

Jaakko Häkkinen

**KÄYTTÖLIITTYMÄLAITTEET AUTISMIKIRJON KUN-
TOUTUKSEEN SUUNNITELLUISSA LAAJENNETUN
TODELLISUUDEN JÄRJESTELMISSÄ**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2022

TIIVISTELMÄ

Häkkinen, Jaakko

Käyttöliittymälaitteet autismikirjon kuntoutukseen suunnitelluissa laajennetun todellisuuden järjestelmissä

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2022, 31 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma

Ohjaaja(t): Halttunen, Veikko

Autismikirjon häiriön esiintyvyys on jopa viisitoista henkeä kymmentä tuhatta kohden. Vaikka parannuskeinoa autismille ei ole, voidaan siihen liittyviä oireita kuntouttaa. Perinteisien kuntoutuskeinojen lisäksi kuntoutukseen on kehitetty lukuisia laajennettuun todellisuuteen perustuvia järjestelmiä. Laajennettu todellisuus jaetaan virtuaalitodellisuuteen, lisättyyn todellisuuteen ja tehostettuun todellisuuteen. Se mahdollistaa interaktiivisten ja vaihtelevasti immerstiivisten tilanteiden ja maailmojen kokemisen. Laajennetun todellisuuden järjestelmät tarjoavat autismikirjon häiriön kuntoutukseen turvallisen ja kontrolloitavan alustan, jossa kuntoutusta voidaan suorittaa. Lisäksi tämä on perinteiseen terapiaan nähden kustannustehokas kuntoutustapa. Tämän tutkielman tavoite on kartoittaa, millaisia virtuaalitodellisuusjärjestelmiä ja lisätyn todellisuuden järjestelmiä viime vuosina on kehitetty autismikirjon henkilöiden kuntoutukseen. Erityisesti järjestelmiä tarkastellaan käyttöliittymälaitteiden näkökulmasta. Tutkielma antaa yleiskuvaa siitä, mitä laitteita näissä järjestelmissä tyypillisesti käytetään ja mihin kuntoutuksen kohteeseen nämä järjestelmän kohdistuvat. Tarkastellut laajennetun todellisuuden järjestelmät on etsitty IEEE xploresta ja ne on julkaistu vuodesta 2012 lähtien. Järjestelmissä käytetyt käyttöliittymälaitteet on eritelty taulukkoon sisääntulo ja ulostulolaitteisiin. Taulukoissa esitetään myös jokaisen järjestelmän tarkempi kuntoutuskohde ja VR-järjestelmien kohdalla neliasteisella asteikolla niiden immerssiivisyys. Tutkielman tulokset antavat kuvaa siitä, millaisia käyttöliittymälaitteita autismin kuntoutukseen suunnitelluissa VR- ja AR-järjestelmissä käytetään, mitä oireita niillä kuntoutetaan ja miten tarkasteltujen VR-järjestelmien fyysinen immerssiivisyys vaihtelee.

Avainsanat: laajennettu todellisuus, virtuaalitodellisuus, lisätty todellisuus, autismikirjon häiriöt, kuntoutus, käyttöliittymälaitteet

ABSTRACT

Häkkinen, Jaakko

User interface devices in extended reality systems for autism spectrum disorder rehabilitation

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2022, 31 pp.

Information Systems, Bachelor's Thesis

Supervisor(s): Halttunen, Veikko

Autism spectrum disorder affects up to fifteen people out of ten thousand. Even though there is no remedy for autism, its symptoms can be rehabilitated. Alongside of traditional ways of rehabilitation, numerous extended reality based systems have been developed. Extended reality is divided into virtual reality, augmented reality and mixed reality. Extended reality allows for experiencing interactive and varying immersive situations and worlds. Extended reality based systems offer autism spectrum disorder rehabilitation safe and controllable environments. Additionally, the costs are lower compared to traditional forms of rehabilitation. The purpose of this thesis is to chart what kinds of extended reality based systems have been developed for autism spectrum disorder rehabilitation in recent years. The systems are examined especially from a user interface device perspective. This thesis presents a general view of what devices are used in the systems under examination and what symptoms these systems target. The systems under examination have been searched from IEEE explore and have been published since the year 2012. The user interface devices used in these systems are divided into input and output devices and put into a table. The table also includes the system's target of rehabilitation and regarding the VR systems, their immersiveness. This thesis provides a view of user interface devices used in both VR and AR systems designed for rehabilitation of autism. It also displays how immersiveness fluctuates among the VR systems under examination.

Keywords: extended reality, virtual reality, augmented reality, autism spectrum disorder, rehabilitation, user interface devices

TAULUKOT

TAULUKKO 1 Käyttöliittymälaitteet ASD:n kuntoutukseen suunnitelluissa VR-järjestelmissä 20

TAULUKKO 2 Käyttöliittymälaitteet ASD:n kuntoutukseen suunnitelluissa AR-järjestelmissä 24

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

TAULUKOT

1	JOHDANTO.....	6
2	LAAJENNETTU TODELLISUUS	8
	2.1 Virtuaalitodellisuus	9
	2.2 Lisätty todellisuus.....	10
3	KÄYTTÖLIITTYMÄLAITTEET JA AUTISMI.....	12
	3.1 Käyttöliittymälaitteet VR- ja AR-järjestelmissä.....	12
	3.1.1 Näköaistia hyödyntävät output-laitteet.....	13
	3.1.2 Kuuloaistia ja muita aisteja hyödyntävät output-laitteet.....	13
	3.1.3 Input-laitteet.....	14
	3.2 Immersio	15
	3.3 Autismikirjon häiriöt.....	16
	3.3.1 Autismikirjon määrittely	16
	3.3.2 Autismikirjon häiriöiden aiheuttamat vaikeudet.....	16
4	KÄYTTÖLIITTYMÄLAITTEET ASD:N KUNTOUTUKSEEN SUUNNITELLUISSA XR-JÄRJESTELMISSÄ.....	18
	4.1 Taulukoiden jaottelut	18
	4.2 Järjestelmien tarkastelu	19
	4.2.1 VR-järjestelmät.....	20
	4.2.2 VR-järjestelmien käyttöliittymälaitteet ja kuntoutuksen kohde.....	22
	4.2.3 VR-järjestelmien fyysinen immersio.....	23
	4.2.4 AR-järjestelmät	24
5	YHTEENVETO	26
	LÄHTEET	28

1 JOHDANTO

Laajennetun todellisuuden (englanniksi *extended reality*, XR) teknologiat, kuten virtuaalitodellisuus (englanniksi *virtual reality*, VR), lisätty todellisuus (englanniksi *augmented reality*, AR) ja tehostettu todellisuus (englanniksi *mixed reality*, MR) tarjoavat teknologian kautta mahdollisuuden interaktiivisten, vaihtelevasti immerstiivisten ja kokonaan tai osittain virtuaalisten kokemusten kokemiselle (Craig, 2013 s. 16; Greengard, 2019 s. 7-8; Sherman & Craig, 2003 s. 13). VR, AR ja MR eroavat toisistaan siinä, miten virtuaalisia elementtejä ja fyysisen ympäristön elementtejä yhdistellään.

Digitaalisella informaatiolla laajennetut kokemukset edellyttävät laitteita, joilla aisteja stimuloidaan tarkoituksenmukaisesti. Esimerkiksi videopelaamiseen suunnatuissa VR-järjestelmissä suosittuja laitteita ovat päässä pidettävät näyttölaitteet eli niin sanotut ”head-mounted displayt” (HMD), jotka kattavat käyttäjän koko näkökentän, jolloin voidaan digitaalisesti määrittää kaikki informaatio, joka käyttäjän verkkokalvoille heijastuu (Boas, 2013).

