation avulla ihmisille parempia palveluita (Sosiaali- ja terveysministeriö 2019). Suomalaiset ovat olleet perinteisesti vahvoja urheilu- ja liikuntateknologian alalla erityisesti Suunnon, Polarin ja First Beatin kautta. Viime vuosina on keskitytty myös kuntoutuksen kehittämiseen digitalisaation ja muiden etäteknologisten ratkaisujen avulla. Digitalisaatio ja erilaiset digitaaliset sovellukset saattavatkin olla mahdollisesti yksi merkittävä tulevaisuuden kuntoutusratkaisu.

Tietotekniikkaa on kodeissamme entistä enemmän. Vuonna 2018 lähes 90 prosentilla oli kotonaan käytettävissä jokin tietokone (Tilastokeskus 2019). Tietotekniikka onkin läsnä lähes meidän kaikkien arjessa päivittäin. Nuorille tietotekniikka ja digitalisaatio on ollut rutiinia jo lapsesta lähtien, mutta myös ikääntyneiden on todettu suhtautuvan tietoteknisiin ratkaisuihin pääasiassa positiivisesti (Kosonen 2017). Tutkimuksissa on myös todettu, että ikääntyneet suhtautuvat kuntoutuspeleihin yleisesti hyväksyvästi (Zheng ym. 2019).

Business Finlandin rahoittamassa Business Ecosystems in effective Exergaming (BEE) tutkimushankkeessa tehdään vaikuttavuustutkimus pelillisille kuntoutusratkaisuille. Hankkeen tarkoituksena on myös tukea alan kansainvälisiä liiketoimintamahdollisuuksia erityisesti Aasian markkinoilla. BEE-hankkeessa on vahvasti mukana tekninen näkökulma erityisesti sensorien, ohjelmistojen ja laitteistojen yhteensopivuuden kehittämisessä. Teknisestä toteutuksesta pyritään luomaan mahdollisimman käyttäjäystävällinen ja teknisesti luotettava, jotta ne toimisivat kuntoutujien kotona (Turku AMK 2018).

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää millaista biomekaanista kuormitusta kuntoutuspelit tuottavat kuntoutujalle ja miten se eroaa tavanomaisesta harjoittelusta?

## **2 POLVEN TEKONIVELLEIKKAUKSEN JÄLKEINEN KUNTOUTUS**

Potilaat ovat pääsääntöisesti tyytyväisiä polven tekonivelleikkaukseen ja hyötyvät leikkauksesta erityisesti polvinivelen kipujen vähenemisen vuoksi (Canovas ym. 2018). Tämä johtaa parempaan toimintakykyyn potilailla, vaikkakin kontrolloitujen tutkimusten tuottamaa tietoa vaikuttavuudesta ei ole (Polvi- ja lonkkanivelrikko. Käypä hoito -suositus, 2018). Polven tekonivelleikkauksen jälkeiset hyödyt tyytyväisyydessä ovat havaittavissa sekä pitkällä että keskipitkällä aikavälillä (Canovas ym. 2018).

### **1.1 Kuntoutuksen tavoitteet**

Polven tekonivelleikkauksen jälkeen on tärkeää pyrkiä mahdollistamaan hyvä toimintakyky (Polvi- ja lonkkanivelrikko. Käypä hoito -suositus, 2018). Polvinivelen riittävä liikkuvuus on yksi merkittävä ominaisuus hyvän toimintakyvyn varmistamiseksi (Suomen Artroplastiayhdistys 2015). Normaali terveen polven liikelaajuus vaihtelee täyden ojennuksen (0 astetta) ja 140 asteen fleksioon välillä (Suomen Lääkärilehti 1993). Tekonivelleikatun polven hyvä liikkuvuus on täydestä ojennuksesta (0 astetta) aina 110-asteen fleksioon, sillä nykyiset polven tekonivelproteesit mahdollistavat polven tekonivelen fleksioksi noin 100 - 110 astetta (Kurosaka ym. 2002). Tämä riittääkin monien päivittäisten toimintojen (Activities of Daily Living, ADL) suorittamiseen, kuten portaiden nousuun ja laskeutumiseen sekä tuolilta ylösnousemiseen (Kurosaka ym. 2002).

Biomekaanisten analyysien mukaan polvinivelen tulee koukistua vähintään 83 fleksioon kun kävellään normaalisti tasaisella alustalla. Portaiden nousussa polvinivelen tulee koukistua vähintään 83 asteen fleksioon ja 90–100 fleksioon laskeutumisessa. Tuolilta ylösnouseminen vaatii 93–105 asteen polvinivelen fleksioon (Laubenthal ym. 1972; Laskin ym. 2004). Lisäksi kulttuuriset tottumukset, kuten rukoilu saattavat vaatia vieläkin suurempaa liikkuvuutta polviniveltä (Kurosaka ym. 2002; Laskin ym. 2004). Tekonivelleikatun polven alkuvaiheen aktiivinen liikkuvuus korreloi voimakkaasti tulevaisuuden liikkuvuutta. Näin on mahdollista tunnistaa riskitekijät jo kuntoutuksen alkuvaiheessa (Ebert ym. 2014).



Jäykkä tekonivelpolvi on ongelmallinen, sillä se saattaa aiheuttaa kipua ja rajoittaa toimintakykyä (Kim ym. 2004; Scuderi ym. 2005). Jäykkä tekonivel esiintyy 1,3 %:lla polventekonivelleikatuista (Kim ym. 2004). Polven koukistusvajaus johtuu usein luisista rakenteista, kun taas ojennusvajaus lihasten kyvyttömyydestä tehdä riittävää ojennusta (McGinn ym. 2018). Polven tekonivelleikkauksen jälkeinen jäykkä polvinivel voi johtua teknisistä virheistä, potilaan yksilötekijöistä tai post-operatiivisista komplikaatioista (Scuderi ym. 2005). Suomen Artroplastia yhdistyksen (2015) suosituksen mukaan polven narkoosimanipulaatiota tulee harkita, jos polven fleksio jää kuuden viikon jälkeen alle 85 asteen ja sitä suositellaan, jos fleksio jää alle 85 asteen kolmen kuukauden jälkeen. Tutkimuksissa on todettu, että aikaisessa vaiheessa toteutettu manipulaatio voi parantaa polvinivelen liikkuvuutta (Scuderi ym. 2005). Myös uusintaleikkaus on tyydyttävä hoitomuoto polven jäykkyyden korjaamiseksi (Kim ym. 2004).

## **1.2 Kuntoutuksen vaikuttavuus**

Varhainen mobilisaatio on tärkeää polven tekonivelkuntoutuksessa (Suomen Artroplastia yhdistys 2015). Tutkimuksissa onkin todettu, että aikaisin aloitettu kuntoutus polven tekonivelleikkauksen jälkeen on yhteydessä nopeampaan toipumiseen (Masaracchio ym. 2017). Toisaalta uudemmassa systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa ja meta-analyysissä todetaan, että varhain aloitetulla post-operatiivisella harjoittelulla ei ole vaikutusta polvinivelen liikkuvuuden kehittymisen kannalta (Sattler ym. 2019). Toisaalta Henderson ym. (2018) toteavat, että on olemassa heikko näyttö siitä, että jo sairaalassa suoritettut varhaisen vaiheen fysioterapiaohjelmat voivat vähentää sairaalahoitoaikaa.

Sairaalajakson aikaisessa kuntoutuksessa on käytetty passiivista liikettä tuottavien laitteita (Suomen Artroplastia yhdistys 2015). Näiden CPM-mobilisaattoreiden (Continuous Passive Motion) ei ole Cochrane-katsauksen mukaan todettu aiheuttavan kliinisesti merkittäviä vaikutuksia polvinivelen liikkuvuuteen, kipuun, toimintakykyyn tai elämänlaatuun (Harvey ym. 2014). Myöskään sairaaloissa ja kuntoutuslaitoksissa toteutetulla harjoittelulla ei ole pystytty osoittamaan parempaa vaikuttavuutta toimintakykyyn, kuin kotiharjoittelulla polven tekonivelleikkauksen jälkeisessä subakuutissa (6 viikkoa) vaiheessa (Buhagiar ym. 2019).

Polven tekonivelleikkausten jälkeisten interventioiden sisällöt vaihtelevat hyvin voimakkaasti. Kauppila ym. (2010) tekemässä tutkimuksessa selvitettiin tehokkaan kuntoutusjakson vaikuttavuutta. Ensimmäisellä viikolla harjoitusprotokolla sisälsi isometristä ja dynaamista vastus-harjoittelua alaraajoille. Harjoituksia tehtiin istuen ja seisten ja ne keskittyivät nilkan ja polven lihaksiin. Tehokkaan kuntoutusjakson ei kuitenkaan todettu olevan perinteistä kuntoutusta parempi (Kauppila ym. 2010). Petterson ym. (2011) voimaharjoitteluinterventiossa harjoitettiin alaraajan lihaksia monipuolisesti, päävaikutuksen keskittyessä kuitenkin nelipäiseen reisilihakseen. Tutkimuksessa terapeutti määrittäi harjoittelun intensiteetin yksilöllisesti. Harjoittelu paransi alaraajojen lihasvoimaa polven tekonivelleikkauksen jälkeen (Petterson ym. 2011).

Samantyyppistä harjoittelua käyttivät myös Johnson ym. (2010), joilla harjoitusohjelma sisälsi polven ojennusta, lonkan loitonnusta ja polven koukistusta. Progressiota lisättiin harjoittelun kuormitusta kasvattamalla ja ohjelmalla voitiin parantaa alaraajojen lihasvoimaa (Johnson ym. 2010). Progressiivinen voimaharjoittelu on todettu tutkimusten mukaan turvalliseksi polven tekonivelleikkauksen jälkeen, mutta heikkolaatuisen tutkimusnäytön vuoksi sitä ei voida kuitenkaan todeta tehokkaaksi (Skoffer ym. 2015). Vuorenmaa ym. (2014) tutkimuksessa käytettiin porrasmousuja eri korkuisille portaille sekä venyttelyjä etu- ja takareisille niin seisoma- kuin istuma-asennossa. Tutkimuksessa harjoittelulla oli vaikutusta suorituskykyyn, mutta ei kipuun.

Liikuntaa ja fysioterapiaa sisältävät polven tekonivelleikatuille kohdennetut interventiot tuovat lyhyen aikavälin vaikutuksia potilaille (Artz ym. 2015). Samansuuntaisia tuloksia saatiin myös meta-analyysissä, jossa fysioterapian havaittiin parantavan liikkuvuutta, kävelyä ja elämänlaatua, tosin vaikutukset kestivät vain kolme-neljä kuukautta (Minns Lowe ym. 2007). Kun on tutkittu ikääntyneitä, tasapainoharjoittelun on todettu parantavan tasapainoa ja kävelyä polven tekonivelleikkauksen jälkeen. Vaikutusta kipuun ja polvinivelen liikkuvuuteen ei ole kuitenkaan havaittu (Doma ym. 2018; Domínguez-Navarro ym. 2018).

Suomessa on laadittu polven ja lonkan nivelrikon kuntoutusta ohjaava fysioterapiasuositus, jonka taustalla on Suomen Fysioterapeutit ry (Kettunen ym. 2013). Tämä nivelrikkoa käsittelevä suositus antaa myös suosituksia tekonivelleikkauksen jälkeiseen fysioterapiaan, pohjautuen Käypä-hoitosuositukseen (Polvi- ja lonkkanivelrikko. Käypä hoito -suositus, 2018). Lisäksi

Suomen Artroplastia yhdistys on julkaissut, ”Hyvä hoito lonkan ja polven tekonivelkirurgiassa 2015 -oppaan”, joka sisältää paljon suosituksia ja on ainut kansallinen suositus kirurgisen toimenpiteen suorittamiseen (Suomen Artroplastia yhdistys 2015). Näiden suositusten mukaan polven tekonivelleikkaus parantaa potilaiden toimintakykyä ja elämänlaatua sekä vähentää kipuja, vaikka leikkauksen jälkeisellä fysioterapialla ei ole ilmeisesti todettu olevan kipua vähentävää tai polven liikelaajuutta lisäävää vaikutusta (Polvi- ja lonkkanivelrikko. Käypä hoito -suositus, 2018).

Polven tekonivelleikkauksen jälkeisen fysioterapian vaikuttavuudesta kipuun, toimintakykyyn ja liikkuvuuteen on olemassa ristiriitaista tutkimustietoa. Vaikuttaa myös siltä, että kuntoutuksella voidaan saavuttaa ennen kaikkea nopeita vaikutuksia mutta pidemmän aikavälin vaikutuksia on vaikea todentaa. Johtopäätösten tekemistä heikentää meta-analyysien suuri heterogeisuus ja heikko yleistettävyys populaatioon (Masaracchio ym. 2017; Sattler ym. 2019), sekä laadukkaiden tutkimusten vähäisyys (Artz ym. 2015). Vaikka interventioiden sisällöt vaihtelevat, minkään ei ole todettu olevan toista parempi keino hoitaa kroonista kipua polven tekonivelleikkauksen jälkeen (Wylde ym. 2018).

### 3 KUNTOUTUSPELIT

Kiinnostus kuntoutuspelien tutkimukseen on lisääntynyt viime vuosina. Terminologian yhtenäisyyden vuoksi termiä ”exergame” ehdotetaan käytettäväksi silloin kun puhutaan videopeleistä, joissa kehitetään liikkumista tukevia ominaisuuksia kuten tasapainoa, voimaa ja liikkuvuutta (Oh & Yang 2010). Muita käytettyjä termejä ovat lisäksi “Active video game”, “Interactive Video Game” & “Activity Promoting Video Game” (Oh & Yang 2010). Tässä tutkimuksessa kuntoutuspeli on liikeohjattu videopeli, jossa pelaaminen tapahtuu pääasiassa pelikonsoleilla ja pelejä ohjataan pelaajan suorittamien vartalon osien tai koko vartalon liikkeiden avulla (Hara 2013). Ensimmäisiä liikeohjattuja pelejä on vuonna 1998 julkaistu World Class Track Meet (Nintendo Entertainment System). Tämän jälkeen on julkaistu lukuisia muita liikeohjattuja pelejä monille eri laitteistoille (Oh & Yang 2010).

Microsoft Kinect 2.0 -liikesensori julkaistiin vuonna 2010, jonka jälkeen sitä on käytetty laajasti erilaisissa kuntoutuspeleihin liittyvissä tutkimuksissa ja julkaisuissa (Chen ym. 2017). Kinectissä on paljon etuja, kuten alhainen hankintakustannus ja laitteen pieni koko, joka mahdollistaa sen kuljettamisen helposti (Guess ym. 2017). Kinect-liikesensorin yhteydessä julkaistiin myös kehitystyökalu, jonka avulla sovelluskehittäjät voivat tuottaa sisältöä sensorille (Software Development Kit, SDK) (Chen ym. 2017).

Kinect-liikesensori mittaa ihmisen liikkeitä yhdellä kameralla yhdestä suunnasta, joka vaikuttaa merkittävästi liikkeen havainnointiin kolmiulotteisessa koordinaatistossa. Kinectin luurankomalli tarjoaa niveltympisteet 25 eri nivelelle, joiden avulla se luo kehon segmenttimallin (Stone ym. 2013; Guess ym. 2017). Kinectissä on muutamia vaatimuksia pelialueen osalta, sillä sensorin on kyettävä näkemään koko pelaajan vartalo ja pelaajan tulee seisoa laitteesta noin 1,8 metrin päässä. Lisäksi pelialueen tulee olla riittävän leveä ja tilan valaistuksen kirkas ja tasainen (Hara 2013). Kinect-liikesensorin on todettu tarjoavan rajoitettua 3D-informaatiota alaraajoista. Lisäksi sen näytteenottotaajuus on 30 Hz, joka muodostaa rajoituksia sovelluttavuudelle, kuitenkin sensoria voidaan käyttää ihmisen liikkeiden toiminnalliseen arviointiin kohtalaisen luotettavasti (Guess 2017).

Markkinoilla on olemassa myös monia muiden valmistajien liikeohjattuja peliratkaisuja, joista suosituimpia ovat Sony EyeToy and Nintendo Wii (Oh & Yang 2010). Kinect eroaa niistä kuitenkin merkittävästi, sillä siinä ei tarvita erillistä ohjainta, jota pelaaja joutuu pitämään kädessään (Hara 2013). Tutkimuksissa Microsoft Xbox Kinect:n onkin todettu olevan kuntoutujien mielestä paras kuntoutuspeleihin soveltuva liikeseensori (Jansen-Kosterink ym. 2013; Mortensen ym. 2015)

Kuntoutuspeleillä voi tulevaisuudessa olla myös sosiaalisen ulottuvuuden mahdollisuuksia (Rego ym. 2010). Kuntoutuspeleillä on kuitenkin vielä matkaa kehittyä yhtä houkutteleviksi kuin perinteiset videopelit. Kuntoutuspelien on todettu useissa tutkimuksissa olevan motivoiva ja mukava tapa toteuttaa terapeutista harjoittelua (Rego ym. 2010; Proffit ym. 2015). Pelien on todettu olevan myös fysioterapeuttien mielestä käytännöllisiä ja potilaat uskovat itse kuntoutuspelien olevan motivoiva harjoittelukeino (Camilo ym. 2018). Kuntoutuspelien käyttäjäkokemus tutkimusten mukaan pelaajat pitävät peleistä ja arvioivat niiden käytettävyyden hyväksi ja motivoivaksi (Jansen-Kosterink ym. 2013).

Videopelien on ehdotettu motivoivan pelaajia erityisesti siksi, että ne tarjoavat pätevyyden ja autonomia tunteiden tyydyttymistä (Przybylski ym. 2010). Toisaalta pelien pelaajat ponnistelevat pelatessaan saavuttaakseen tavoitteita (Juul 2005). Usein kuntoutusprosessin lähtökohtana on kuntoutujan asettamat tavoitteet. Ne liittyvät lähes aina hänen omiin tarpeisiinsa ja elämäänsä (Karhula ym. 2016, 225). Tavoitteet ovat kuitenkin pitkäjänteisiä ja niiden tulokset ovat usein nähtävissä vasta kuukausien päästä. Kuntoutuspelaaminen voikin tarjota aivan uudenlaisen näkökulman kuntoutuksen tavoitteenasetteluun. Pelit tarjoavat lyhyen tähtäimen tavoitteita, joista kuntoutuja saa pätevyyden ja onnistumisen tunteita (Przybylski ym. 2010; Juul 2005). Tämä voi johtaa ennen kaikkea motivoivaan harjoitteluympäristöön myös polven tekonivelleikkauksen jälkeisessä kuntoutuksessa.

Tietokoneet ja pelit ovat olleet osa arkeamme jo muutamia vuosikymmeniä, joten pikkuhiljaa tekonivelleikkaukseen tulee entistä enemmän ihmisiä, joille videopelit ovat tutumpia. Selvitysten mukaan myönteisyys tietoteknisille ratkaisuille ikääntyneillä on yleensä positiivista (Kosonen 2017). Tietoteknisten järjestelmien tulee olla ennen kaikkea helppokäyttöisiä ja luotettavia.

Ongelmat saattavat helposti johtaa siihen, että pelaaminen koetaan vaikeaksi ja laitteistot epäluotettaviksi. Onkin tärkeää, että antureiden ja pelien kehitys jatkuu myös tulevaisuudessa aktiivisena. Microsoft ilmoitti vuonna 2017, että Xbox Kinect -sensorin valmistus päättyy (Fast Company 2017; Fortune 2017). Se onkin johtanut siihen, että laitteistoa on vaikea saada. Eri-tyisesti päätoimialaltaan peliteknologiaan keskittyvät valmistajat saattavat harkita onko hyvinvointiteknologia kuitenkin kannattava toimiala.

### **1.3 Kuntoutuspelien vaikuttavuus**

Polven tekonivelleikkauksen jälkeiseen tavanomaiseen kuntoutukseen kuntoutuspelien on todettu olevan hyvä lisä (Fung ym. 2012). Niiden on myös todettu olevan motivoiva tapa polvi-leikkauksen jälkeisessä kuntoutuksessa (Lee ym. 2016). Myös leikkaamattoman polvinivelen proprioseptiikkaa on voitu kehittää kuntoutuspelien avulla (Sadeghi ym. 2017). Lisäksi polvinivelen ympärillä olevien ojentajien ja koukistajien voiman on todettu parantuvan kuntoutuspelien avulla, jonka todettiin myös parantavan kävelynopeutta (Santos ym. 2019).

Kuntoutuspelien ei ole todettu vaikuttavan positiivisesti kipuun tuki- ja liikuntaelimestön ongelmissa, kuten alaselkävivussa (Low Back Pain, LBP). Tämä todettiin laajassa systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa, jonka tutkimuksissa käytettiin pääasiassa Nintendo Wii -laitteistolla toteutettuja pelejä (Collado-Mateo ym. 2017a). Toisaalta taas toimintakykyä mittaavan Time Up and Go (TUG) -testin tulos parani kuntoutuspelaamisen avulla merkittävästi fibromyalgiasta kärsiville naisilla (Collado-Mateo ym. 2017b). Pitkässä 24 viikon tutkimuksessa kuntoutuspelien todettiin olevan tehokas tapa kehittää fibromyalgiasta kärsivien naisten fyysistä kuntoa (Martin-Martinez ym. 2019). Samaan johtopäätökseen tulivat myös Mortensen ym. (2015) jotka käyttivät lopputulosmuuttujana toiminnallista FMS-kartoitusta (Functional Movement Screen).

Kuntoutuspelien on todettu olevan tehokkaita kehittämään yli 70-vuotiaiden toimintakykyä. Kuntoutuspelejä pelanneet saavuttivat Bergin ja Fullertonin tasapainotestien tuloksissa parannuksen, kun taas Functional Reach (FR) ja Time Up and Go (TUG) testissä parannusta ei ha-

vaittu (Bieryla ym. 2017). Toisaalta laajassa systemaattisessa katsauksessa ei voitu todeta kuntoutuspelaamisen olevan perinteistä fysioterapiaa parempi keino ehkäistä kaatumisia (Choi ym. 2017). Kuntoutuspelaamisen tutkimusalueen ollessa vielä uusi monet kuntoutuspeleihin keskittyvät tutkimukset sisältävät usein vähän tutkittavia ja niiden interventioaika on lyhyt (Collado-Mateo ym. 2017a; Collado-Mateo ym. 2017b; Santos ym. 2019). Lisäksi niissä on ollut rajattu tutkimusjoukko ja yleistäminen populaatioon on ollut vaikeaa (Santos ym. 2019). Toisaalta on todettu, että yleisesti kuntoutuspelejä voidaan käyttää terapeuttisen harjoittelun lisänä (Boncherea ym. 2016).

#### **1.4 Kuntoutuspelien aiheuttama biomekaaninen kuormitus**

Liikesensoreilla ohjattavien pelien kuormittavuutta tuki- ja liikuntaelimistölle tarkasteltiin systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa. Katsauksen haut tehtiin toukokuussa 2019 ja päivitettiin lokakuussa 2019. Tutkimuksia haettiin MEDLINE (Ovid), CINAHL (EBSCO) ja PEDro-tietokannoista. Artikkeleita etsittiin myös käsi- ja viitehaulla. Haku on kuvattu liitteessä 1.

Lopullinen rajausta tehtiin tutkimusten laitteistojen ja muuttujien mukaan. Pelien tuli olla liikesensoreilla ohjattavia ja sisältää liikkeeseen liittyviä tulosmuuttujia. Lisäksi huomioitiin tutkimusartikkeleiden laatu, vaikka yhtään artikkelia ei poissuljettu heikon laadun vuoksi. Tiedonhaun tuloksena saatiin yhteensä 53 artikkelia, joista lopulliseen tarkasteluun hyväksyttiin neljä tutkimusta (Duclos ym. 2012; Skjæret-Maroni ym. 2016; Soltani ym. 2016; Soltani ym. 2017). Tutkimukset on esitetty liitteessä 2.

Kaksi tutkimuksista sisältää nuoria tutkittavia (Soltani ym. 2016; Soltani ym. 2017) ja kaksi ikääntyneitä (Skjæret-Maroni ym. 2016; Duclos ym. 2012). Kolmessa uusimmassa tutkimuksessa käytetään Microsoft Kinect-laitteistoa (Soltani ym. 2016; Skjæret-Maroni ym. 2016; Soltani ym. 2017) ja vanhimmassa tutkimuksessa Nintendo Wii:tä (Duclos ym. 2012). Kahdessa tutkimuksessa käytetään uintipeliä (Soltani ym. 2016; Soltania ym. 2017) ja kahdessa tutkimuksessa askellus-, kävely- ja tasapainopeliä (Skjæret-Maroni ym. 2016; Duclos ym. 2012;).

Tutkimuksissa on havaittu, että erilaiset pelinopeudet ja tasot vaikuttavat liikkeisiin ja liikkumiseen kuntoutuspeleissä (Skjæret-Maroni ym. 2016). Lisäksi on havaittu, että menestyneet pelaajat pelasivat uintipeliä taloudellisemmin ja että pelikokemus vaikutti menestymiseen positiivisesti (Soltani ym. 2016). Tutkimuksissa on myös havaittu, että pelaamisen lihasaktiivisuudet ovat riippuvaisia suorituksen liikenopeudesta, vaikka onkin selvää, että lihasaktiivisuudet ovat riippuvaisia myös pelaajien yksilöllisistä ominaisuuksista (Soltani ym. 2017). Lisäksi kuntoutuspelaaminen haastaa ikääntyneiden tasapainoa vähemmän kuin nopea kävely (Duclos ym. 2012).

Yhteenvetona voidaan todeta, että katsauksen artikkelit ovat pilottiluonteisia hyvin heterogeeniselle ryhmälle toteutettuja tutkimuksia. Tutkimusten tulosmuuttujat ja toteutustavat vaihtelevat melkoisesti. Kuntoutuspelien ja tavanomaisen harjoittelun kuormituksen eroista ei ole olemassa julkaistuja tutkimuksia. On kuitenkin tärkeää, että kuntoutuspelien kehittäminen olisi tutkimustietoon perustuvaa ja uutta tutkimustietoa tarvitaankin lisää, jotta voidaan saada parempi käsitys kuntoutuspelien kuormittavuudesta.



#### **4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET**

Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tietoa kuntoutuspelien fyysisestä kuormituksesta hermo- ja lihasjärjestelmälle. Tutkimuksessa tarkasteltiin aihetta polvinivelen liikkeen näkökulmasta.

Pääkysymyksenä on, eroaako kuntoutuspelien pelaaminen tavanomaisesta kotiharjoittelusta liikelaaajuuden, kulmanopeuden ja kulmakertymän osalta?

Hypoteesina oli, että kuntoutuspelien pelaaminen ei eroa tavanomaisesta kotiharjoittelusta.

## 5 MENETELMÄT

Kuormittavuustutkimuksiin osallistuneet vapaaehtoiset tutkittavat rekrytoitiin Jyväskylän seudulta ja mittaukset toteutettiin Jyväskylän Yliopiston liikunta- ja terveyslaboratoriossa kesällä ja talvella 2018. Kuormittavuustutkimus sai puoltavan lausunnon Keski-Suomen sairaanhoitopiirin eettiseltä toimikunnalta toukokuussa 2018.

Tässä tutkimuksessa verrattiin kuntoutuspelien ja tavanomaiseen terapeutin harjoittelun kuormittavuutta. Tutkimuksessa oli kiinnostuneita fleksiosuunnan ja ekstensiosuunnan harjoitteista ja siksi mukaan vertailuun valittiin vain kolme harjoitetta; polven ojennus istuen, polven koukistus istuen ja polven koukistus seisten. Nämä harjoitteet ovat vertailtavissa Cave-, Rowing- ja Intruders-pelien kanssa.

### 1.5 Tutkittavat

Kuormitusmittauksiin osallistuvat tutkittavat rekrytoitiin Keski-Suomen keskussairaalan pre- ja postoperatiivisilta poliklinikkakäynneiltä. Tutkittavat saapuivat kuormitusmittauksiin kuntoutumisen eri vaiheissa.

*Sisäänottokriteerit.* Tutkimuksen sisäänottokriteereinä olivat; tutkittava asuu Jyväskylän seudulla, ikä 60–75 vuotta, kyseessä on polven ensimmäinen tekonivelleikkaus, polvi on varuslinjauksessa ja tutkittava näkee laseilla tai ilman televisiokuvan 2 metrin päästä.

*Poissulkukriteerit.* Tutkimuksen poissulkukriteereinä olivat; polven tekonivelleikkauksen taustalla on nivelreuma, muu tulehduksellinen nivelsairaus tai murtuma/muu alaraajavamman edellisen vuoden aikana. Lisäksi kyseessä ei saa olla uusintaleikkaus tai komplikaatio tekonivelleikkaukseen liittyen. Tutkittavalla ei saa myöskään olla muistihäiriötä, rintakipua liikunnan tai muun ruumiillisen rasituksen aikana, kohtuutonta voimakasta hengästyneisyyttä tai tajuttomuus-, pyörtymis- tai huimaukskohtauksia. Tutkittavalla ei saa olla sydänlääkitystä.

## 1.6 Tavanomainen harjoittelu

Tavanomaisessa harjoittelussa käytettiin Varsinais-Suomen Sairaanhoidopiiriin polven tekonivelleikkaus oppaan harjoitteita (Varsinais-Suomen sairaanhoidopiiri 2015). Opa sisältää ohjeita asentohoitoon, kyynärsauvakävelyyn sekä varsinaisen kuntouttavan liikeharjoitusohjelman. Oppaan harjoitusohjelma sisältää yhteensä 11 harjoitetta, joiden tavoitteena on parantaa polvinivelen liikkuvuutta ja lihasten toimintakykyä. Lisäksi tavoitteena on vilkastuttaa verenkiertoa ja vähentää turvotusta. Oppaan mukaan harjoittelu tulee aloittaa ensimmäisenä päivänä leikkauksen jälkeen ja harjoitteita tulisi tehdä useita kertoja päivän aikana. Toistomääriä tulee lisätä potilaan tuntemusten mukaan ja harjoittelua tulisi jatkaa ensimmäiseen jälkitarkastukseen saakka. Liikkeiden suoritustahdin tulee olla rauhallinen ja liikkeiden välissä on tärkeä rentoutua (Varsinais-Suomen sairaanhoidopiiri 2015).