Laajennettua todellisuutta hyödynnetään nykyään monissa teknologioissa. Sitä voi löytää esimerkiksi elokuvateatterista, videopeleistä, autoista ja älypuhelimista (Greengard, 2019, s. 5). Laajennettua todellisuutta on hyödynnetty viihdekäytön lisäksi myös esimerkiksi terveydenhuollossa ja pedagogisissa kohteissa. Yksi käytön kohteista on autismikirjolla olevien ihmisten kuntouttaminen.

Autismikirjon häiriöiden (englanniksi *autism spectrum disorder*, ASD) oireisiin kuuluvat tyypillisesti vaikeudet sosiaalisen kanssakäymisen ja vastavuoroisuuden aloittamisessa ja ylläpitämisessä. Tämä voi näkyä esimerkiksi verbaalisen ja ei-verbaalisen viestinnän ymmärtämisen ja käytön vaikeutena, sosiaaliselle kontekstille epätyypillisenä käytöksenä tai vaikeutena ymmärtää toisten tunteita ja aikomuksia. ASD-henkilöille on tyypillisiä myös toistuvat poikkeuksellisen jäykät käyttäytymismallit, kuten sääntöjen tiukka noudattaminen tai tiettyjen rituaalimaisten toimintojen suorittaminen ja aistien yli- tai aliherkkyys. (Maailman terveysjärjestö, 2019)

ASD-henkilöiden kuntouttamiseksi on varsinkin viime vuosina kehitetty lukuisia eri laajennetun todellisuuden ratkaisuja. Vielä vuonna 2008 VR:n kohdalla kirjallisuus keskittyi enemmän VR:n potentiaaliin ASD-henkilöiden

kuntoutuksessa, kuin osoitettuihin hyötyihin (Parsons & Cobb, 2011), mutta vuoteen 2018 mennessä VR:n suosio ASD-henkilöiden koulutuksessa ja kuntoutuksessa oli ollut nousussa, ja useat tutkimukset esittivät saavutettuja hyötyjä (Bozgeyikli, Raji, Katkooori & Alqasemi, 2018). Myös AR-ratkaisuiden kehitys ja käyttö ovat lisääntyneet viime vuosina (Berenguer, Baixauli, Gómez, Andrés & De Stasio, 2020).

Tämän tutkielman tavoite on selvittää miten XR:ää hyödynnetään ASD-henkilöiden kuntoutuksessa tänä päivänä ja millaisia käyttöliittymälaitteita näissä järjestelmissä käytetään. Lisäksi tarkastellaan VR-järjestelmien immersii-visyyden tasoja. MR:n käyttö ASD:n kuntoutuksessa on AR:ään ja VR:ään verrattuna vähäistä, joten se on rajattu ulos tarkastelusta. Tutkielman tutkimuskysymykset ovat:

- Millaisia ASD:n kuntoutukseen suunnitellut järjestelmät ovat käyttöliittymälaitteiden näkökulmasta?
- Miten ASD:n kuntoutukseen suunniteltujen VR-järjestelmien immersii-visiivisyys vaihtelee?

Tutkielma suoritetaan kirjallisuuskatsauksena. Tässä tutkielmassa tarkastellut XR-järjestelmät on etsitty IEEE Xploresta. Hakusanoina on käytetty "virtual reality" AND "autism" ja "augmented reality" AND "autism". Saaduista hakutuloksista valittiin vuodesta 2012 alkaen julkaistut aikakauslehtiartikkelit ja konferenssiartikkelit, jotka lisäksi rajattiin lainausten perusteella siten, että niissä on siteerauksia julkaisuvuodesta lähtien keskimäärin kaksi vuodessa ja siten, että jokaisessa on yhteensä ainakin kymmenen siteerausta. Rajatuista artikkeleista valittiin ne englanninkieliset artikkelit, jotka esittävät jonkin VR- tai AR-pohjaisen ratkaisun ASD-henkilöiden kuntouttamiseksi.

Muiden lähteiden kohdalla on suosittu julkaisuja, joiden JUFO-luokitus on vähintään 2. Aihepiirin ollessa nopeasti kehittyvä, on myös suosittu uudempia lähteitä. Vanhempia lähteitä on tarvittaessa käytetty, mikäli niiden sitaattimäärät ovat merkittäviä ja tieto ei vaikuta vanhentuneelta.

Tutkielman ensimmäisessä käsittelyluvussa käydään läpi XR:ää ja sen sisältämää VR:ää ja AR:ää. Toisessa luvussa käsitellään VR- ja AR-järjestelmissä käytettäviä käyttöliittymälaitteita ja lopuksi ASD:tä ja siihen liittyviä oireita. Kolmannessa käsittelyluvussa käydään taulukoiden avulla läpi tarkastelluissa järjestelmissä käytettyjä käyttöliittymälaitteita ja VR-järjestelmien immersii-visyyden eroja. Lopuksi yhteenvedossa tiivistetään tulokset ja käydään läpi tutkielman rajoitteita ja tulevaisuuden tutkimussuuntia.

2 LAAJENNETTU TODELLISUUS

Sherman ja Craig (2003) ja Craig (2013) käsittelevät virtuaalitodellisuutta (VR) ja lisättyä todellisuutta (AR) viestintävälineinä, eivätkä vain teknologioina, kuten ne usein ymmärretään. Tämä antaa syvyyttä niiden tarkasteluun ja auttaa ymmärtämään niiden suhdetta muihin tapoihin välittää informaatiota. Siksi tässä tutkielmassa AR:ää ja VR:ää käsitellään ensisijaisesti viestintävälineinä.

Laajennetun todellisuuden kehitys sen nykyiseen tilaan on monivaiheinen, ja sen voidaan katsoa olleen läsnä pitkälti kautta koko ihmisen historian, vaikka tietotekninen komponentti tulikin osaksi sitä vasta 1900-luvulla. Laajennetun todellisuuden alaiset VR ja AR, kuten monet taiteen ja viihteen esittämistavat, kuten kuvataide, teatteri, taikuriesitykset, elokuvat ja videopelit pyrkivät viestimään vastaanottajille kuvia maailmoista, joita he eivät muuten tulisi kokeneiksi. Sherman ja Craig (2003) kutsuvat näitä koettuja maailmoja virtuaalisiksi maailmoiksi. Jos laajennetun todellisuuden kehitykseen katsotaan kuuluvaksi kaikki virtuaalisten maailmojen esittämistapojen kehitys, voidaan sen sanoa olevan yhtä pitkä kuin ihmishistorian. Greengard (2019, s. 1, 10) nostaa esimerkkeinä merkittävistä virtuaalisista maailmoista viestivistä teoksista kalliomaalaukset, optiset illuusiot ja niin sanotut mahdottomat piirustukset, joista muun muassa M. C. Escher oli tunnettu.

Tietokoneiden ilmestymisen jälkeen alettiin pohtia sitä, mitä kaikkea tietokoneet jonain päivänä tulisivat mahdollistamaan laajennetun todellisuuden saralla. Yksi tällaisista pohdinnoista on Ivan Sutherlandin (1965) artikkeli ”The Ultimate Display”, jossa hän miettii sen aikaisten tietokoneen syöttö- ja ulostulolaitteiden mahdollisuuksia ja heikkouksia, sekä mahdollisten tulevaisuuden laitteiden ominaisuuksia. Vuonna 1968 Sutherland rakensi yhden ensimmäisistä tietokoneavusteisista, päässä pidettävään näyttölaitteeseen (englanniksi ”head-mounted display” eli HMD) perustuvista VR-järjestelmistä, joka tarjosi stereoskooppisen virtuaalinäkymän. Käyttäjän liikuttaessa päätään, kolmiulotteisia objekteja sisältävä maisema pysyi paikallaan, käyttäytyen kuten todellinen fyysinen ympäristökin (Sutherland, 1968). VR:n kehityksen esteenä oli vielä kuitenkin se, että tietokoneet eivät kyenneet tuottamaan grafiikkaa reaaliajassa, kunnes vasta 1980-luvulla (Vince, 2004, s. 4-5).

Tässä tutkielmassa tarkastellut laajennetun todellisuuden teknologiat ja ratkaisut edustavat sitä, mikä yleisesti ymmärretään laajennetuksi todellisuudeksi, eli tietotekniikkaan perustuvia immersivisiä järjestelmiä, eikä esimerkiksi optisia illuusioita tai teatteria. Eriteltyt ratkaisut on julkaistu vuodesta 2012 lähtien ja edustavat pitkälti sitä, mihin teknologia tänä päivänä kykenee.

2.1 Virtuaalitodellisuus

VR on helppo tunnistaa, kun kyseessä on stereotyyppinen VR-järjestelmä, joka hyödyntää HMD:tä ja liiketunnistuksella varustettuja ohjaimia, mutta kun kyseessä on epätyypillisempi VR-järjestelmä, voi olla vaikea sanoa, tulisiko se luokitella VR:ksi vaiko ei? Myös muiden immersivisten ja interaktiivisten viestintävälineiden, kuten videopelien kohdalla luokittelu muuttuu vaikeaksi. Tässä aluluvussa esitellään tutkielmassa käytetty määritelmä VR:lle, sekä havainnollistetaan, missä tämän määritelmän rajat kulkevat.

Tässä tutkielmassa käytetään VR:n määritelmänä Shermanin ja Cragin (2003, s. 13) määritelmää, jonka mukaan VR on viestintäväline, joka koostuu interaktiivisista tietokonesimulaatioista, jotka seuraavat käyttäjän sijaintia ja liikkeitä ja korvaavat tai lisäävät aistitietoa yhteen tai useampaan aistiin, antaen tunteen psyykkisestä immersioista tai läsnäolosta simulaatioissa. Vaikka tämä määritelmä on lähes 20 vuotta vanha, tuntuu se edelleen hyödylliseltä ja sopivalta tämän tutkielman kontekstissa.

VR on siis viestintäväline, jonka kautta on mahdollista kokea tietokoneen simuloima, immersivinen ja interaktiivinen todellisuus, virtuaalinen maailma. Jotta VR:n kautta koettu virtuaalinen maailma voisi olla immersivinen ja interaktiivinen, VR-järjestelmän sisältämien laitteiden on kyettävä stimuloimaan vähintään yhtä ihmisen aistia ja vastaanottamaan jonkinlaista syötettä. (Sherman & Craig, 2003, s. 6, 13)

Esimerkki VR:stä on VR-videopeli, jossa pelaaja seikkailee tietokoneen simuloimassa virtuaalisessa maailmassa, jonka pelaaja aistii näkö- ja kuuloaistiansa avulla hänen päässään olevien VR-lasien ja kuulokkeiden kautta. Pelaaja kykenee vaikuttamaan simuloidussa maailmassa sijaitseviin esineisiin liikuttamalla käsissään olevia liiketunnistuksella varustettuja ohjaimia ja niiden nappeja painamalla. Tässä esimerkissä viestintävälineenä toimii VR-videopeli, jonka sisältämän virtuaalisen maailman käyttäjä kokee hänen näkö- ja kuuloaistejansa stimuloivien VR-lasien ja kuulokkeiden kautta. Syöttölaitteena, jolla pelaaja vuorovaikuttaa virtuaalisen maailman kanssa, toimivat puolestaan käsissä pidettävät liike- ja painikeohjaimet.

Kuuluvatko VR:ään kaikki tavanomaisilla laitteillakin pelatut videopelit, joiden sisältämät tietokoneen simuloimat virtuaaliset maailmat ovat immersivisiä ja interaktiivisia? VR:n raja on häilyvä ja siihen liittyvät laitteet monimuotoisia. Erilaiset VR-järjestelmät eroavat toisistaan myös niitä käytettäessä koetun immersion mukaan. Shermanin ja Cragin (2003) määritelmän mukaan tavanomaisilla laitteilla pelatut videopelit rajaa kuitenkin ulos vaatimus siitä, että VR-

järjestelmä seuraa käyttäjän kehon asentoa ja liikkeitä. Oman kehon liikkeiden näkeminen edustettuna virtuaalisessa maailmassa voidaan nähdä erittäin merkittävänä tekijänä immersion luomisessa, joten on helppo nähdä miksi tavanomaisia videopelejä ei lasketa VR:ksi. Videopelien lisäksi toinen VR:n rajatapaus on täysin immersiiivinen elokuva eli elokuva, jossa käyttäjän kaikki aistit on eristetty fyysisestä maailmasta ja niiden vastaanottama aistitieto on korvattu digitaalisella informaatiolla. Vaikka tällainen elokuva immersion puolesta voitaisiin luokitella kuuluvaksi VR:ään, ei sitä sen interaktiivisuuden puutteen vuoksi voida tehdä.

VR-järjestelmät voidaan Greengardin (2019, s. 7-8) mukaan jakaa kolmeen luokkaan niiden immersiiivisyystasojen perusteella. Ei-immersiiiviset järjestelmät, joissa fyysistä ympäristöä ei täysin eristetä pois, edustavat matalimman immersion tason VR:ää. Osittain immersiiivinen VR käsittää järjestelmät, joissa fyysistä ympäristöä ei täysin eristetä pois, mutta joissa fyysinen ympäristö on osana kokemuksen rakentamista, kuten esimerkiksi lentosimulaattoreissa, joissa ohjaamo on fyysinen, mutta ikkunoiden paikalla olevista näyttölaitteista näkyvät maisevat virtuaalisia. Täysin immersiiivisissä järjestelmissä virtuaalinen maailma eristetään kokonaan fyysisestä. Tällaisissa järjestelmissä käytetään tyypillisesti HMD:itä, jotka peittävät koko näkökentän näköaistia stimuloivalla näytöllä. Myös kuuloaisti voidaan eristää tehokkaasti kuulokkeilla.

2.2 Lisätty todellisuus

AR ja VR jakavat keskenään monia yhtäläisyyksiä, ja usein AR luetaankin VR:n erikoistapaukseksi. Tämän takia nämä käsitteet menevät helposti sekaisin ja niiden välinen raja on epäselvä. Sen vuoksi tässä luvussa käsitellään AR:n määrittelyn lisäksi sitä, miten se eroaa VR:stä. Tämän tarkoituksena on selventää AR:n ja VR:n välistä rajaa.