Polven ojennus istuen harjoite toteutettiin tuolilla istuen. Ohjeistuksessa pyydettiin ojentamaan polvi suoraksi nilkka koukussa, pitäen reisilihasjännitys hetken ja laskien jalka hitaasti alas. Koukistus istuen harjoitteessa tukittavaa pyydettiin koukistamaan jalka mahdollisimman kauas taaksepäin tuolin alle. Koukistus seisten harjoitteessa käytettiin tukena tuolin selkänojaa. Tutkittavaa pyydettiin vetämään kantapäätä kohti takamusta ja pitämään jännitystä hetken. Reidet tuli pitää harjoituksen ajan samassa linjassa (Kuva 1).



KUVA 1. Tavanomaisen harjoittelun liikkeet, joita verrattiin kuntoutuspeleihin (Physiotools; Varsinais-Suomen sairaanhoidopiiri 2015).

Harjoitteet toteutettiin käsinojattomalla tuolilla, joka oli korkeudeltaan tavanomainen. Harjoitteissa varmistuttiin kuitenkin siitä, että tutkittavan jalka ei osunut häiritsevästi maahan. Jalkaa pystyi kuitenkin lepuuttamaan kevyesti maassa pelien välillä ja varsinaisen harjoittelun aikana, jos tutkittava niin halusi. Tutkittavaa ohjeistettiin rauhalliseen suoritustahtiin, kuten harjoitusohjelmassa. Jokaisessa harjoitteessa otettiin tavoitteeksi yksi sarja ja 10 toistoa. Harjoitteiden ja pelien välillä tutkittavalle annettiin mahdollisuus rentoutua, juoda vettä ja jaloitella. Suoritusohjeet annettiin tutkittaville kuten, normaalilla fysioterapiakäynnillä ja kaikki ohjeita antaneet mittaajat olivat fysioterapeutteja.

## **1.7 Kuntoutuspelit**

BEE-hankkeessa laitteistona käytettiin Xbox Kinect 2 (Microsoft, Yhdysvallat) -liikesensoria ja tavallista tietokonetta (MSI), joka voidaan helposti yhdistää televisioruutuun. Xbox Kinect 2 -liikesensori kuvaa syvyyskuvaa, jonka avulla saatavien matriisien perusteella määritellään luurankomalli, jota voidaan käyttää pelien ohjaamiseen (Markkula 2011). VanDiest ym. (2014) mukaan Kinect-sensoria voidaan käyttää hyvin kuntoutuspelien teknisessä toteutuksessa ja se tarjoaa paljon erilaisia mahdollisuuksia kuntoutuspelien maailmassa. Kinect-liikesensori on todettu tunnistavan 90% liikkeistä, kun sitä verrattiin Vicon liikeanalyysijärjestelmään (vanDiest ym. 2014).

Kuntoutuspelit kehitettiin osana BEE-hanketta Turun ammattikorkeakoulun Turku Game Lab:ssa. Kuntoutuspelien kehitys oli monitieteellistä ja niistä pyydettiin palautetta laajasti eri kohderyhmiltä. Lisäksi niitä koe pelasi ikääntyneet henkilöt. Kuormittavuustutkimuksessa kuntoutuspelit olivat vielä kehitysversioita ja mittaajat käyttivät pelilaitteistoa ilman, että tutkittava osallistui varsinaisen laitteiston käyttöön. Pelit käynnistettiin kuormittavuustutkimusta varten kehitetystä Launcherista, joka tallensi myös Kinect-sensorin tallentaman liikedatan myöhempiä jatkokäyttöä varten.

Kaikissa kuntoutuspeleissä Kinect-sensori tunnistoi polvikulman säären ja reiden välisestä kulkemasta. Kuntoutuspelejä oli yhteensä kolme. Ensimmäinen oli Cave-peli, jossa kuvaruudulla lentää lintu, joka nousee ylös, kun polvea ojennetaan ja laskeutuu alas, kun polvea koukistetaan.

Lintu syö peliruudulla näkyviä hyönteisiä, jotka on sijoitettu pelikentälle jatkuvana jonona siten, että jono käy tasaiseen tahtiin ylhäällä ja alhaalla, jonka vuoksi polvea tulee ojentaa suoraksi ja täysin koukkuun. Peli on jaoteltu kolmeen eri sarjaan, joiden välissä on pieni tauko, jolloin pelaaja voi lepuuttaa jalkaa. Peliä on myös mahdollista pelata seisten, jolloin se toimii hyvänä tasapainoharjoituksena. Tässä tutkimuksessa kaikki pelasivat peliä istuen.

Intruders-peli on tykkipeli, jonka tarkoituksena on ampua polvea nopeasti ojentaen tuliammuk- sia pelaajaa uhkaavia ”zombeja” vastaan. Pelissä on punapistetähtiä, joka osoittaa sen mihin kohtaan piippu on suunnattu. Suuntausta muutetaan siirtämällä kättä horisontaalisesti. Pelissä tulee osua ammuksella ”zombiin” joita kävelee hitaasti pelaajaa kohti kuvaruudulla. Peli päättyy, kun kaikki ”zombit” on ammuttu tai ammuksset loppuvat. Peli voi myös päättyä siten, että ”zombi” saa pelaajan kiinni. Ammus lähtee vain silloin, kun polven ojennusnopeus saavuttaa peliin asetetun raja-arvon. Raja-arvoa voidaan säätää kuntoutuksen edetessä nopeammaksi. Tässä tutkimuksessa raja-arvona käytettiin 0,4 sekuntia.

Rowing-peli on kuntoutuspeli, jossa pelaajan tulee soutaa seisten, polvea koukistaen kuvitteel- linen virtuaalinen 100 metrin matka laskeutuvan portin ali. Portti sulkeutuu yhden minuutin kuluttua pelin aloituksesta. Polvinivelen koukistusnopeudella voi säätää veneen soutunopeutta ja kun tietty polvinivelen kulmanopeus on saavutettu, vene kulkee maksimivauhtia. Pelaaja voi halutessaan ottaa tukea tuolin selkänojalta tasapainon ylläpitämiseksi.

Intruders- ja Cave-peli sisälsivät kuormittavuustutkimuksessa liikeradan kalibroinnin. Kalib- rointi suoritettiin ennen varsinaisen pelisession alkamista siten, että ensin pelaaja ojensi jalan niin suoraksi kuin pystyi ja tämän jälkeen koukisti maksimaalisesti. Kalibroinnin avulla peli skaalasi liikeradan tutkittavalle sopivaksi. Tällöin pelaamisen tulisi tapahtua kuntoutujan sen hetkisen liikkuvuuden rajoissa. Rowing-peli ei sisältänyt kalibrointia.

## 1.8 Mittausmenetelmät

Mittaustapahtuman kesto vaihteli 70 minuutista 120 minuuttiin (liite 3). Alkuhaastattelun jälkeen tutkittavilta selvitettiin viimeisen vuorokauden aikaista kipua VAS-kipujanavan avulla, mitattiin leposyke ja polvinivelen liikkuvuus goniometrillä ensin makuultaan passiivisesti sekä istuma-asennossa aktiivisesti. Mittausprotokolla koostui tavanomaisista harjoitteista ja peliprotokollasta. Tavanomaisten harjoitteiden jälkeen tutkittavat pelasivat kaikki kuntoutuspelit läpi peliprotokollan mukaisessa järjestyksessä. Kuntoutuspelien ja harjoitteiden keskinäinen järjestyks on määritelty tutkimusteknisin periaattein, joita liikeanalyysin tekninen toteutus asetti.

### 1.8.1 Liikeanalyysi

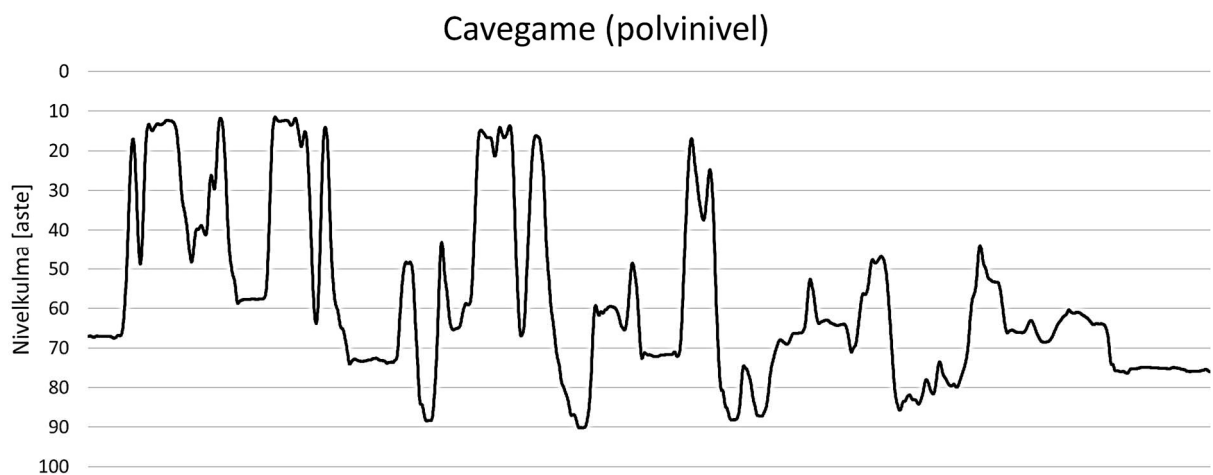
Tutkittavilta mitattiin 2D-liikeanalyysin avulla polvi- ja lonkkanivelen liikettä. Liikeanalyysi on biomekaniikan perusmenetelmä, tutkittaessa kinematiikkaa (Robertson ym. 2014, 9-11). Liikeanalyysin mahdollistavat merkit (markkerit) asetettiin seuraaviin anatomisiin pisteisiin: ulkokehräs, olkaluun lateraalinen sivunasta, iso sarvennoinen & sääriluun pää. Markkereina käytettiin mustan ja valkoisen urheiluteipin yhdistelmää, joilla saavutettiin mahdollisimman suuri kontrastiero. Digitointi toteutettiin liikeanalyysiohjelmiston autodigitointia apuna käyttäen. Kaikki mittausdata oli pseudonymisoitu.

Videodata tallennettiin käyttämällä Sony RX-10 III-kameraa (Sony Corporation, Japani) ja liikeanalyysi suoritettiin Vicon Motus 10.0.1-ohjelmistolla (Vicon, Iso-Britannia). Videoiden AVI-konvertoinnissa sekä leikkaamisessa käytettiin apuna Kinovea 0.8.15 -ohjelmistoa (GNU General Public License). Kalibroinnissa käytettiin liikeanalyysiin suunniteltua suorakaiteen muotoista kalibroitikehikkoa ja se suoritettiin jokaisen videosesion alussa. Kuvanopeutena käytettiin 50 kuvaa / sek (50 Hz). Suljinnopeus oli 1 / 1250 sek. Kameraa ohjattiin älypuhelimien avulla etäkätöllä. Kamera sijoitettiin mahdollisimman kauas kuvattavasta tutkittavasta ja sen optinen akseli asetettiin tukittavan lantion korkeudelle tukevan kolmijalan avulla.

Vicon Motus-liikeanalyysiohjelmaan luotiin 2D-malli, johon määritettiin tutkittavaan asetettujen markkereiden mukaiset neljä pistettä: olkapää, lonkka, polvi ja nilkka. Malliin määritettiin

polvi- ja lonkkanivelkulma näiden pisteiden ympärille. Tutkimuksen liikeanalyysidata suodatettiin 15 Hz taajuudella (4th order butterworth), jolla dataan ei tule hävikkiä (Schreven ym. 2015). Suodatuksen jälkeen numerodata siirrettiin taulukkolaskentaohjelmaan. 2D-liikeanalyysia on käytetty lukuisissa tutkimuksissa mittamaan nivelkulman muutoksia ja sen on todettu olevan luotettava menetelmä (Maykut ym. 2015; Gribble ym. 2005). Liikeanalyysiohjelmiston tuottama data muutettiin numeraaliseen muotoon ja se käsiteltiin Microsoft Excel 365-ohjelmistolla.

*Liikelaajuus.* Polven nivelkulman liikelaajuus ekstensio- ja fleksiosuuntaan luokiteltiin toistoiksi viiden asteen välein. Peleissä ja harjoituksissa, joiden tavoitteena oli kehittää polven ojennussuuntaa (Cave, Intruders, polven ojennus istuen) käytettiin alimpana raja-arvona polvinivelen 30-asteen fleksiota. Fleksiosuunnan pelien ja harjoitteiden (Rowing-peli, koukistus seisten, koukistus istuen) alimpana raja-arvona polvinivelen käytettiin 70-asteen fleksiota. Nämä raja-arvot valittiin, koska niiden välissä pelit sisältävät paljon pientä, epäsäännöllistä liikettä, josta ei ole mahdollista havaita toistoja (Kuvio 1).



KUVIO 1. Erään tukittavan Cave-pelin polvinivelkulma ajan funktiona.

Toistot taulukoitiin kumulatiivisesti erikseen ekstensio- ja fleksiosuuntaan ja niistä piirrettiin kaavio, joka on esitetty tulososiossa. Tulokset esitettiin taulukoituna vain siihen liikesuuntaan, joka on harjoituksen tai kuntoutuspelin tavoitteena. Esimerkiksi Rowing-pelin tavoitteena on kehittää polven koukistusta (fleksio), joten tulokset on esitetty vain fleksiosuuntaan. Vertailun

vuoksi ojennus istuen-harjoitteen tavoitteena on kehittää polven ojennusta (ekstensio). Tilastollista analyysia varten laskettiin toistoista painotettu keskiarvo siten, että toistojen määrä kerrottiin toistoa vastaavalla asteluvulla (esimerkiksi 3 toistoa x 15 astetta + 8 toistoa x 10 astetta / 11 toistoa = 11,4 astetta). Painotettu keskiarvo kuvaa sitä maksimaalista liikelaajuutta, jolla tutkittava teki harjoitetta ja pelasi kuntoutuspeliä pääasiassa. Mitattuna liikelaajuutena käytettiin maksimaalista passiivista ojennusta ja koukistusta.

*Kulmanopeus.* Liikeanalyysidata taulukoituu kuvittain näytteenottotaajuuden mukaan ja tässä tapauksessa yksi sekunti sisälsi 50 kuvaa (50 Hz). Kulmanopeus laskettiin keskiarvona kaikista niistä kuvien välisistä kulmanopeusarvoista, joissa polven nivelkulma ylitti raja-arvon. Myös kulmanopeuden tarkastelussa raja-arvoiksi valittiin ekstensiosuuntaan 30-astetta ja fleksiosuuntaan 70-astetta. Suorituksen kulmanopeuden yksikkö on astetta/sekunti [aste/s] (Robertson ym. 2014, 19).

*Kulmamuuutoksen kertymä.* Kertymä määriteltiin koko pelin tai harjoituksen aikaisen kulmamuuutoksen summana. Toisin sanoen muuttuja kertoo, kuinka paljon nivel kiertyy yhteensä koko harjoituksen tai pelin aikana. Tämä kokonaiskiertymä jaetaan suorituksen kestolla ja sen yksikkö on astetta / minuutti [aste/min]. Muuttuja määriteltiin laskemalla edellisen kuvan nivelkulman erotus seuraavan kuvan nivelkulmaan. Näin saatiin kuvien välisen nivelkulman muutos ja nämä summattiin yhteen, jolloin saatiin koko pelisession aikaisen nivelkulman muutos.