Craig (2013) määrittelee AR:n interaktiiviseksi viestintävälineeksi, jossa digitaalista informaatiota lisätään reaaliajassa fyysisen ympäristön päälle. Digitaalisesti lisätty informaatio voi olla visuaalista, auditiivista tai jotain muuta aistia stimuloivaa. AR voidaan kokea erilaisten digitaalisten rajapintojen kautta. AR-rajapinnat eivät peitä fyysisestä maailmasta kantautuvia aistiärsyksiä kuten VR, vaan lisää informaatiota niiden päälle. Tästä juontuukin nimi lisätty todellisuus. AR-rajapinnat voidaan jakaa kahteen ryhmään sen mukaan, tuodaanko lisätty informaation ikään kuin fyysisen maailman ja käyttäjän väliin, vai muute taanko fyysisen maailman olennaiset ärsykkeet ensin digitaaliseen muotoon, jonka jälkeen digitaalinen lisätty informaatio yhdistetään niihin. Esimerkki ensimmäisen tyyppisestä rajapinnasta on AR-lasit, joiden läpi käyttäjä näkee fyysisen ympäristön, mutta lasit lisäävät käyttäjän näkökenttään digitaalista visuaalista informaatiota. Myös videoprojektorilla toteutettu AR-järjestelmä kuuluu samaan ryhmään. Esimerkki jälkimmäisen tyyppisestä rajapinnasta on, kun älypuhelin lisää reaaliaikaiseen kameran syötteeseen informaatioita esimerkiksi erilaisten visuaalisten filttien muodossa. Tässä esimerkissä fyysisen ympäristön

visuaalinen informaatio on muutettu älypuhelimien kameran avulla digitaaliseen muotoon ja siihen on visuaalisen filtterin avulla lisätty muuta informaatiota. (Craig, 2013, s. 16-22)

AR eroaa VR:stä siinä, että fyysinen ympäristö on olennainen osa AR:n tarjoamaa kokemusta, kun taas VR pyrkii lähtökohtaisesti minimoimaan fyysisen ympäristön aiheuttamat aistikokemukset, jotta VR:n viestimä virtuaalinen maailma olisi mahdollisimman immersiiivinen. Myös AR:n suhde immersioon on erilainen kuin VR:n, sillä AR:n pohjautuessa fyysiseen maailmaan, on immersion taso lähtökohtaisesti jo korkea, kun taas VR rakentaa immersiota ikään kuin tyhjästä. AR on myös reaaliaikainen suhteessa fyysiseen ympäristöön, VR:n ollessa fyysisestä ympäristöstä kokonaan irrallinen. AR kytkeytyy fyysiseen ympäristöön myös siten, että näkymään digitaalisesti lisätyt objektit omaavat avaruudellisen sijainnin suhteessa fyysiseen maailmaan. Tämä tarkoittaa sitä, että AR-järjestelmän käyttäjän liikuessa kauemmas tai lähemmäs objektia, tai kiertäessä sitä, objekti pysyy paikallaan. Tällöin myös perspektiivi, josta käyttäjä objektin näkee, muuttuu. AR:ää kuvastava interaktiivisuus ilmenee osin juuri perspektiivin vaihtamisessa. Käyttäjä voi sijaintiaan muuttamalla manipuloida sitä, miten näkee digitaaliset objektit. Käyttäjällä voi olla lisäksi myös kyky liikuttaa objekteja, muokata niiden ominaisuuksia, kuten väriä tai kokoa, tai luoda kokonaan uusia objekteja. (Craig, 2013, s. 16-22)

3 KÄYTTÖLIITTYMÄLAITTEET JA AUTISMI

Tässä luvussa esitellään laajennetun todellisuuden järjestelmissä käytettyjä käyttöliittymälaitteita, jaotellen ne aisteittain ja sen mukaan, ovatko ne niin sanottuja "input" (syöte) -laitteita vai "output" (tuloste) -laitteita. Tämän jälkeen esitellään autismikirjon häiriöt ja niihin liittyviä oireita.

3.1 Käyttöliittymälaitteet VR- ja AR-järjestelmissä

Jotta VR- tai AR-järjestelmää olisi mahdollista käyttää, on sen sisällettävä käyttöliittymä eli ne järjestelmän osat, joilla käyttäjä vastaanottaa informaatiota ja joilla hän syöttää järjestelmään informaatiota. Niitä järjestelmän osia, joilla käyttäjä syöttää informaatiota kutsutaan input-laitteiksi ja niitä joilla käyttäjä vastaanottaa informaatiota kutsutaan output-laitteiksi. Käyttöliittymä on myös kriittinen tekijä käyttäjän immersion kannalta. Esimerkkejä käyttöliittymälaitteista riippuvaisista ja immersioon vaikuttavista tekijöistä ovat "field of regard" (FOR) eli se, kuinka suuren kulman käyttäjän ympäriltä virtuaalinen maailma peittää ja "field of view" (FOV) eli se, kuinka suuren kulman käyttäjän näkökentästä leveyssuunnassa virtuaalinen maailma peittää (Sherman & Craig, 2003, s. 128-132). FOR käsittää siis sen alueen koon, jonka käyttäjä voi nähdä katsettaan kääntämällä sivuille, ylös tai alas ja FOV käsittää sen alueen koon, jonka käyttäjä voi nähdä yhdellä kertaa suhteessa näkökentän kokoon.

Shermanin ja Craigin (2003) perspektiivi VR- ja AR-laitteisiin on huomattavan vanha, ja osa kirjassa esitellyistä laitteisiin liittyvistä ongelmista, kuten HMD:tä käytettäessä johtojen häiritsevä vaikutus ja viive käyttäjän sijainnin seuraamisen ja järjestelmän reaktioiden välillä on jo suurin osin ratkaistu. Myöskään uusimpia teknologisia innovaatioita ei kirjassa käsitellä. Kirja antaa kuitenkin kattavan yleiskatsauksen VR-järjestelmissä käytettäviin laitteisiin, joita vielä tänäkin päivänä laajasti käytetään.

3.1.1 Näköaistia hyödyntävät output-laitteet

Sherman ja Craig (2003) ja Craig (2013) jakavat VR- ja AR-järjestelmissä käytettävät visuaaliset output-laitteet paikallaan oleviin, päässä pidettäviin ja kädessä pidettäviin. Paikallaan olevat visuaaliset laitteet ovat kiinteästi osana ympäristöä, eivätkä liiku käytön aikana. Niistä yleinen esimerkki on tietokonenäyttö, joita järjestelmä voi sisältää yhden tai useamman. Yhden näytön puutteena on hyvin rajallinen FOR, ja useaa näyttöä käytettäessä, vaikka FOR on suurempi, näyttöjen väliin jää usein selvät saumat, jotka haittaavat immersiota. (Sherman & Craig, 2003, s. 140-143)

Toinen vaihtoehto paikallaan olevista laitteista on projektori, jolla kuvaa voidaan projisoida valkokankaalle tai AR:n tapauksessa myös fyysiseen maailmaan. Projektoiden etu tietokoneen näyttöihin verrattuna on laajemman FOV:in ja FOR:in saavuttaminen saumattomalla kuvalla. (Craig, 2013; Sherman, s. 143-151 & Craig, 2003, s. 93-97)

Päässä pidettävät visuaaliset laitteet eroavat paikallaan olevista siten, että ne liikkuvat käyttäjän pään liikkeiden mukana. Tämän vuoksi ne siis tarjoavat täydellisen FOR:in. Ne voivat myös laitteesta riippuen tarjota täydellisen FOV:in. Päässä pidettäviä visuaalisia laitteita kutsutaan usein englannin kielisissä materiaaleissa nimellä "head-mounted display" (HMD). HMD:t vaihtelevat ulkomuodoltaan piilolinssistä kypärämäisiin laitteisiin (Craig, 2013, s. 97). VR-käyttötarkoituksessa HMD:t ovat useimmiten koko näkökentän peittäviä visiirimäisiä laitteita.

AR-käyttötarkoituksessa HMD:t puolestaan ovat läpinäkyviä, mikä tarkoittaa sitä, että käyttäjä näkee niiden läpi fyysisen maailman, johon on lisätty digitaalista informaatiota. HMD:n läpinäkyvyys voidaan saavuttaa kahdella tavalla. Joko HMD on optisesti läpinäkyvä, jolloin käyttäjä näkee fyysisen maailman suoraan linssin läpi, joka lisää digitaalisesti näkökenttään informaatiota, tai videoläpinäkyvä, jolloin käyttäjä näkee fyysisestä maailmasta reaaliaikaista videositytettä, johon on lisätty digitaalista informaatiota. (Craig, 2013, s. 97-98)

Kädessä pidettäviä visuaalisia laitteita käytetään tyypillisesti AR-järjestelmissä. Ne ovat pieniä ja kevyitä ja toimivat ikään kuin skannereina, joita käyttäjä voi osoittaa haluamaansa kohdetta päin, jolloin käyttäjä näkee laitteen näytön läpi myös mahdollisen digitaalisesti lisätyn informaation. Tyypillisin esimerkki tällaisesta laitteesta on älypuhelin, joka toimii videoläpinäkyvänä AR-laitteena siten, että käyttäjä näkee sen näytön kautta puhelimen kameran kuvaamaa videokuvaa, johon on lisätty digitaalista informaatiota. (Craig, 2013, s. 100-102; Sherman & Craig, 2003, s. 160)

3.1.2 Kuuloaistia ja muita aisteja hyödyntävät output-laitteet

Kuten visuaaliset output-laitteet, myös auditiiviset eli kuuloaistiin liittyvät laitteet voidaan jakaa paikallaan oleviin, päässä pidettäviin ja kädessä pidettäviin. Paikallaan olevat auditiiviset output-laitteet ovat tyypillisiä kaiuttimia ja päässä pidettävät tyypillisiä kuulokkeita. Kädessä pidettävät ovat tyypillisesti osana kädessä pidettävää visuaalista AR-laitetta, kuten esimerkiksi älypuhelimien kaiutin.

Paikallaan olevat auditiiviset output-laitteet toimivat parhaiten tilanteissa, joissa ympäristön akustiikkaa voidaan säädellä sopivaksi ja ylimääräiset äänet voidaan poistaa tai minimoida. Paikallaan olevien laitteiden etuna on myös se, että käyttäjän ei tarvitse kantaa laitetta. Päässä pidettävät laitteet puolestaan ovat helpommat ottaa käyttöön, ja niiden avulla voidaan helposti eristää ympäristön äänet virtuaalisen maailman äänistä. (Craig, 2013, s. 103-107; Sherman & Craig, 2003, s. 174-177)

Muita aisteja, joita VR- ja AR-järjestelmissä voidaan stimuloida, ovat tuntoaisti, tasapainoaisti ja hajuaisti. Ne ovat kuitenkin näkö- ja kuuloaisteja selvästi harvemmin hyödynnettäviä.

3.1.3 Input-laitteet

Niin AR:lle, kuin VR:llekin on olennaista interaktiivisuus. Sen vuoksi kunkin järjestelmän käyttöliittymän on mahdollistettava käyttäjälle syötteen antaminen. Niitä laitteita, jotka tämän mahdollistavat, käsitellään tässä alaluvussa. Sherman ja Craig (2003, s. 75-76) jakavat syötelaiteet käyttäjän liikettä seuraaviin ja maailmassa tapahtuvia ilmiöitä seuraaviin. Käyttäjää seuraavat laitteet seuraavat reaaliajassa käyttäjän toimintaa, liikkeitä ja asentoja. Maailmaa seuraavat laitteet keräävät reaaliajassa tietoa käyttäjään liittymättömistä fyysisen maailman kohteista, kuten esimerkiksi säästä tai liikenteestä.

Käyttäjän kehon sijainnin ja asennon seuranta on tärkeä osa VR-järjestelmiä. Se voidaan toteuttaa muun muassa kiinnittämällä käyttäjän kehoon antureita, jotka viestivät sijaintiaan ja asentoaan VR-järjestelmälle. Esimerkiksi HMD:ssä olevan sijaintianturin avulla järjestelmä osaa esittää käyttäjälle kuvaa oikeasta näkökulmasta käyttäjän kääntäessä päätänsä. Käyttäjän kädessä olevassa ohjaimessa sijaitsevan sijaintianturin avulla käyttäjä voi nähdä virtuaalisen representaation kädestään liikkuvan virtuaalisessa maailmassa. Anturien lisäksi seuranta voidaan suorittaa optisesti videokuvan avulla, jolloin tietokone määrittää käyttäjän sijainnin videokuvasta. (Sherman & Craig, 2003, s. 77-82)

Käyttäjän pään, käsien ja sormien lisäksi voidaan seurata käyttäjän silmien liikkeitä ja katseen kohdistamista. Käyttäjän kehon seurannan avulla on mahdollista myös eleiden ja ääniohjauksen käyttäminen virtuaalisen maailman kanssa vuorovaikuttamiseen (Sherman & Craig, 2003, s. 88, 103-104). Esimerkiksi tietyt käden liikeradat tai tietyt fraasit voivat laukaista virtuaalisessa maailmassa jonkin reaktion. Virtuaalisen maailman kanssa voi vuorovaikuttaa myös erilaisten ohjainten avulla. Ohjaimet voivat sisältää erilaisia nappeja, vipuja, ohjaussauvoja tai paikantimia (Sherman & Craig, 2003, s. 95). Ohjain voi olla kädessä pidettävä, tai paikallaan oleva, kuten esimerkiksi lentosimulaattorin ohjaimet.

Maailman ilmiöitä seuraavien laitteiden käyttö on hyödyllistä esimerkiksi sellaisissa tilanteissa, joissa on tärkeää, että käyttäjä ei liikkueensa törmäile fyysisen ympäristön kohteisiin. Tämä voidaan estää seuraamalla käyttäjän ympäristöä ja mallintamalla esteet virtuaaliseen maailmaan. Toinen käyttökohde on tieteellisen datan analysointi VR-maailmassa. Datan kolmiulotteinen visualisointi voi olla tutkijoille hyödyllistä. Maailmaa seuraamalla ja mallintamalla voidaan myös luoda mahdollisimman realistinen malli fyysisestä maailmasta, kun VR:n

avulla harjoitellaan jotain fyysisen maailman toimintoa, esimerkiksi armeijakäytössä. (Sherman & Craig, 2003, s. 109)

AR-käytössä käyttäjää ja maailmaa voidaan seurata samoin tavoin kuin VR-käytössäkin. AR:n kannalta on myös tärkeää, että järjestelmä osaa paikantaa merkitykselliset kohteet ympäristöstä, jotta se osaa lisätä oikean tiedon oikeaan paikkaan. (Craig, 2013, s. 70)

3.2 Immersio

Sherman ja Craig (2003) jakavat immersion käsitteen kahteen osaan: fyysiseen immersioon ja psyykkiseen immersioon. Fyysisellä immersiolle tarkoitetaan sitä, missä määrin järjestelmä kykenee eristämään epäolennaiset aistiärsykkeet ja stimuloimaan käyttäjän aisteja tarkoituksenmukaisesti, luoden kokemuksen virtuaalisesta maailmasta. Fyysinen immersion on yksi merkittävä tekijä, joka erottaa VR:n muista medioista, jotka eivät pyri eristämään käyttäjän aisteja. (Sherman & Craig, 2003, s. 381-382)