## **1.8.2 Kipujana**

Tutkittavilta kysyttiin VAS-kipujanana (Visual Analog Scale) avulla kipua ennen mittausta viimeisen vuorokauden ajalta. Lisäksi tutkittavilta kysyttiin koettua kipua tavanomaisen harjoittelun ja kuntoutuspelien pelaamisen jälkeen. VAS-kipujana mittaa tutkittavan koettua kipua niin, että täysin kivuton tunne on 0 mm ja äärimmäisen kova kiputuntemus on 100 mm (Salanterä ym. 2006). VAS-kipujana on yleisesti käytetty kipumittari ja sen on todettu olevan validi ja reliaabeli kipumittari (Wewers & Lowe 1990; Hjermstad ym. 2011).



### **1.8.3 Liikkuvuus**

Tutkittavilta mitattiin polvinivelen liikkuvuus ennen tavanomaisen harjoittelun aloitusta. Mittaus suoritettiin goniometrillä makuuasennossa aktiivisesti sekä passiivisesti. Tuloksissa käytettiin passiivisesti mitattua tulosta. Liikkuvuuden mittaaminen goniometrillä on todettu olevan luotettava ja käyttökelpoinen mitattaessa polven fleksiota ja ekstensiota, kun mittaustilanteessa ollaan huolellisia (Gajdosik & Bohannon 1987; Brosseau ym. 2001)

### **1.8.4 WOMAC-kysely**

Tutkittavat täyttivät validoidun suomenkielisen WOMAC-kyselyn (The Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index) toimintakyvyn selvittämiseksi. Kyselyn Suomenos on validoitu (Soininen ym. 2008). Kyselyssä on kolme osiota, jotka mittaavat kipua, jäykkyyttä ja fyysistä toimintakykyä. Kysely sisältää 24 kysymystä ja niistä lasketaan pisteytysohjeiden mukaisesti indeksi. Maksimipistemäärä on 96 pistettä, sillä jokaisesta kysymyksestä saa nollasta (ei kipua) neljään (äärimmäinen kipu) pistettä. Käypä-Hoito suositusten mukaan WOMAC-indeksin kivun ja toimintakyvyn osiot ovat ilmeisesti luotettava menetelmä arvioidaan kipua, suoritusrajoitusta ja hoidon vaikuttavuutta (WOMAC-indeksin mittausominaisuudet: Käypä hoito -suositus, 2012).

### **1.8.5 Fyysinen itsearvioitu rasittavuus**

Pelaamisen koettua rasittavuutta mitattiin Borgin (1982) skaalalla, joka mittaa pelaajan subjektiivista käsitystä harjoituksen kuormittavuudesta. Kuormittavuutta mitattiin Borgin 15-skaalalla, joka kattaa numerot 6-20, jolloin numero kuusi on kevyt kuormitus ja 20 on raskas kuormitus (Borg 1982). Borgin koetun rasittavuuden skaalan on todettu olevan toistettava ja validi mittari (Lamb ym. 1999) ja sen on todettu olevan käyttökelpoinen myös ikääntyneillä (Chung ym. 2015)

## 1.9 Tilastolliset menetelmät

Tilastolliset analyysit ja hypoteesin testaukset suoritettiin SPSS-statistics 26 -ohjelmistolla (IBM, Yhdysvallat). Otokoko tutkimuksessa oli pieni, joten aineiston ei voida olettaa noudattavan todennäköisyysjakaumaa (normaalijakauma). Tällöin aineiston analyysissä käytetään ei-parametrisiä testejä (non-parametric). Samat koehenkilöt suorittivat kaikki harjoitukset ja pelasivat kaikki pelit samalla mittauskerralla. Edellä kuvatun tällä aineiston analyysissä tulee käyttää riippuvien otosten testejä (Heikkilä 2014; Karhunen 2011).

Tutkimuksen datasta laskettiin keskiarvot ( $\bar{x}$ ), hajonnat (SD, Standard Deviation,  $\pm$ ), luottamusväli (95%LV), mediaanit ja interkvartiiliväli (IQR). Verrattaessa kaikkia harjoituksia ja pelejä tiettyyn liikesuuntaan käytettiin Friedman testiä ja parivertailuissa Wilcoxonin merkittyjen sijalukujen testiä. (Heikkilä 2014; Karhunen 2011). Kaikissa analyyseissa nollahypoteesiksi määriteltiin, että kuntoutuspelien ja tavanomaisen terapeuttisen harjoittelun välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa. Analyyseissä käytettiin 5 % luottamustasoa ( $p < 0.05$ ). Kerro tässä: mitä tunnuslukuja laskettiin keskiarvot

Tilastollisen efektin suuruus on aina kontekstisidonnaista (Ketokivi 2015, 249). Tulokset esitettiin myös mitatun liikelaajuuden ja toistojen liikealueen kuvaajana, jotta myös kliinistä merkittävyyttä voitiin arvioida paremmin.

## 1.10 Eettinen arviointi

Tutkimus kuului tutkimuslain alaiseen lääketieteelliseen tutkimukseen, joten puoltava lausunto ja tutkimuslupa haettiin Keski-Suomen sairaanhoitopiirin tutkimuseettiseltä toimikunnalta (Keski-Suomen sairaanhoitopiiri 2015). Tutkimuksessa noudatettiin Tutkimuseettisen neuvottelukunnan (TENK) laatimia ohjeita hyvästä tieteellisestä käytännöstä (TENK 2012). Tutkittavat osallistuivat tutkimukseen täysin vapaaehtoisesti ja heillä oli oikeus keskeyttää tutkimus missä vaiheessa tahansa. Tutkittaville ei aiheutunut kustannuksia osallistumisesta. Ennen varsinaisia mittauksia tutkittavia informoitiin tutkimuksen aiheesta, tarkoituksesta, tietosuojasta ja

tulosten käsittelystä. Lisäksi tutkimuksen kulku sekä hyödyt ja riskit käytiin läpi yhdessä tutkittavan kanssa.

Ensikontakti tutkittavien rekrytoinnissa tapahtui keskussairaalan fysioterapeuttien toimesta. Tähän kuului ensin tiedustelu halukkuudesta osallistua tutkimukseen ja tutkittavan soveltuvuuden arviointi sekä luvan kysyminen puhelinnumeron toimittamiseen tutkijoille. Tämän jälkeen yliopiston tutkija teki rekrytointisoiton ja kävi tutkittavan kanssa läpi huolellisesti tutkimukseen liittyviä asioita. Edellä mainitut asiat kerrattiin vielä ennen tutkimusta varsinaisella mittauskäynnillä. Tutkittava sai keskeyttää pelin tai harjoitteen missä vaiheessa tahansa mittaustilannetta. Tutkittavaa ohjeistettiin kuten normaalilla fysioterapeutin vastaanottokäynnillä, mutta pelien kohdalla varmistettiin, että tutkittava ymmärsi mitä pelissä tulee tehdä. Tutkittaville annettiin myös mahdollisuus kokeilla peliä tai harjoitetta uudelleen, jos hän niin halusi. Mittaustilanteissa varauduttiin ensiapuvalmiuteen ja mahdollisia poikkeustilanteita käytiin läpi mittajien kanssa etukäteen.

Tutkimuksessa noudatettiin Jyväskylän yliopiston julkaisueettisiä periaatteita (Jyväskylän yliopisto 2013). Tutkimuksen datan käsittely sekä raportointi toteutettiin huolellisesti ja tarkasti. Tutkimusdata pseudonymisoitiin ja tunnistekoodit säilytettiin lukitussa ja kulunvalvotussa paikassa vain yhden vastuullisen tutkijan takana. Tutkimuksessa käytettiin eettisesti kestäviä ja tieteellisen tutkimuksen kriteerien mukaisia tiedonhankinta-, tutkimus- ja arviointimenetelmiä. Tutkimuksessa noudatettiin hyvää hallintotapaa ja rahoitus oli avointa sekä raportoinnissa ja suunnittelussa kunnioitetaan muiden tutkijoiden tekemää työtä ja siihen viitataan liikuntatieteellisen tiedekunnan antamien ohjeiden mukaisesti.

## 6 TULOKSET

Kuormittavuusmittauksiin osallistui yhteensä seitsemän (n = 7) polven tekonivelleikattua henkilöä (Taulukko 1). Tutkittavat osallistuivat tutkimukseen eri vaiheessa kuntoutusprosessia. Mediaani-kesto leikkauksesta oli 98 päivää (IQR=82). Tutkittavista yhtä lukuun ottamatta kaikki olivat naisia ja heidän mediaani-ikänsä oli 66 vuotta (IQR=10). Ennen mittausta tutkittavat raportoivat viimeisen vuorokauden aikana kipua VAS -kipujanana mediaaniarvona 42/100 (IQR=45). Polvi- ja lonkkapotilaan toimintakykykyselyn WOMAC -indeksi mediaaniarvo oli tutkittavilla 45/96. Kukaan tutkittavista ei käyttänyt liikkumiseen apuvälineitä.

TAULUKKO 1. Tutkittavien esitiedot sekä kipu ja rasitus tavanomaisen harjoittelun ja kuntoutuspelien jälkeen.

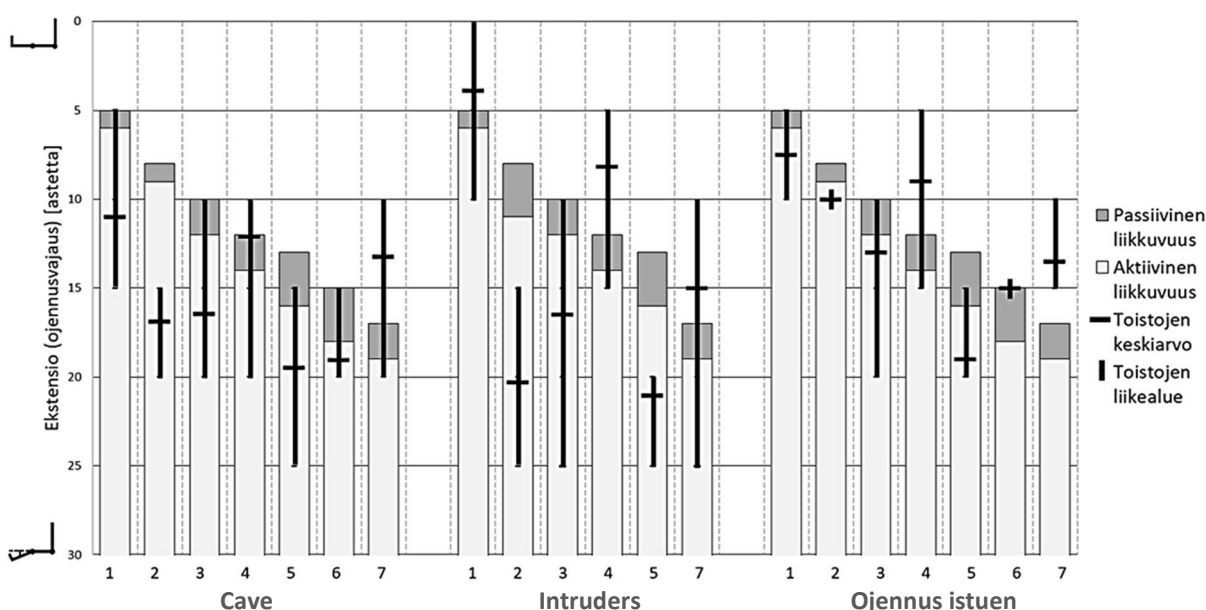
Muuttuja	Mediaani	IQR	Min.	Max.
Ikä [v]	66	10	60	73
Kipua edeltävänä 24h, VAS [0-100]	42	45	1	69
Leikattu päivää sitten [vrk]	98	82	24	110
WOMAC [0-96]	45	28	28	73
Rasitus tavanomaisen harjoittelun jälkeen, RPE [6-20]	12	5	9	17
Rasitus pelien jälkeen, RPE [6-20]	11	5	9	15
Kipu tavanomaisen harjoittelun jälkeen, VAS [0-100]	8	11	0	45
Kipu pelien jälkeen, VAS [0-100]	15	14	0	40

VAS = Visual Analogue Scale  
WOMAC = The Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index  
RPE = Rate of Perceived Exertion  
IQR = Interquartile Range

Yhden tutkittavan yksi peli jäi pelaamatta teknisten ongelmien vuoksi. Muuten kaikki tutkittavat suorittivat kaikki pelit ja harjoitteet normaalisti. Tutkittavien kipu ei keskimäärin lisääntynyt harjoitteiden suorittamisen ja/tai pelaamisen jälkeen (Z=5,00, p=0,496). Myöskään koetun rasituksen osalta tavanomaiset harjoitteet eivät eronneet kuntoutuspeleistä (Z=1,00, p=0,285) (Taulukko 1).

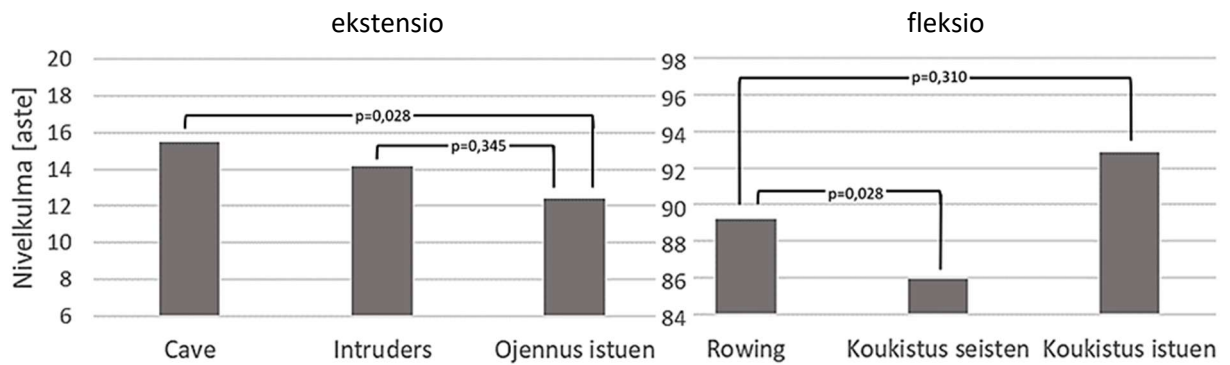
## 6.1 Ekstensio- ja fleksiosuunnan liikelaajuus

Kuviossa 2 on esitetty tukittavittain polvinivelen ekstensiosuunnan pelien ja harjoitteen liikelaaajuus sekä mitattu aktiivinen ja passiivinen liikkuvuus. Kuvioista voidaan todeta, että eroja liikelaaajuudessa on pelien ja tutkittavien välillä. Erityisen paljon eroja on havaittavissa Intruders -pelissä. Lisäksi voidaan todeta, että pelaaminen ei tapahdu kuntoutuspeleissä yhtä tarkasti goniometrillä mitatun liikkuvuuden sisällä kuin ojennus istuen -harjoitteessa, jossa toistot tehdään lähempänä mitattua liikkuvuutta.



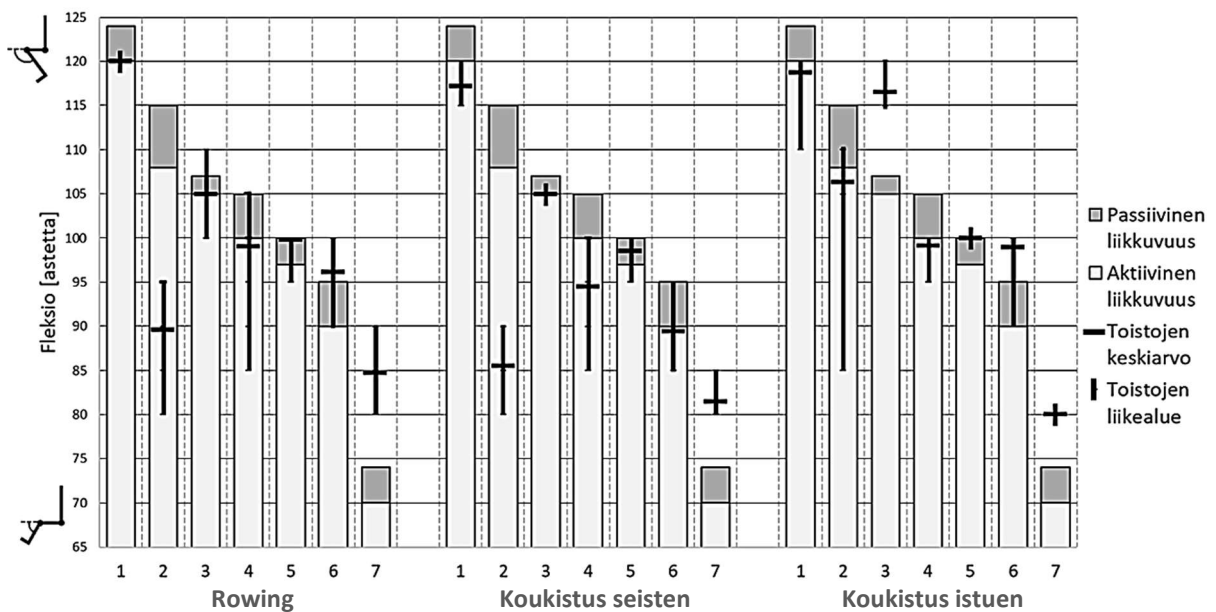
KUVIO 2. Ekstensiosuunnan pelien ja harjoitteen liikealue, painotettu keskiarvo sekä mitattu passiivinen ja aktiivinen liikkuvuus tutkittavittain.

Kun tarkastellaan painotettuja keskiarvoja ekstensiosuunnassa, suurin polven ojennus saavutettiin ojennus istuen -harjoitteessa (Kuvio 3). Molemmissa ekstensiosuunnan kuntoutuspeleissä liikelaaajuus on samaa luokkaa, mutta Intruders-pelissä hajonta on suurempaa kuin Cave-pelissä. Erot liikelaaajuudessa eivät ole tilastollisesti merkitseviä kaikkien ekstensiosuunnan pelien ja harjoitusten välillä ( $Z=2,35$ ,  $p=0,309$ ). Kun tarkastellaan parivertailuja, ojennus istuen -harjoitteen ekstensiosuunnan liikelaaajuus (ka 12 SD (4), 95% LV: 9; 17°) eroaa Cave-pelin liikelaaajuudesta (ka 16 SD (3), 95% LV: 11; 19°) ( $Z=1,00$ ,  $p=0,028$ ). Muita eroja pelien ja harjoitteiden välillä ekstensiosuunnassa ei ole. Taulukoidut tulokset on esitetty liitteessä 4.



KUVIO 3. Kuormitusmittauksien liikelaajuus ekstensio- ja fleksiosuuntaan.

Fleksiosuunnassa vaihtelu tutkittavien välillä on runsasta. Se on kuitenkin johdonmukaisempaa kuin ekstensiosuunnassa, varsinkin kun kiinnitetään huomiota erityisesti tutkittavien välisiin vaihteluihin. Tutkittavat toteuttavat liikettä pelistä tai harjoitteesta riippumatta saman liikealueen sisällä ja pelaaminen ekstensiosuunnassa tapahtuu pääasiassa goniometrillä mitatun liikkuvuuden sisällä (Kuvio 4).



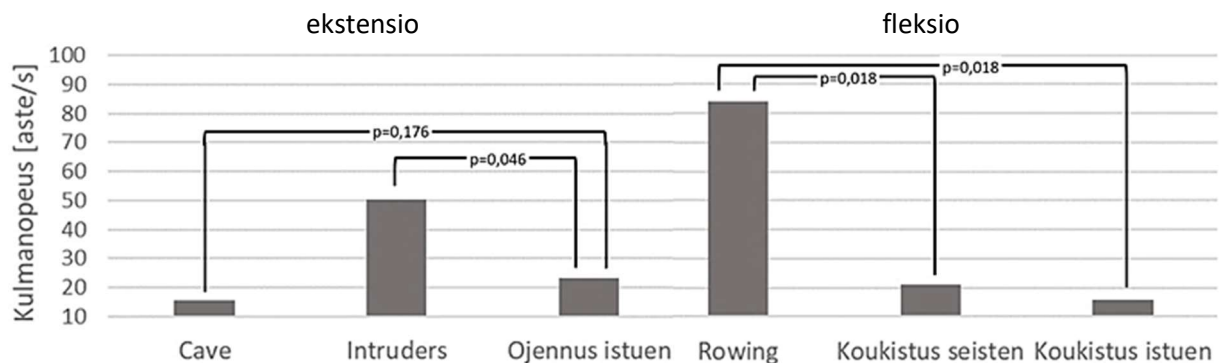
KUVIO 4. Fleksiosuunnan pelien ja harjoitteen liikealue, painotettu keskiarvo sekä mitattu passiivinen ja aktiivinen liikkuvuus.

Kun tarkastellaan painotettuja keskiarvoja fleksiosuunnassa, koukistus istuen -harjoitteessa polvinivel saavuttaa suurimman nivelkulman (Kuvio 3). Rowing-peli sijoittuu näiden kahden harjoitteen väliin, sillä vähiten polvi koukistuu koukistus seisten -harjoitteessa. Ero kaikkien fleksiosuunnan pelien ja harjoitusten välillä on tilastollisesti merkitsevä ( $Z=7,19$ ,  $p=0,028$ ). Kun

tarkastellaan parivertailuja, Rowing-pelin liikelaajuus fleksiosuuntaan (ka 89 SD (11), 95% LV: 79; 103°) eroaa koukistus seisten -harjoitteen liikelaajuudesta (ka 86 SD (12), 95% LV: 75; 101) ( $Z=21,00$ ,  $p=0,028$ ). Koukistus istuen -harjoitteen (ka 93 SD (13), 95% LV: 77; 107°) ja koukistus seisten -harjoitteen liikelaajuudet eroavat myös toisistaan ( $Z=1,50$ ,  $p=0,034$ ).

## 6.2 Kulmanopeus

Intruders-pelissä saavutetaan korkein kulmanopeus ekstensiosuunnan liikkeissä (Kuvio 5). Ojennus istuen -harjoitteen kulmanopeus jää alle puoleen siitä ja rauhallisin kulmanopeus on Cave-pelillä. Ekstensiosuunnan pelit ja harjoite eroavat kulmanopeudeltaan toisistaan ( $Z=8,33$ ,  $p=0,016$ ). Kun tarkastellaan parivertailuja, Intruders-pelin kulmanopeus (ka 51 SD (22), 95% LV: 27; 74°/s) on ojennus istuen-harjoitteen kulmanopeutta (ka 23 SD (13), 95% LV: 11; 39°/s) korkeampi ( $Z=20,00$ ,  $p=0,046$ ). Myös Intruders-pelin kulmanopeus on Cave-pelin kulmanopeutta (ka 16 SD (8), 95% LV: 8; 25°/s) korkeampi ( $Z=21,00$ ,  $p=0,028$ ).

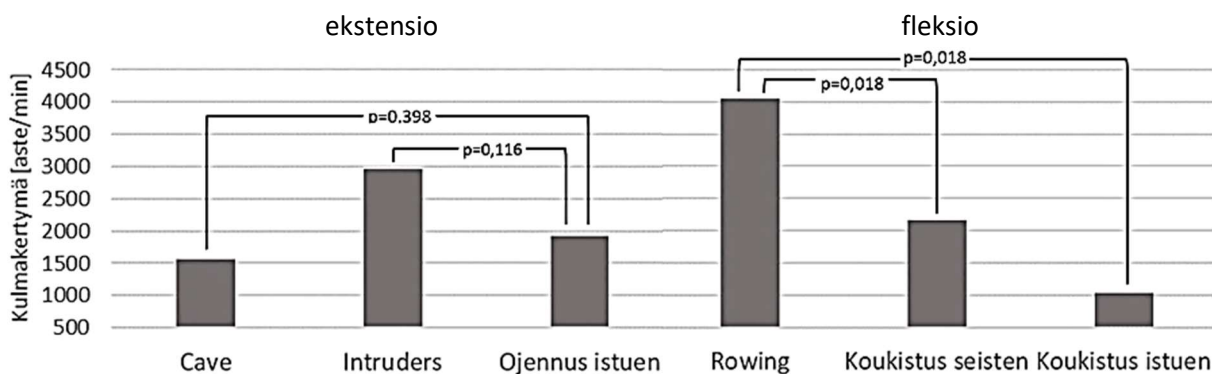


KUVIO 5. Kuormitusmittauksien kulmanopeus ekstensio- ja fleksiosuuntaan.

Fleksiosuunnan Rowing-peli on reilusti korkeimman kulmanopeuden peli. Fleksiosuunnan peli ja harjoitteet eroavat kulmanopeudeltaan toisistaan ( $Z=12,23$ ,  $p=0,002$ ). Kun tarkastellaan parivertailuja, Rowing-pelin kulmanopeus (ka 84 SD (36), 95% LV: 50; 118°/s) on koukistus seisten -harjoitteen kulmanopeutta (ka 21 SD (12), 95% LV: 10; 32°/s) korkeampi ( $Z=00,00$ ,  $p=0,018$ ). Myös Rowing-pelin kulmanopeus ja koukistus istuen -harjoitetta (ka 16 SD (10), 95% LV: 7; 25°/s) korkeampi ( $Z=00,00$ ,  $p=0,018$ ).

### 6.3 Kulmakertymä

Intruders-pelissä saavutetaan kulmakertymä (ka 2959 SD (975), 95% LV: 1936; 3981°/min). Cave-pelin kulmakertymä (ka 1558 SD (738), 95% LV: 859; 2450°/min) ja ojennus istuen -harjoitteen kulmakertymä (ka 1922 SD (829), 95% LV: 1237; 2908°/min) jäävät siitä reilusti (Kuvio 6). Kulmakertymä ei kuitenkaan eroa ekstensiosuunnan liikkeissä ja peleissä tilastollisesti merkitsevästi.



KUVIO 6. Kuormitusmittauksien kulmakertymä ekstensio- ja fleksiosuuntaan.

Suurin kulmakertymä fleksiosuunnan liikkeissä saavutetaan Rowing-pelissä (ka 4059 SD (1932), 95% LV: 2276; 6392°/min), joka on reilusti korkeampi kuin koukistus seisten -harjoitteen kulmakertymä (ka 2161 SD (463), 95% LV: 1769; 2715°/min) ja koukistus istuen -harjoitteen kulmakertymä (ka 1039 SD (393), 95% LV: 589; 1493°/min). Erot kulmakertymässä ovat tilastollisesti merkitseviä kaikkien fleksiosuunnan pelien ja harjoitusten välillä ( $Z=14,00$ ,  $p=0,001$ ). Myös kulmakertymän parivertailut fleksiosuunnassa eroavat toisistaan ( $Z=00,00$ ,  $p=0,018$ ).



## 7 POHDINTA

Kuntoutuspelit tuottavat polvinivelelle erilaista liikettä kuin tavanomaiset terapeutit harjoitteet. Liikelaajuuden osalta kuntoutuspelit eivät pääse aivan samaan liikelaajuuteen kuin tavanomaiset harjoitteet, erityisesti ekstensiosuunnassa. Fleksio- ja ekstensiosuunnassa pelaaminen tuottaa korkeamman kulmanopeuden kuin tavanomainen harjoittelu. Kulmakertymän osalta sama on havaittu vain fleksiosuunnassa. Kuntoutuspelaaminen aiheuttaa polvinivelelle liikettä erityisesti polvinivelen liikkuvuuden keskialueella, sillä kuntoutuspelit eivät itsessään tuota tarkkaa liikelaajuuden ääripäästä ääripäähän kulkevaa liikettä, kuten usein toistoihin perustuva terapeutin harjoittelu. Pelien logiikka on erilainen ja niiden tuottama liike on jokaisen pelaajan ja pelisession kohdalla ainutlaatuinen.

### 7.1 Tulosten käytettävyys ja luotettavuus

Aikaisempia tutkimuksia kuntoutuspelien kuormittavuudessa etenkin tekonivelleikkauksen jälkeisestä kuntouksesta on vähän. Tämä tutkimus noudattelee kuitenkin aikaisemmin todettua huomiota, että pelit, tasot ja pelaajat toteuttavat peliin suunniteltuja tavoitteita (Skjæret-Maroni ym. 2016). Tässä tutkimuksessa mukana olevan Cave-pelin tavoitteena on toimia polven ojennussuunnan pelinä. Pelin tavoitteena on tuottaa kuntoutujalle rauhallista isometrisesti polven ojentajia kuormittavaa liikettä ja tämä myös tulosten mukaan toteutui. Intruders -pelin tavoitteena on taas tarjota kuntoutujalle myös nopeusominaisuuksia kehittävää harjoittelua. Se täyttyy hyvin, koska Intruders-peli eroaa selkeästi muista ekstensiosuunnan liikkeistä korkean kulmanopeuden ansiosta.

Polven tekonivelkuntoutuksen tavoitteena on varmistaa polvinivelen loppuojennus (König ym. 2000; McGinn ym. 2018) Tämän tutkimuksen Cave-pelin tavoitteena on varmistaa myös polvinivelen loppuojennus. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että aivan tavoitteeseen ei päästä, sillä ojennusvajausta jää keskimäärin noin 15 astetta. Tähän saattaa osittain vaikuttaa kalibroinnin onnistuminen ja peliin ohjelmoitujen ”hyönteisten” sijainti peliruudulla. Loppuojennus toteutuu parhaiten ojennus istuen -harjoitteessa. Fleksiosuunnan Rowing-pelissä polvinivelen koukistus

nopeudella on suurin merkitys pelissä menestymiseen. Tämän huomaakin selkeästi korkeimpana kulmanopeutena kaikista tutkimuksen peleistä ja harjoitteista.

Kuntoutuspelien suunnittelussa tulee huomioida kuntoutuksen tavoitteet ja sen tulee olla tutkimustietoon perustuvaa (Sinclair ym. 2007; Skjæret-Maroni ym. 2016). Kuormittavuustutkimuksen tavoitteena onkin tuottaa tietoa vaikuttavuusintervention suunnittelua varten. Tulokset osoittavat, että vaikka kuormitus eroaa tavanomaisesta harjoittelusta, niin pelit vaikuttavat saavuttavan kuntoutukselle asetut tavoitteet hyvin. Keskimääräinen liikelaajuus kuormitusmittauksissa fleksiosuuntaan on noin 90 astetta, jonka on todettu riittävän moniin päivittäisiin toimintoihin (Laubenthal ym. 1972; Laskin ym. 2004).