Psyykinen immersio puolestaan on läsnä monissa muissakin medioissa. Psyykkisellä immersiolle tarkoitetaan median mukaansa tempaavuutta. Kun käyttäjä kokee psyykkistä immersiota, hän eläytyy virtuaaliseen maailmaan ja saattaa unohtaa fyysisen maailman kokonaan. Tämä ilmiö saattaa tapahtua esimerkiksi VR:ää koettaessa, kirjaa luettaessa tai elokuvaa katsottaessa. Fyysisen immersion ollessa VR:ssä olennainen osa, psyykinen immersio vaihtelee tarpeen mukaan. Esimerkiksi VR-roolipelimaailmassa seikkailu edellyttää tyydyttävän kokemuksen saavuttamiseen korkeaa psyykkistä immersiota. Toisaalta kemistin ei tarvitse eläytyä virtuaaliseen maailmaan hänen tutkiessaan virtuaaliseen maailmaan mallinnettuja molekyyliä. (Sherman & Craig, 2003, s. 382-383)

Psyykinen immersion on VR:ssä riippuvainen fyysisestä immersiota. Tekijät, kuten viive käyttäjän toiminnan ja järjestelmän reaktioiden välillä tai aistiärsykkeiden heikko avaruudellinen tai ajallinen resoluutio voivat estää psyykkisen immersion syntymisen. Avaruudellisella resoluutiolla tarkoitetaan sitä, miten paljon informaatiota, kuten esimerkiksi pikseleitä esitetään yhdellä hetkellä ja ajallinen resoluutio sitä, miten nopeasti esitetty tieto päivittyy. Psyykkiseen immersioon vaikuttavat myös käyttäjästä lähtöisin olevat tekijät, kuten käyttäjän oma kiinnostus ja se, missä määrin hän haluaa uskoa virtuaalisen maailman olevan todellinen. (Sherman & Craig, 2003, s. 384-385)

Immersion suhde AR:ään ei ole yhtä tiukka kuin VR:ään. AR-järjestelmissä ulkopuolisia aistiärsykeitä ei useinkaan pyritä eristämään, ja kokemukseen lisätty informaatio hyödyntää usein vain yhtä aistia. Koska fyysisen ympäristön aiheuttamat aistiärsykkeet kuuluvat osaksi AR-kokemusta, ei niiden läsnäolo heikennä fyysistä immersiota, kuten VR:ssä, vaan ovat osana sitä.

3.3 Autismikirjon häiriöt

3.3.1 Autismikirjon määrittely

Autismikirjon häiriöt (englanniksi autism spectrum disorder, ASD) on oireyhtymä, joka diagnosoidaan käyttäytymisessä ilmenevien poikkeamien perusteella. ASD:n taustalla on varhaislapsuudessa tapahtuva neurologisen kehityksen häiriö. Häiriö saatetaan havaita kuitenkin vasta myöhemmin, kun sosiaaliset odotukset lasta kohtaan ylittävät tämän kyvyt. (Maailman terveysjärjestö, 2019)

ASD:n kuntoutus perustuu opettamiseen vaikuttamiseen, sillä neurologiset ongelmat heijastuvat käyttäytymiseen oppimisen myötä erilaisilla tavoilla. Esimerkiksi toiminnan ohjauksen ongelmat, eli ongelmat kyvyssä toimia suunnitelmallisesti, tarkoituksen mukaisesti ja pitkäjänteisesti, ilmenevät todennäköisesti vaikeammin lapsella, joka ei ole oppinut jäsentämään päivän kulkua visuaalisten apuvälineiden avulla, kuin lapsella, joka on näin oppinut tekemään. ASD:n kuntoutuksen aloittaminen mahdollisimman aikaisin on erittäin tärkeää, jotta ongelmalliset käyttäytymismallit eivät juurtuisi, vaan lapsi oppisi toimimaan rakentavasti haastavissakin tilanteissa. (Timonen, Kerola & Kujanpää, 2015)

3.3.2 Autismikirjon häiriöiden aiheuttamat vaikeudet

ASD aiheuttaa ongelmia muun muassa yksilön vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa. Sosiaalisessa vuorovaikutuksessa ilmeneviä ongelmia ovat esimerkiksi poikkeava katsekontaktin käyttäminen ja vaikeudet tunteiden ilmaisussa. ASD-henkilöillä on myös vaikeuksia jaetun tarkkaavaisuuden toteuttamisessa, mikä tarkoittaa sitä, että ASD-henkilö ei ymmärrä signaaleiden kuten katseella tai sormella osoittamisen roolia yhteisen kokemuksen jakamisessa. ASD-henkilöillä voi olla myös puutteellinen mielen teoria, mikä tarkoittaa sitä, että heidän on vaikea eläytyä toisen ihmisen toimintaan ja ajatuksiin, sekä ymmärtää, että kaikki eivät ajattele samalla tavalla kuin he itse. ASD-henkilö saattaa esimerkiksi kertoa innoissaan omasta mielenkiinnon kohteestaan ilman ajatustakaan siitä, ettei keskustelukumppani välttämättä ole asiasta yhtä kiinnostunut. (Timonen ym., 2015)

ASD-henkilön kielen oppiminen perustuu mekaaniseen muistiin, ja hänen on vaikea ymmärtää abstrakteja käsitteitä. ASD-henkilön kommunikointi on myös usein tilannesidonnaista, ja sen yleistäminen uusiin tilanteisiin on haastavaa. Tämän takia heidän on vaikeaa käyttää kieltä itsensä ilmaisemiseen, mikä aiheuttaa turhautumista ja epätoivottua käyttäytymistä. Kielen käytön oppimista vaikeuttaa lisäksi puutteellinen mielen teoria, josta johtuen ASD-henkilö ajattelee muiden tietävän sen minkä hänkin tietää, joten hän ei näe tarvetta kommunikoinnille. Kielellisten haasteiden kuntoutuksessa on tärkeää tehdä ASD-henkilön ympäristöstä turvallinen ja kommunikoiva. Häntä on myös edellytettävä kommunikoimaan, jotta hän oppisi kommunikaation merkityksen. (Timonen ym., 2015)

ASD-henkilöillä saattaa ilmetä myös aistien yli- tai aliherkkyttä. Näistä kärsivä ASD-henkilö pyrkii itse säätelemään vastaanottamia aistiärsyksiä. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi ärsykerikkaasta ympäristöstä pakenemista tai

päänsä hakkaamista jonkinlaisen aistituntemuksen saamiseksi. ASD-henkilön on tärkeää oppia säätämään aistiärsyksiä terveellä tavalla ja sietämään epämiellyttäviä tuntemuksia tietyissä määrin. ASD-henkilöillä saattaa ilmetä myös aistikanavien itsestään tuottamaa valkoista kohinaa. Heillä voi ilmetä myös kasvojen tunnistamisen ja muistamisen vaikeuksia. (Timonen ym., 2015)

ASD-henkilöillä on vaikeuksia toiminnanohjauksessa. Tämä näkyy vaikeutena suunnitella päivän kulkua ja ratkaista ongelmia. Heidän on vaikea hahmottaa kokonaisuuksia ja erottaa olennainen informaatio epäolennaisen joukosta. Näitä ongelmia voidaan ratkoa visuaalisten ajankäytön suunnittelun työkaluilla, joiden avulla ASD-henkilö voi hahmottaa sen, mitä nyt tulisi tehdä ja mitä on luvassa myöhemmin. Tämä vähentää myös epätietoisuuden aiheuttamia negatiivisia tuntemuksia. (Timonen ym., 2015)

Sosiaalisten taitojen puutteesta ja toiminnan ohjauksen vaikeuksista johtuen ASD-henkilölle voi kehittyä outoja käyttäytymispiirteitä, joita luonnehtivat rajoittuneisuus, toistavuus ja kaavamaisuus. Osa tällaisesta käyttäytymisestä voidaan selittää sillä, että kun ASD-henkilö ei kykene vuorovaikutukseen ympäristön kanssa, hän oppii stimuloimaan itseään. Hän saattaa myös tulla riippuvaiseksi sellaisista aistiärsykkeistä, joihin hän pystyy itse vaikuttamaan. (Timonen ym., 2015)

4 KÄYTTÖLIITTYMÄLAITTEET ASD:N KUNTOUTUKSEEN SUUNNITELLUISSA XR-JÄRJESTELMISSÄ

Tässä luvussa tarkastellaan taulukoiden 1 ja 2 avulla aikakausjulkaisun artikkeleissa ja konferenssiartikkeleissa esiteltyjä ASD:n kuntouttamiseen suunniteltuja VR- ja AR-järjestelmiä. Tarkemmin ottaen tarkastellaan sitä, millaisia käyttöliittymälaitteita näissä järjestelmissä käytetään. VR-järjestelmien kohdalla tarkastellaan myös sitä, minkä tasoisen fyysisen immersion niillä voi saavuttaa. Ensimmäisenä käydään läpi sitä, miten taulukoiden jaottelut on muodostettu. Ensin käsitellään järjestelmien kuntoutuksen kohteiden jaottelu, jonka jälkeen käyttöliittymälaitteiden jaottelu ja viimeiseksi fyysisen immersion tasojen jaottelu.

4.1 Taulukoiden jaottelut

Lähdemateriaalissa esitettyjen järjestelmien kuntoutuksen kohteet eli se, mihin ASD:n oireeseen järjestelmän käytön vaikutus kohdistuu, on tarkastelussa jaoteltu seuraaviin luokkiin:

- Symbolileikki
- Sanaton viestintä
- Kommunikaatiotaidot
- Jaettu tarkkaavaisuus
- Yhteistyö
- Tunteiden tunnistaminen
- Elämäntavat
- Arkielämän taidot
- Kielelliset taidot
- Oireiden arviointi

Luokat on muodostettu yleistämällä lähteissä käytetyistä spesifisistä kuntoutuksen kohteista.

Käyttöliittymälaitteet on taulukossa 1 jaettu input- ja output-laitteisiin. Laitteen kohdalle sulkeisiin on merkitty tarkennus, mikäli se on nähty tarpeelliseksi. Kehon fysiologisia muuttujia mittaavien laitteiden kohdalla käyttötarkoitusta ei ole merkitty tarkasti, sillä tarkastelun kannalta on olennaista tietää vain, että ne mittaavat kehon fysiologisia muuttujia. Järjestelmissä mitatut fysiologiset muuttujat koostuvat veren volyymin, ihon sähkönjohtavuuden, ihon lämpötilan, pupillien koon, energiankulutuksen ja aivojen sähköisen toiminnan mittaamisesta. Näiden mittausten tarkoituksena on tarkastelunalaisissa järjestelmissä muun muassa ahdistuneisuuden, kohdistetun mielenkiinnon ja liikunnan tehon arviointi.

Fyysisen immersion tasojen jaottelussa käytetään pohjana tämän tutkielman teoriaosiossa esiteltyä Greengardin (2019, s. 7-8) jaottelua, jossa VR-järjestelmien immersiotasot jaotellaan ei-immersiivisiin, osittain immersiiivisiin ja täysin immersiiivisiin. Greengardin (2019, s. 7-8) jaottelussa täysin immersiiiviset järjestelmät ovat järjestelmiä, jotka täysin eristävät fyysisen maailman aistiärsykkeet virtuaalisesti tuotetuista aistiärsykkeistä. Tyypilliseltä VR-järjestelmältä on kuitenkin kohtuutonta odottaa, että se eristäisi fyysisen ympäristön virtuaalisesta minkään aistin kohdalla täysin, tai jokaisen aistin kohdalla edes lähes täysin. Tässä tutkielmassa täysin immersiiivisten järjestelmien taso korvataan immersiiivisten järjestelmien tasolla, ja siihen sisällytetään ne järjestelmät, jotka lähes kokonaan eristävät fyysisen maailman virtuaalisesta ainakin jonkin aistin kohdalla. Lisäksi jaotteluun lisätään taso: "ei-VR", joka pitää sisällään ne järjestelmät, jotka eivät Shermanin ja Craigin (2003, s. 13), tämän tutkielman teoriaosiossa esitellyn, määritelmän mukaan ole VR-järjestelmiä. Ei-VR-järjestelmien kohdalla immersiosarakkeeseen on kirjoitettu sulkeisiin syy, joka rajaa sen VR:n ulkopuolelle. Tästä lähtien fyysisestä immersioista käytetään yksinkertaisemmin nimitystä immersion.

4.2 Järjestelmien tarkastelu

Tässä luvussa tarkastellaan taulukon 1 pohjalta sitä, millaisia käyttöliittymälaitteita VR-järjestelmissä on käytetty ja miten ne eroavat toisistaan eri kuntoutuksen kohteiden kohdalla. Lisäksi tarkastellaan sitä, miten järjestelmät eroavat toisistaan immersion tason perusteella. Lisäksi tarkastellaan taulukon 2 pohjalta AR-järjestelmissä käytettyjä käyttöliittymälaitteita.

4.2.1 VR-järjestelmät

TAULUKKO 1 Käyttöliittymälaitteet ASD:n kuntoutukseen suunnitelluissa VR-järjestelmissä

Lähde	Kuntoutuksen kohde	Input-laitteet	Output-laitteet	Fyysisen immersion taso
Koirala, Yu, Schiltz, Van Hecke, Armstrong & Zheng (2021)	Oireiden arviointi	Videokamera (katseenseuranta), Ohjaussauva	Tietokonemonitori, Ohjaussauva (haptinen palaute)	Ei-VR (kehon liikkeiden seuranta)
Cai, Chia, Thalmann, Kee, Zheng & Thalmann (2013)	Sanaton viestintä	Elektromagneettinen paikanseurantalaite (kehon sijainnin seuranta), Videokamera (optinen asennonseuranta)	320 Asteinen projektionäyttö, 5 Videoprojektorioita, 3D-lasit	Immersiivinen
Kuriakose & Lahiri (2017)	Kommunikaatio- taidot	Tietokonehiiri, Näppäimistö, Anturit (ihon fysiologiset muuttujat)	Tietokonemonitori	Ei-VR (kehon liikkeiden seuranta)
Lahiri, Bekele, Dohrmann, Warren & Sarkar (2013)	Kommunikaatio- taidot	Lasit (silmänliikkeiden seuranta, kehon fysiologiset muuttujat), Tietokonehiiri	Tietokonemonitori	Ei-VR (kehon liikkeiden seuranta)
Amat, Zhao, Swanson, Weitlauf, Warren & Sarkar (2021)	Jaettu tarkkaavaisuus	Silmänliikkeiden seurantalaite (valintojen tekeminen pelissä), Tietokonehiiri	Tietokonemonitori	Ei-VR (kehon liikkeiden seuranta)
Bapu, Oza & Lahiri (2018)	Kommunikaatio- taidot	Näppäimistö	Tietokonemonitori	Ei-VR (kehon liikkeiden seuranta)
Zhao, Swanson, Weitlauf, Warren & Sarkar (2018)	Yhteistyö	Liikeohjain	Tietokonemonitori, Kuulokkeet	Ei-immersiivinen