Passiivisesti mitattu polven liikelaajuus on tärkeää saavuttaa myös ekstensiosuunnassa ja polven tulisi ojentua suoraksi. Mutta kuten tutkimuksissa on todettu, polven ojennukseen ei vaikuta ainoastaan polvinivelen rakenne vaan nelipäisen reisilihaksen kyky ojentaa polvinivel suoraksi (McGinn ym. 2018). Kuntoutuspeleissä tämä olisi mahdollista luoda tavoittamattomissa olevien objektien sijoittamisella kenttään. Se voisi ohjata pelaajaa ponnistelemaan polvea erityisen suoraksi saavuttaakseen esimerkiksi kalibroidun liikelaajuuden ulkopuolella olevan hyönteisen. Tässä tutkimuksessa mitattiin myös polvinivelen kulmanopeutta. Keskimääräisesti pelaaminen on kulmanopeudeltaan rauhallista, jos sitä verrataan nopeisiin liikkeisiin, kuten pallon potkaisuun, jossa kulmanopeus polvinivelessä saattaa nousta jopa 700-800 asteeseen sekunnissa (Kellis & Katis 2007).

Vaikka kuntoutuspelaamisen on todettu olevan turvallista (Pompeu ym. 2014), tulee pelikehityksessä kiinnittää huomiota turvallisuuteen, sillä pelit saattavat aiheuttaa pelaajissa normaalia suurempaa innostuneisuutta, jolloin pelaajan keskittyminen saattaa herpaantua ja siten altistaa loukkaantumisille. Kuntoutuspeleistä on tehty vammatarkeihin liittyvää tapaustutkimusta, jossa on todettu, että myös kuntoutuspelaaminen voi aiheuttaa polvinivelen ACL-vammoja (Muller ym. 2015).

Kuormittavuustutkimuksen peleissä on mukana kalibrointiominaisuus. Kalibroinnin avulla pelille annetaan tietoon sen hetkinen kuntoutujan polvinivelen liikkuvuus. Tämän tiedon avulla

pelin säättää pelin asetukset automaattisesti juuri kuntoutujan sen hetkisen kyvyn mukaan (Gerling ym. 2012). Se on askel tekoälyn suuntaan, jolla voidaan ratkaista monia ongelmia kuten datan lajittelua ja luokittelua (Millington & Funge 2009, 4). Tämä voisi tulevaisuudessa johtaa siihen, että kuntoutus voidaan lähes viiveettä ilman fysioterapeutin käyntiä optimoida pelikerta pelikerralta kuntoutujan tason ja tarpeiden mukaan. Kuntoutuspelaamista voisi olla mahdollista yhdistää myös etäkuntoutukseen, joka on tutkimusten mukaan todettu käyttökelpoiseksi kuntoutuksessa (Rintala ym. 2017). Etäkuntoutus ja tekoälyn yhdistelmällä toteutettu kuntoutuspelaaminen voi tulevaisuudessa tarjota fysioterapiaa aivan uusille kohderyhmille kustannustehokkaasti.

Pelillä on säännöt, jossa pelaajan ratkaisut vaikuttavat lopputulokseen (Juul 2005). Kuntoutuspelaaminen eroaakin tässä mielessä ratkaisevasti terapeuttisesti harjoittelusta, joka on rakenteeltaan toistoihin ja yksittäisiin liikkeisiin perustuvaa. Yksittäinen harjoitus on usein rakenteeltaan samanlainen ja fysioterapeutin jo heti sairaalassa annetut ohjeet seuraavat kuntoutujan matkassa mahdollisesti koko kuntoutusprosessin ajan. Kuten kuormittavuustutkimuksen tulokset osoittavat, on vaihtelu tarkenna mikä vaihtelu melkoisen suurta pelaajien välillä. Peleistä ei ole tehty pelisessioiden välistä vertailua, mutta on helppo, että ne olisivat eronneet toisistaan merkittävästi, sillä pelaamisen tuottamaan liikkeeseen vaikuttaa aina myös pelissä menestyminen.

Tässä kuormittavuustutkimuksessa olevat kuntoutuspelit mahdollistavat harjoitusmäärän seurannan automaattisesti, joka mahdollistaa myös suoritusanalyysin tekemisen. Verrattuna päiväkirjoihin kuntoutuspelit tarjoavat moninkertaisesti enemmän mahdollisuuksia tarkkailla muun muassa toistojen ja kulmanopeuden määrää, pelaikaa sekä kuntoutujan polvinivelen liikkuvuuden kehittymistä. Kun suunnitellaan interventioita, on peleihin ohjelmoitavissa päivittäisiä annoksia ja niitä voidaan myös rajoittaa. Peleihin ja käyttöliittymiin voidaan myös luoda erillisiä peliprofiileja, joiden avulla myös muut kotona olevat tai siellä vierailevat henkilöt voivat pelata pelejä. Vaikka kuntoutuspelien kehityksessä on tärkeää edetä kuntoutuksen tavoitteiden suunnassa, on tekniset rajoitukset ja pelien käytettävyyteen liittyvät seikat tärkeää huomioida (Mueler ym. 2010; Koskela ym. 2016).

## 7.2 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet

Kuormittavuustutkimuksen vahvuutena oli erityisesti laadukkaasti toteutetut ja nimenomaan polventekonivelkuntoutukseen sekä sen tavoitteisiin suunnitellut liikeohjatut kuntoutuspelit. Lisäksi tutkittavat osallistuivat tutkimukseen eri vaiheessa kuntoutusprosessia, jolloin saatiin tietoa kuormittavuudesta kuntoutuksen eri vaiheista. Tekninen toteutus onnistui myös hyvin, sillä vain yhdellä tutkittavalla jäi yksi peli pelaamatta.

Kuormittavuustutkimus sisälsi kuitenkin jonkin verran rajoituksia. Tutkimuksessa liikeanalyysi toteutettiin 2D-analyysinä, joka mahdollistaa tutkittavan liikkeiden analysoinnin vain mediaanitasossa. 3D-liikeanalyysi mahdollistaa polvinivelen kohdistuvien kiertojen tarkastelun, joka on myös mielenkiintoinen tieto (Robertson ym. 2014, 35-37). Myös mahdolliset kineettiset analyysit nivelten kuormitukseen liittyen olisivat tuottaneet entistä tarkempaa tietoa niveliin kohdistuvista voimista. 2D-liikeanalyysin on kiertojen havainnoinnin rajoituksista huolimatta todettu kuitenkin käytännölliseksi työkaluksi arvioimaan nivelten liikkuvuutta sagittaalitasossa (Munro ym. 2012; Schurr ym. 2017).

Lähtökohtana kuormittavuustutkimuksessa ja datan analysoinnissa on kuvata fyysisen pelisuurituksen kuormitusta mahdollisimman monipuolisesti. Ideoita datan analysointiin saatiin kirjallisuudesta, kuten esimerkiksi (Garcia-Hernandez ym. 2018) tutkimuksesta löydetty kulmakerätyä. Osittain tutkimusdatan analyysi onkin aineistolähtöinen ja siinä on pyritty löytämään mahdollisimman hyvin pelaamista ja sen fyysistä kuormitusta kuvaavia muuttujia. Yksikköinä on käytetty kuitenkin metodikirjallisuudesta löytyviä yksiköitä, kuten [aste/s] (Robertson ym. 2014, 19). Aineistolähtöisessä analyysissä on riskinä, että mittausdatasta pyritään nostamaan vain uutuuden arvoa tuottavia muuttujia mukaan tutkimuksen tulokseen ja vääristelemään havaintoja (TENK 2012). Tämän tutkimuksen aineistoanalyysissä on pyritty kuitenkin varmistamaan se, että niin peli kuin harjoittelumittauksen tuloksia käsitellään täysin samalla tavalla. Tästä syystä liikelaajuus on luokiteltu toistoiksi, jotta voidaan varmistua siitä, että vertailu on tasaveroinen niin toistoihin keskittyvien harjoitteiden, kuin vaihtelevampaa liikettä tuottavien pelien välillä.

Tutkittavat osallistuivat mittauksiin vaativan polven tekonivelleikkauksen jälkeen eri vaiheissa kuntoutusprosessia. Tutkittavien ei haluttu olevan erityisen kivuliaita mittausten jälkeen, joten mittausten kesto ei ollut liian pitkä ja heidän jaksamisestaan huolehdittiin. Kuten tutkittavien esitiedoista voidaan todeta, tutkittavien kokemus kivusta viimeisen vuorokauden aikana vaihtelee melko paljon. Pelaaminen ei tämän tutkimuksen tulosten mukaan kuitenkaan aiheuta kipua, eivätkä kiputunteukset eronneet harjoittelusta. Kuntoutuspelaamisen ja tavanomaisen harjoittelun tuottaman kivun eroista ei ole löydettävissä vertailtavia tutkimuksia, mutta on todettu, että millään fysioterapiainterventiolla ei ole toistaan parempi teho hoitaa kroonista kipua polven tekonivelleikkauksen jälkeen (Wylde ym. 2018).

### **7.3 Jatkotutkimusehdotukset**

Kuormittavuustutkimuksen tulosten avulla voidaan pelikehitystä ohjata sekä ymmärtää paremmin millaisia kuormituksia pelit todellisuudessa tuottavat. Liikeohjatun pelaamisen tulee olla houkuttelevaa ja motivoivaa, mutta samalla tehokas ja tarkoituksenmukaista (Sinclair ym. 2007). Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu vain kolmea peliä, kun taas vaikuttavuusinterventio sisältää pelejä huomattavasti enemmän. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan vaikuttaa siltä, että pelit täydentävät kuormitukseltaan toisiaan. Onkin syytä kysyä riittääkö pelaaminen pelkästään polven tekonivelkuntoutuksen jälkeiseksi harjoitteluksi vai tulisiko sen olla osa laajempaa terapeuttista harjoittelua sisältävää kuntoutusprosessia? Tällä hetkellä tutkimusnäyttö tukee sitä, että kuntoutuspelaaminen soveltuu osaksi tavanomaista terapeuttista harjoittelua (Boncherea ym. 2016). On tärkeää huomioida, että monet aikaisemmat tutkimukset on tehty käyttäen normaaleja yleisesti myynnissä olevia liikeohjattuja pelejä, mutta tässä tutkimuksessa käytettiin erityisesti polven tekonivelkuntoutukseen suunniteltuja kuntoutuspelejä.

Vaikka kuntoutuspelaaminen eroaa terapeuttisesta harjoittelusta, on se kuitenkin tavoitteeltaan samansuuntaista kuin tavanomainen terapeuttinen harjoittelu, jota käytetään polven tekonivelkuntoutuksessa yleisesti. On kuitenkin todettava, että terapeuttisen harjoittelun ja fysioterapian vaikuttavuus polven tekonivelleikkauksen jälkeisessä kuntoutuksessa vaihtelee (Suomen Artroplastiaiyhdistys 2015; Skoffer ym. 2015; Doma ym. 2018; Domínguez-Navarro ym. 2018;

Polvi- ja lonkkanivelrikko. Käypä hoito -suositus, 2018; Buhagiar ym. 2019). Onkin syytä kysyä, onko merkitystä sillä, miten terapeuttinen harjoittelu eroaa kuntoutuspelaamisesta, jos ylipäätään terapeuttisen harjoittelun vaikuttavuus on kyseenalainen. Jääkin kysymykseksi voiko kuntoutuspelaaminen olla tehokkaampi kuntoutusmuoto kuin tavanomainen harjoittelu? Tähän kysymykseen tarvitaan vastaus jatkotutkimuksissa, joissa on tärkeää selvittää erityisesti kuntoutuspelaamisen käyttäjäkokemuksia ja vaikuttavuutta.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuntoutuspelien polvinivelelle tuottama liike täyttää harjoittelulle asetetut tavoitteet hyvin, vaikkakin se on luonteeltaan erilaista kuin tavanomainen terapeutin kotiharjoittelu. Fleksiosuunnassa pelit eroavat tavanomaisista harjoituksista kulmakertymän ja liikelaajuuden osalta. Ekstensiosuunnassa kyseisiä eroja ei havaita. Kulmanopeuden osalta pelit eroavat harjoituksista niin fleksio- kuin ekstensiosuunnassa.

Kuntoutuspelit haastavatkin kuntoutujaa uudella tavalla polven tekonivelleikkauksen jälkeen. Tutkimustietoa vaikuttavuudesta ja pelikokemuksista tarvitaan, jotta voidaan varmistua pelien soveltuvuudesta käytännön kuntoutukseen.

## LÄHTEET

- Artz, N., Elvers, K. T., Lowe, C. M., Sackley, C., Jepson, P. & Beswick A. D. 2015. Effectiveness of physiotherapy exercise following total knee replacement: systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders* 7; 16:15.
- Bieryla, K. A. 2017. Xbox Kinect training to improve clinical measures of balance in older adults: a pilot study. *Aging Clinical and Experimental Research* 28, 451–457.
- Bonnechère, B., Jansen, B., Omelina, L. & Van Sint Jana, S. 2016. The use of commercial video games in rehabilitation: a systematic review. *International Journal of Rehabilitation Research* Vol 39 No 4, 277-290.
- Borg, G. A., 1982. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 14, 377–381.
- Brosseau, L., Balmer, S., Tousignant, M., O'Sullivan, J. P., Goudreault, C., Goudreault, M. & Gringras, S. 2001. Intra- and intertester reliability and criterion validity of the parallel-gram and universal goniometers for measuring maximum active knee flexion and extension of patients with knee restrictions. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 82, 396-402.
- Buhagiar, M. A., Naylor, J. M., Harris, I. A., Xuan, W., Adie, S. & Lewin, A. 2019. Assessment of Outcomes of Inpatient or Clinic-Based vs Home-Based Rehabilitation After Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Network Open* 5.
- Camilo, R., Edwin, G., Andres, C. & Maria, T. 2018. Addressing motivation issues in physical rehabilitation treatments using exergames Colombian Conference on Computing, Springer, 459-470.
- Canovas, F. & Dagneaux, L. 2018. Quality of life after total knee arthroplasty. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 104, 41–46.
- Chen, X., Siebourg-Polster, J., Wolf, D., Czech, C., Bonati, U., Fischer, D., Khwaja, O. & Strahm, M. 2017. Feasibility of Using Microsoft Kinect to Assess Upper Limb Movement in Type III Spinal Muscular Atrophy Patients. *PLOS ONE* January 25.
- Choi, S. D., Guo, L., Kang, D. & Xiong, S. 2017. Exergame technology and interactive interventions for elderly fall prevention: A systematic literature review. *Applied Ergonomics* 65, 570-581.



- Chung, P. K., Zhao, Y., Liu, J. D. & Quach, B. 2015. A Brief Note on the Validity and Reliability of the Rating of Perceived Exertion Scale in Monitoring Exercise Intensity among Chinese Older Adults in Hong Kong. *Perceptual and Motor Skills* 121, 805-809.
- Collado-Mateo, D., Dominguez-Muñoz, F. J., Adsuar, J.C., Merellano-Navarro, E. & Gusi N. 2017a. Exergames for women with fibromyalgia: a randomised controlled trial to evaluate the effects on mobility skills, balance and fear of falling. *PeerJ* 5.
- Collado-Mateo, D., Merellano-Navarro, E., Olivares, P. R., García-Rubio, J. & Gusi N. 2017b. Effect of exergames on musculoskeletal pain: A systematic review and meta-analysis. *Scandinavia Journal Medical Science Sports* 3, 760-771.
- Doma, K., Grant, A. & Morris, J. 2018. The effects of balance training on balance performance and functional outcome measures following total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine* 48, 2367–2385.
- Domínguez-Navarro, F., Igual-Camacho, C., Silvestre-Muñoz, A., Roig-Casasús, S. & Blasco, J. M. 2018. Effects of balance and proprioceptive training on total hip and knee replacement rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture* 62, 68-74.
- Duclos, C., Miéville, C., Gagnon, D. & Leclerc, C. 2012. Dynamic stability requirements during gait and standing exergames on the Wii fitW system in the. *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation* 9:28.
- Ebert, JR., Munsie, C. & Joss, B. 2014. Guidelines for The Early Restoration of Active Knee Flexion after Total Knee Arthroplasty: Implications for Rehabilitation and Early Intervention. *Physical Medicine and Rehabilitation* 95, 1135–1140.
- Fast Company. 2017. Exclusive: Microsoft Has Stopped Manufacturing The Kinect. Viitattu 10.10.2019. <https://www.fastcompany.com/90147868/exclusive-microsoft-has-stopped-manufacturing-the-kinect>
- Fortune. 2017. Microsoft Has Finally Killed the Kinect Xbox Sensor. Viitattu 10.10.2019. <https://fortune.com/2017/10/25/microsoft-kinect-xbox-sensor/>
- Fung, F., Ho, A., Shaffer, J., Chung, E. & Gomez, M. 2012. Use of Nintendo Wii Fit™ in the rehabilitation of outpatients following total knee replacement: a preliminary randomised controlled trial. *Physiotherapy* 98, 183–188.
- Gajdosik, R. & Bohannon, R. 1987. Clinical measurement of range of motion: review of goniometry emphasizing reliability and validity. *Physical Therapy* 67, 1867-1872.

- Garcia-Hernandez, N., Garza-Martinez, K. & Parra-Vega, V. 2018. Electromyography Biofeedback Exergames to Enhance Grip Strength and Motivation. *Games for health journal: Research, Development, and Clinical Applications* Volume 7, Number 1.
- Gerling, K., Livingston, I., Nacke, L., & Mandryk, R. (2012). Full-body motion-based game interaction for older adults. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '12)*, 1873-1882.
- Gribble P, Hertel J, Denegar C, Buckley W. 2005. Reliability and validity of a 2-D video digitizing system during a static and a dynamic task. *Journal of Sport Rehabilitation* 14, 137-149
- Guess, T. M., Razu, S., Jahandar, A., Skubic, M. & Huo, Z. 2017. Comparison of 3D Joint Angles Measured With the Kinect 2.0 Skeletal Tracker Versus a Marker-Based Motion Capture System *Journal of Applied Biomechanics* 33, 176 -181.
- Hara, M. 2013. Heuristiikat liikeohjattavien pelien suunnitteluun ja arviointiin. Pro gradu -tutkielma. Tampereen yliopisto. Informaatiotieteiden yksikkö. Vuorovaikutteinen teknologia.
- Harvey, LA., Brosseau, L. & Herbert, RD. 2014. Continuous passivemotion following total knee arthroplasty in people with arthritis. *Cochrane Database of Systematic Reviews* Issue 2.
- Heikkilä, T. 2014. Tilastollinen tutkimus. Helsinki: Edita.
- Henderson, KG., Wallis, JA. & Snowdon, DA. 2018. Active physiotherapy interventions following total knee arthroplasty in the hospital and inpatient rehabilitation settings: a systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy* 104, 25–35.
- Hjermstad, M. J., Fayers, P. M., Hauge, D. F., Garaceni, A., Hanks, G. W., Loge, J. H., Fainsinger, R., Aass, N. & Kaasa, S. 2011. Studies comparing numerical rating scales, verbal rating scales, and visual analogue scales for assessment of pain intensity in adults: A systematic literature review. *Journal of Pain and Symptom Management* 41, 1073-1093.
- Jansen-Kosterink, S. M., Veld, R., Schoenauer, C., Kaufmann, H., Hermens, H. J. & Vollenbroek-Hutten, M. 2013. A serious exergame for patients suffering from chronic musculoskeletal back and neck pain: a pilot study. *Games Health* 2, 299-307.

- Johnson, A. W., Myrer, J. W., Hunter, I., Feland, J. B., Hopkins, J. T. & Draper, D. O. 2010. Whole-body vibration strengthening compared to traditional strengthening during physical therapy in individuals with total knee arthroplasty. *Physiotherapy Theory Practice* 26, 215–225.
- Juul, J. 2005. *Half-Real: Video Games between Real Rules and Fictional Worlds*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Jyväskylän yliopisto. 2013. Jyväskylän yliopiston julkaisueettiset periaatteet. Viitattu 10.11.2019. [https://www.jyu.fi/hallinto/strategia/periaatteet/julkaisueettiset\\_2013](https://www.jyu.fi/hallinto/strategia/periaatteet/julkaisueettiset_2013)
- Karhula, M., Veijola, A. & Ylisassi, H. 2016. Tavoitteiden asettamisen käytäntö. Teoksessa Autti-Rämö, I. Salminen, A-L., Rajavaara, M. & Ylinen, A. (toim.). *Kuntoutuminen*. 1. painos. Helsinki: Duodecim, 225–233.
- Karhunen, V., Rasi, I., Lepola, E., Muhli, A. & Kanninen, A. 2011. *IBM SPSS Statistics Perusteet*. Oulun Yliopisto: Uniprint, Oulu.
- Kauppila, A. M., Kyllönen, E., Ohtonen, P., Hämäläinen, M., Mikkonen, P., Laine, V., Siira, P., Mäki-Heikkilä, E., Siltonen, H., Leppilahti, J. & Arokoski, J. Multidisciplinary rehabilitation after primary total knee arthroplasty: a randomized controlled study of its effects on functional capacity and quality of life. *Clinical Rehabilitation* 24, 398-411.
- Kellis, E. & Katis, A. 2007. Biomechanical Characteristics and Determinants of Instep Soccer Kick. *Journal of Sports Science and Medicine* 6, 154–165.
- Keski-Suomen sairaanhoitopiiri. 2015. Tutkimuseettinen toimikunta. Viitattu 10.11.2019. [https://www.ksshp.fi/fiFI/Ammattilaiselle/Tieteellinen\\_toiminta/Tutkimuseettinen\\_toimikunta](https://www.ksshp.fi/fiFI/Ammattilaiselle/Tieteellinen_toiminta/Tutkimuseettinen_toimikunta)
- Ketokivi, M. 2009. *Tilastollinen päättely tieteellisenä argumenttina*. Helsinki: Gaudeamus.
- Kettunen, J., Salo, P., Ulaska, M., Kangas, H. & Ahtola, S. 2013. Polven ja lonkan nivelrikon fysioterapia. Hyvä fysioterapiakäytäntö. *Suomen Fysioterapeutit*. Viitattu 24.9.2019. [https://www.terveysportti.fi/dtk/sfs/avaa?p\\_artikkeli=sfs00001#s11](https://www.terveysportti.fi/dtk/sfs/avaa?p_artikkeli=sfs00001#s11)
- Kim, J., Nelson, C. H. & Lotke, P. A. 2004. Stiffness after total knee arthroplasty: prevalence of complication and outcome of revision. *Journal of Bone Joint Surgery* 86, 1479–1484.
- König, A., Walther, M., Kirschner, S. & Gohlke, F. 2000. Balance sheets of knee and functional scores 5 years after total knee arthroplasty for osteoarthritis: a source for patient information. *The Journal of Arthroplasty* 15, 289-94.

- Koskela, J. 2016. Seikkailupelien käyttöliittymien kehitys. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, Tietojärjestelmätiede, kandidaatin tutkielma.
- Kosonen, J. 2017. Digitalisaatio ja ikääntyneet ihmiset palvelujen käyttäjinä. Opinnäytetyö. Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma. Haaga-Helia ammattikorkeakoulu. Helsinki.
- Kraus, V. B., Sprow, K. E. Powell, D., Buchner, B., Bloodgood, K. P., George, S. M. & Kraus, W. E. For the 2018 physical activity guidelines advisory committee. 2019. Effects of Physical Activity in Knee and Hip Osteoarthritis: A Systematic Umbrella Review. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 51, 1324–1339.
- Kurosaka, M., Yoshiya, S., Mizuno, J. & Yamamoto, T. 2002 Maximizing knee flexion after total knee arthroplasty: the need and the pitfalls. *Journal of Arthroplasty* 17, 59.
- Lamb, K. L., Eston, R.G. & Corns, D. 1999. Reliability of ratings of perceived exertion during progressive treadmill exercise. *British Journal of Sports Medicine* 33, 336–339.
- Laskin, RS. & Beksac, B. 2004. Stiffness after total knee arthroplasty. *Journal of Arthroplasty* 4: 41–46.
- Laubenthal, K. N., Smidt, G. L. & Kettelkamp, D. B. 1972. A quantitative analysis of knee motion during activities of daily living. *Physical Therapy* 52, 34–43.
- Lee, M., Suh, D., Son, J., Kim, J., Eun, S.D. & Yoon, B. 2016. Patient perspectives on virtual reality-based rehabilitation after knee surgery: Importance of level of difficulty. *Journal of Rehabilitation Research & Development* 53, 239-52.
- Markkula, M. 2011. Kinect-sensori sovelluskehityksessä. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Tietotekniikan koulutusohjelma. Insinöörityö.
- Martin-Martinez, JP., Villafaina, S., Collado-Mateo, D., Perez-Gomez, J. & Gusi, N. 2019. Effects of 24-week exergame intervention on physical function under single- and dual-task conditions in fibromyalgia: A randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 00, 1–8.
- Masaracchio, M., Hanney, W. J., Liu, X., Kolber, M. & Kirker, K. 2017. Timing of rehabilitation on length of stay and cost in patients with hip or knee joint arthroplasty: A systematic review with meta-analysis. *PLoS ONE* 12(6).
- Maykut, J. N., Taylor-Haas, J. A., Paterno, M. V., DiCesare, C. A., & Ford, K. R. 2015. Concurrent validity and reliability of 2d kinematic analysis of frontal plane motion during running. *International Journal of Sports Physical Therapy* 10, 136–146.

- McGinn, T. L., Etcheson, J. I., Gwam, C. U., George, N. E., Mohamed, N. S., Mistry, J. B., Ananaba, U. & Bhave, A. 2018. Short-term outcomes for total knee arthroplasty patients with active extension lag. *Annals of Translational Medicine* 204.
- Millington, I. & Funge, J. 2006. *Artificial intelligence for games*. Morgan Kaufmann Publishers.
- Minns Lowe, C., Barker, K., Dewey, M. & Sackley, C. 2007. Effectiveness of physiotherapy exercise after knee arthroplasty for osteoarthritis: systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ* 335(7624).
- Mortensen, J., Kristensen, LQ., Brooks, EP. & Brooks, AL. 2015. Women with fibromyalgia's experience with three motion-controlled video game consoles and indicators of symptom severity and performance of activities of daily living. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology* 10, 61-66.
- Mueller, F., Edge, D., Vetere, F., Gibbs, M. R., Agamanolis, S., Bongers, B., & Sheridan, J. G. 2011. Designing sports: a framework for exertion games. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*, 2651-2660.
- Muller, SA., Vavken, P. & Pagenstert, G. 2015. Simulated Activity But Real Trauma: A Systematic Review on Nintendo Wii Injuries Based on a Case Report of an Acute Anterior Cruciate Ligament Rupture. *Medicine* 94.
- Munro A, Herrington L, Carolan M. 2012. Reliability of 2-dimensional video assessment of frontal-plane dynamic knee valgus during common athletic screening tasks. *Journal of Sport Rehabilitation* 21, 7-11.
- OECD. 2017. Hip and knee replacement. In: *Health at a glance 2017: OEC indicators*. Paris: OECD Publishing; 2017.
- Oh, Y. & Yang, S. 2010. Defining exergames & exergaming. Conference Paper. *Meaningful Play 2010*.
- Pendleton, A., Arden, N. & Dougados, M. 2000. EULAR recommendations for the management of knee osteoarthritis: report of a task force of the Standing Committee for International Clinical Studies Including Therapeutic Trials (ESCISIT) *Annals of the Rheumatic Diseases* 59, 936-944.
- Petterson, SC., Barrance, P., Marmon AR, Handling T, Buchanan TS and Snyder-Mackler L. 2011. Time course of quad strength, area, and activation after knee arthroplasty and strength training. *Medical Science Sports Exercise* 43, 225-231.

- Polvi- ja lonkkanivelrikko. Käypä hoito -suositus. Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin ja Suomen Ortopediyhdistys ry:n asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen Lääkäri-seura Duodecim, 2018 (viitattu 1.11.2019). Saatavilla internetissä: [www.kaypahoito.fi](http://www.kaypahoito.fi)
- Pompeu J. E., Arduini L. A., Botelho A.R., Fonseca M. B. F., Pompeu S. M. A. A., Torriani-Pasin C., Deutsch J. E. 2014. Feasibility, safety and outcomes of playing Kinect Adventures! TM for people with Parkinson's disease: A pilot study. *Physiotherapy* 100, 162-168.
- Proffitt, R., Marisa Sevick, M., Chien-Yen Chang, C-Y. & Lange, B. 2015. User-Centered Design of a Controller-Free Game for Hand Rehabilitation. *Games for health journal: Research, Development, and Clinical Applications* 4, 620-633.
- Przybylski, A. K., Rigby, C. S., & Ryan, R. M. 2010. A motivational model of videogame engagement. *Review of general psychology* 14, 154.
- Rausch Osthoff, A. K., Niedermann, K., Braun, J., Adams, J., Brodin, N., Dagfinrud, H., Duruoz, T., Esbensen, B. A., Günther, K. P., Hurkmans, E., Juhl, C. B., Kennedy, N., Kiltz, U., Knittle, K., Nurmohamed, M., Pais, S., Severijns, G., Swinnen, T. W., Pitsillidou, I. A., Warburton, L., Yankov, Z. & Vliet Vlieland, T. P. M. 2018 EULAR recommendations for physical activity in people with inflammatory arthritis and osteoarthritis, *Annals of the Rheumatic Diseases* 77:125,1-60
- Rego, P., Moreira, P. M. & Reis. L. P. 2010. Serious games for rehabilitation: a survey and a classification towards a taxonomy. *Proceedings of the 2010 5th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), IEEE*, 1-6.
- Rintala, A., Hakala, S., & Sjögren, T., toim. Etäteknologian vaikuttavuus liikunnallisessa kuntoutuksessa. Järjestelmällinen kirjallisuuskatsaus ja meta-analyysi. Helsinki: Kela, Sosiaali- ja terveysturvan tutkimuksia 145, 2017.
- Robertson, D. Gordon E. *Research methods in biomechanics. Part I - II.* Champaign, IL: Human Kinetics cop. 2014.
- Sadeghi, H., Hakim, MN., Hamid, TA., Amri, SB., Razeghi, M., Farazdaghi, M. & Shakoor, E. 2017. The effect of exergaming on knee proprioception in older men: A randomized controlled trial. *Archives of Gerontology and Geriatrics* 69, 144-150.
- Salanterä, S., Hagelberg, N., Kauppila, M. & Närhi, M. 2006. *Kivun hoitotyö. 1. p.* Helsinki: WSOY.

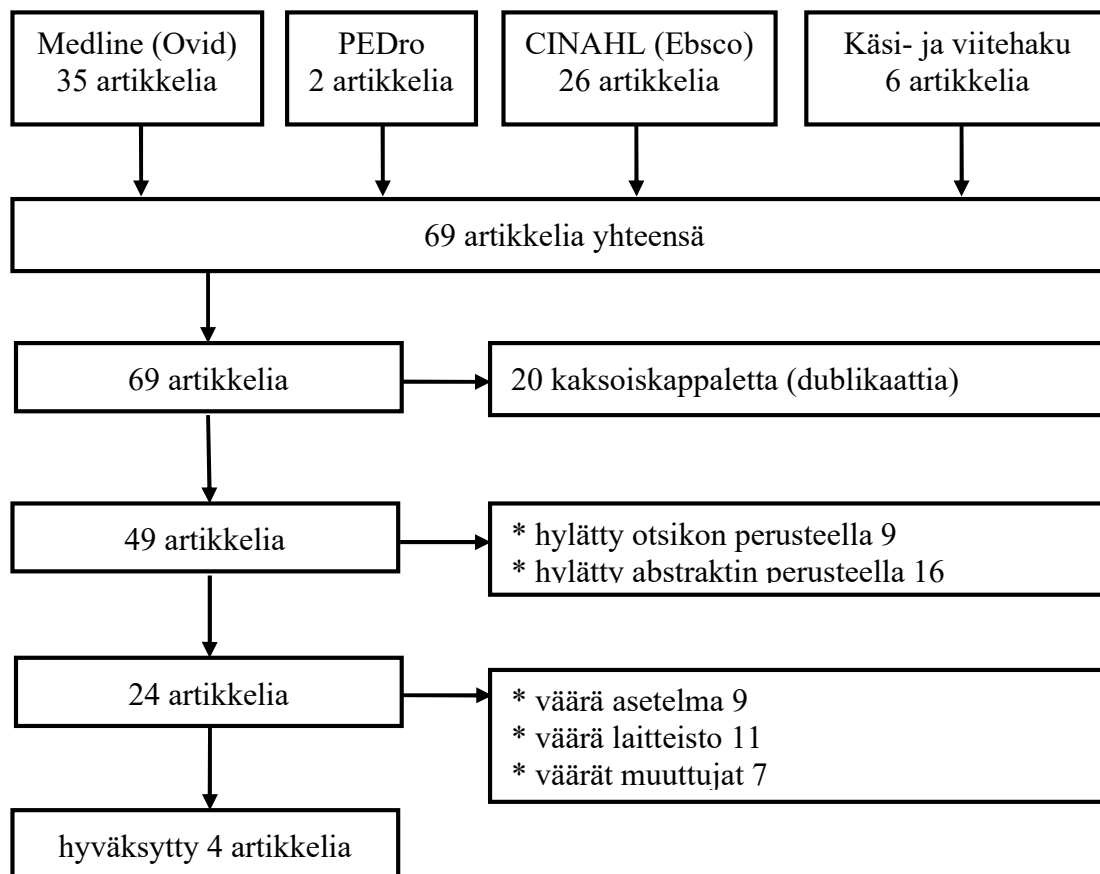
- Santos, G. O. R., Wolf, R., Silva, M. M., Rodacki, A. L. F. & Pereira, G. 2019. Does exercise intensity increment in exergame promote changes in strength, functional capacity and perceptual parameters in pre-frail older women? A randomized controlled trial. *Experimental Gerontology* 116, 25-30.
- Sattler, L. N., Hing, W. A. & Vertullo, C. J. What is the evidence to support early supervised exercise therapy after primary total knee replacement? A systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders* 29.
- Schreven, S., Beek, P. J. & Smeets, J. B. J. 2015. Optimising filtering parameters for a 3D motion analysis system. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 25, 808–814.
- Schurr, S. A., Ashley, N., Marshall, A. N., Resch, J. E. & Saliba, S. A. 2017. Two-dimensional video analysis is comparable to 3d motion capture in lower extremity movement assessment. *International Journal of Sports Physical Therapy* 12, 163-172.
- Scuderi, G. R. 2005. The stiff total knee arthroplasty: casualty and solution. *Journal of Arthroplasty* 4, 23–26
- Sinclair, J., Hingston, P., & Masek, M. 2007. Considerations for the design of Exergames. *Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australia and Southeast Asia (GRAPHITE '07)*, 289-295.
- Skjæret-Maroni, N., Vonstad, EK., Ihlen, EAF., Tan, X-C., Helbostad, JL. & Vereijken, B. 2016. Exergaming in Older Adults: Movement Characteristics While Playing Stepping Games. *Frontiers in Psychology* 7:964.
- Skoffler, B., Dalgas, U. & Mechlenburg, I. 2015. Progressive resistance training before and after total hip and knee arthroplasty: a systematic review. *Clinical Rehabilitation* 29, 14-29.
- Soininen, J. V., Paavolainen, P. O. & Gronblad, M. A. 2008. Validation study of a Finnish version of the Western Ontario and McMaster University osteoarthritis index. *Hip International* 18, 108-111
- Soltani, P., Figueiredo, P., Fernandes, R. J. & Vilas-Boas, J. P. 2016. Do player performance, real sport experience, and gender affect movement patterns during equivalent exergame? *Computers in Human Behavior* 63, 1-8.
- Soltani, P., Figueiredo, P., Fernandes, R. J. & Vilas-Boas, J. P. 2017. Muscle activation behavior in a swimming exergame: Differences by experience and gaming velocity. *Physiology & Behavior* 181, 23–28.

- Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus STM. 2019. Digitalisaatio. Viitattu 18.11.2019. <https://stm.fi/digitalisaatio>
- Stone, E. E. & Skubic, M. 2013. Unobtrusive, continuous, in-home gait measurement using the Microsoft Kinect. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 60, 2925–2932.
- Suomen Artroplastiayhdistys. 2015. Hyvä hoito lonkan ja polven tekonivelkirurgiassa 2015.
- Suomen Lääkärilehti. 1993. Nivelten liikkeiden mittaaminen. 3/93. Vuosikerta 48. Eri painos, 1-20.
- TENK (Tutkimuseettinen neuvottelukunta). 2012. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausten käsitteleminen. Helsinki: Tutkimuseettinen neuvottelukunta.
- THL. Terveystieteiden tutkimuskeskus. 2018. Lonkan ja polven tekonivelet 2018. Viitattu 5.10.2019. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201801302540>
- Tilastokeskus. 2018. Väestön tieto- ja viestintäteknologian käyttö. Viitattu 10.11.2019. [https://www.stat.fi/til/sutivi/2018/sutivi\\_2018\\_2018-12-04\\_fi.pdf](https://www.stat.fi/til/sutivi/2018/sutivi_2018_2018-12-04_fi.pdf).
- Turku AMK. 2018. Business Ecosystems in Effective Exergaming (BEE). Viitattu 30.9.2018. Saatavissa: <https://www.turkuamk.fi/fi/tutkimus-kehitys-jainnovaatiot/haeprojekteja/business-ecosystems-effective-exergaming-bee/>
- Valtioneuvoston kanslia. 2019. Pääministeri Antti Rinteen hallituksen ohjelma. Osallistava ja Osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Viitattu: 6.11.2019. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161662>
- vanDiest, M., Stegenga, J., Wörtche, H., Postema, K., Verkerke, G. & Lamoth, C. 2014. Suitability of Kinect for measuring whole body movement patterns during exergaming. *Journal of Biomechanics* 47, 2925-2932.
- Varsinais-Suomen sairaanhoitopiiri. 2015. Polven tekonivelleikkaus. Ohjeita leikkaukseen tulevalle potilaalle. Tyks Tules-toimialue.
- Vuorenmaa, M., Ylinen, J., Piitulainen, K., Salo, P., Kautiainen, H., Pesola, M. & A. Häkkinen 2014. Efficacy of a 12-month monitored home exercise programme compared with normal care commencing 2 months after total knee arthroplasty: a randomized controlled trial. *Journal of Rehabilitation Medicine* 46, 166-72.
- Wewers, M. E. & Lowe, N. K. 1990 A critical review of visual analogue scales in the measurement of clinical phenomena. *Research in Nursing & Health* 13, 227-36.
- WOMAC-indeksin mittausominaisuudet. Käypä-hoito suositus. Helsinki: Suomalainen Lääkäri-seura Duodecim, 2012. Viitattu 5.11.2019. [www.kaypahoito.fi](http://www.kaypahoito.fi)



- Wylde, V., Dennis, J., Goberman-Hill, R. & Beswick, A. D. 2018. Effectiveness of postdischarge interventions for reducing the severity of chronic pain after total knee replacement: systematic review of randomised controlled trials. *BMJ Open* 28.
- Zheng, L., Li, G., Wang, X., Yin, H., Jia, Y., Leng, M., Li, H. & Chen, L. 2019. Effect of exergames on physical outcomes in frail elderly: a systematic review. *Aging Clinical and Experimental Research* 13, 1-14.

# LIITE 1



Hakusanat
exergame AND motio*
((exergame) OR rehabilitation games) AND motion analysis
exergame AND electromyography
exergame AND biomechanics

## LIITE 2

<b>Tutkijat, vuosi</b>	<b>Pelilaitteisto</b>	<b>Menetelmät</b>	<b>N =(naiset/miehet)</b>	<b>Ikä</b>	<b>Muuttujat</b>	<b>Tulokset</b>
Skjæret-Maroni ym. 2016	Microsoft Kinect askelluspelejä	3D-liikeanalyysi Oqus Motion Capture System	n = 20 (8/12)	65-90	askelnopeus, pituus ja frekvenssi	erilaiset pelinopeudet ja tasot vaikuttavat liikkeisiin ja liikkumiseen kuntoutuspeleissä
Soltania ym. 2017	Microsoft Kinect uintipeli	3D-liikeanalyysi Oqus Motion Capture System	n = 30 (0/30)	ka: 24,2 ±3,1	EMG-aktiivisuus %MVIC (maximum voluntary isometric contraction)	lihasaktiivisuudet ovat riippuvaisia suorituksen liikenopeudesta
Soltani ym. 2016	Microsoft Kinect uintipeli	3D-liikeanalyysi Oqus Motion Capture System	n = 36 (11/35)	ka: 27,3 ±7,2	ylävartalon muuttujat (nopeus, asento, nivelkulmat, ylävartalon kierto)	pelikokemus vaikuttaa menestymiseen positiivisesti
Duclos ym. 2012	Nintendo Wii Fit kävely, tasapainopelejä	3D-liikeanalyysi Optotrak 3020 system (Northern Digital Inc.)	n = 7 (5/2)	ka: 66,0 ±4,4	tasapaino	pelaaminen vaatii vähemmän tasapainoa kuin nopea kävely

# LIITE 3

## Mittausprotokolla

	Alkoi	Päätyi
MVC		
MVC		
MVC		
<b>Harjoitus</b>	<b>Alkoi</b>	<b>Päätyi</b>
1. selinmakuulla nilkat		
2. selinmakuulla polvet		
3. selinmakuulla liutus		
4. selinmakuulla rulla		
5. selinmakuulla suorana		
6. istuen fleksio		
7. istuen ekstensio		
8. varpaille nousu		
9. askel eteen		
10. seisten fleksio		
<b>Peli</b>	<b>Alkoi</b>	<b>Päätyi</b>
11. soutupeli		
12. cave game		
13. intruders		
14. squat pong		
15. pick up		
16. bubble		
17. hat trick		
19. toy golf		
18. hiking		
20. brick		

## LIITE 4

### Kuormitusmittauksien liikelaaajuus ekstensio- ja fleksiosuuntaan.

	Ekstensiosuunta [astetta]			Fleksiosuunta [astetta]		
	Cave	Intruders	Ojennus istuen	Rowing	Koukistus seisten	Koukistus istuen
Keskiarvo (keskihajonta)	15,5 (±3,4)	14,2 (±6,8)	12,4 (±3,9)	89,2 (±11,4)	86,0 (±12,3)	92,8 (±13,0)
Alue	8,5	17,2	11,5	35,3	35,7	38,8
Minimi	11,0	3,9	7,5	74,7	71,5	70,0
Maksimi	19,5	21,1	19,0	110,0	107,2	108,8
IQR (interkvartiiliväli)	7,4	13,4	7,4	15,5	20,5	22,8
Luottamusväli 95%	[11,4, 19,0]	[7,0, 21,3]	[8,5, 17,2]	[78,6, 103,0]	[74,6, 100,8]	[77,4, 107,1]
p-arvo <sup>1</sup>	p = 0,309			p = 0,028		
p-arvo <sup>2</sup>	p = 0,686			p = 0,028		
	p = 0,345			p = 0,034		
	p = 0,028			p = 0,310		

<sup>1</sup> Koko mallin testaaminen suoritettu Friedman – testillä

<sup>2</sup> Pelien ja harjoitusten väliset parivertailut suoritettu Wilcoxon Signed Rank -testillä

### Kuormitusmittauksien kulmanopeus ekstensio- ja fleksiosuuntaan.

	Ekstensiosuunta [astetta/s]			Fleksiosuunta [astetta/s]		
	Cave	Intruders	Ojennus istuen	Rowing	Koukistus seisten	Koukistus istuen
Keskiarvo (keskihajonta)	15,6 (±7,6)	50,5 (±22,2)	23,1 (±13,0)	84,1 (±36,4)	21,0 (±12,0)	15,9 (±9,6)
Alue	18,2	65,4	37,3	106,5	34,4	26,0
Minimi	10,2	21,9	12,0	23,4	9,7	3,1
Maksimi	28,4	87,2	49,3	129,9	44,1	29,1
IQR (interkvartiiliväli)	15,2	34,1	18,4	63,2	16,7	14,6
Luottamusväli 95%	[7,5, 24,7]	[27,2, 73,8]	[11,2, 38,8]	[50,4, 117,7]	[10,0, 32,1]	[7,0, 24,7]
p-arvo <sup>1</sup>	p = 0,016			p = 0,002		
p-arvo <sup>2</sup>	p = 0,028			p = 0,018		
	p = 0,046			p = 0,128		
	p = 0,176			p = 0,018		

<sup>1</sup> Koko mallin testaaminen suoritettu Friedman – testillä

<sup>2</sup> Pelien ja harjoitusten väliset parivertailut suoritettu Wilcoxon Signed Rank -testillä

### Kuormitusmittausten kulmakertymä ekstensio- ja fleksiosuuntaan.

	Ekstensiosuunta [astetta/min]			Fleksiosuunta [astetta/min]		
	Cave	Intruders	Ojennus istuen	Rowing	Koukistus seisten	Koukistus istuen
Keskiarvo (keskihajonta)	1558 (±738)	2959 (±975)	1922 (±829)	4059 (±1932)	2161 (±463)	1039 (±393)
Alue	1900	2757	2284	5591	1116	937
Minimi	980	1983	1018	1957	1590	619
Maksimi	2880	4740	3302	7548	2706	1556
IQR (interkvartiiliväli)	1211	1339	1426	3030	920	843
Luottamusväli 95%	[859, 2450]	[1936, 3981]	[1237, 2908]	[2276, 6392]	[1769, 2715]	[589, 1493]
p-arvo <sup>1</sup>	p = 0,223			p = 0,001		
p-arvo <sup>2</sup>	p = 0,075			p = 0,018		
	p = 0,116			p = 0,018		
	p = 0,398			p = 0,018		

<sup>1</sup> Koko mallin testaaminen suoritettu Friedman – testillä

<sup>2</sup> Pelien ja harjoitusten väliset parivertailut suoritettu Wilcoxon Signed Rank -testillä