Bapu & Lahiri (2020)	Yhteistyö	Kosketusnäyttö	Tietokonemonitori	Ei-VR (kehon liikkeiden seuranta)
Kuriakose & Lahiri (2015)	Kommunikaatio- taidot	Tietokonehiiri, Käteen asetettavat anturit (kehon fysiologiset muutujat)	Tietokonemonitori	Ei-VR (kehon liikkeiden seuranta)
Jyoti & Lahiri (2020)	Jaettu tarkkaavaisuus	Tietokonehiiri	Tietokonemonitori	Ei-VR (kehon liikkeiden seuranta)
Bernardes, Barros & Simoes, Castelo-Branco (2015)	Arkielämän taidot	Asennonseurantalaitte (HMD:ssä)	HMD	Immersiivinen
Adjorlu, Høeg, Mangano, Serafin (2017)	Arkielämän taidot	Asennonseurantalaitte (HMD:ssä), Liike-/painikeohjaimet	HMD	Immersiivinen
Tzanavari, Charalambous-Darden, Herakleous & Poullis (2015)	Arkielämän taidot	3D-Lasit, Asennonseurantalaitte (3D-laseissa), Infrapunakamera (optinen asennonseuranta), Painike-ohjain	4 Projektionäyttöä, 4 Projektoria, 3D-lasit	Immersiivinen
Finkelstein, Barnes, Wartell & Suma (2013)	Elämäntavat	Elektromagneettinen paikanseurantalaitte (kehon sijainnin seuranta)	3 Projektionäyttöä, 3 Projektoria, 3D-lasit	Immersiivinen
Bekele, Wade, Bian, Fan, Swanson, Warren & Sarkar (2016)	Tunteiden tunnistaminen	Videokamera (silmänliikkeiden seuranta), Tietokonehiiri	Tietokonemonitori	Ei-VR (kehon liikkeiden seuranta)
Mei, Zahed, Mason & Ouarles (2018)	Jaettu tarkkaavaisuus	Liike-/painikeohjain	Tietokonemonitori, 2 Kaiutinta, Rannekello (haptinen palaute)	Ei-immersiivinen

4.2.2 VR-järjestelmien käyttöliittymälaitteet ja kuntoutuksen kohde

Useissa tarkastelun alla olevissa VR-järjestelmissä käytetään katseen kohdistamista ja kehon fysiologisia muuttujia, kuten ihon lämpötilaa tai pupillien kokoa mittaavia laitteita. Niiden käyttötarkoitukset vaihtelevat siten, että osa niistä voidaan lukea kuuluviksi käyttöliittymälaitteisiin ja osaa niistä ei. Sellaiset anturit ja silmänliikkeitä seuraavat laitteet, joiden keräämä data vaikuttaa reaaliajassa virtuaaliseen maailmaan, luetaan käyttöliittymälaitteisiin. Toisin kuin sellaiset, jotka yksinomaan keräävät dataa myöhempää käyttöä varten. Kaikki taulukossa 1 esitetyt laitteet ovat käyttöliittymälaitteita ja niihin kuulumattomat laitteet on jätetty pois.

Kuudestatoista tarkastelunalaisesta VR-järjestelmästä yhdeksän ei täytä Shermanin ja Craigin (2003, s. 13) VR:n määritelmää. Jokaisessa yhdeksästä tapauksesta järjestelmän sisällyttäminen VR:ään jää kiinni siitä, että niissä ei ole input-laitetta, joka seuraisi käyttäjän kehon sijaintia tai asentoa millään tavalla. Näissä ei-VR-järjestelmissä input-laitteina toimivat sen sijaan tyypillisesti tietokonehiiri tai näppäimistö. Lisäksi Koiralan ym. (2021) järjestelmässä käytetään ohjaussauvaa ja Bapun ja Lahirin (2020) järjestelmässä kosketusnäyttöä. Näissä järjestelmissä käytetään myös monesti kehon fysiologisia muuttujia ja katseen kohdistusta seuraavia laitteita. Tällaiset ei-VR-järjestelmät muistuttavat enemmän yksinkertaisia videopelejä kuin VR-järjestelmiä. Seuraavaksi tarkastellaan järjestelmiä, jotka lukeutuvat VR-järjestelmiksi.

Kehon sijainnin tai asennon seuraamiseen käytettyjä laitteita tarkastelluissa VR-järjestelmissä ovat esimerkiksi Cain ym. (2013) käyttämä elektromagneettinen sijainnin seuranta ja optinen asennon seuranta, kuten myös Zhaon ym. (2018) käyttämä kädessä pidettävä liikeohjain ja Adjorlun ym. (2017) käyttämä HMD, joka seuraa käyttäjän pään sijaintia ja asentoa. Selkeänä erona VR:ksi lukeutuvissa ja lukeutumattomissa järjestelmissä on myös se, että jokaisessa VR:ksi lukeutumattomassa järjestelmässä käytetään visuaalisena output-laitteena tietokoneonitoria. Zhaon ym. (2018) ja Mein ym. (2018) järjestelmiä lukuun ottamatta VR:ksi lukeutuvissa järjestelmissä käytetään joko HMD:itä tai stereonäköön perustuvia 3D-laseja. Tietokoneonitorin tarjoamat FOR ja FOV ovat hyvin rajoittuneet, kun taas HMD:tä käytettäessä FOV on lähtökohtaisesti hyvin korkea ja FOR voi virtuaalisesta maailmasta riippuen olla täydellinen. 3D-lasien kohdalla FOV on myös tyypillisesti selvästi korkeampi kuin tietokoneonitoria käytettäessä. FOR taas on riippuvainen 3D-lasien rinnalla käytettävistä visuaalisen output-laitteiston muista osista. Näitä osia tässä tutkielmassa tarkasteltavissa järjestelmissä ovat projektionäytöt ja videoprojektorit. Cain ym. (2013) järjestelmä hyödyntää 320 asteista kaarevaa projektionäyttöä ja viittä videoprojektorista. Tzanavari ym. (2015) käyttävät järjestelmässään puolestaan neljää projektorista ja neljää projektionäyttöä, jotka on asetettu siten, että yksi on käyttäjän edessä, toinen vasemmalla, kolmas oikealla ja neljäs jalkojen alla. Finkelsteinin ym. (2013) järjestelmässä hyödynnetään kuutta projektorista ja kolmea projektionäyttöä, joista yksi on edessä, toinen vasemmalla ja kolmas oikealla.

On huomiolle pantavaa, että kaikissa tarkastelluissa järjestelmissä käytetään visuaalisia output-laitteita. Useassa niistä käytetään myös auditiivisiin output-laitteisiin kuuluvia kuulokkeita tai kaiuttimia. Lisäksi kahdessa järjestelmässä käytetään haptista palautetta antavia laitteita. Koiralan ym. (2021) järjestelmässä ohjaussauva antaa haptista palautetta käyttäjän vierittäessä videopelissä ohjaamaansa kuulaa. Mein ym. (2018) järjestelmässä puolestaan älyrannekellon värinä kertoo siitä, että virtuaalinen opettaja koskettaa käyttäjän kättä. Tasapaino- tai hajuaistia stimuloivia järjestelmiä tarkasteltavien joukossa ei ole.

Tarkasteltujen VR-järjestelmien yleisimmät kuntoutuksen kohteet ovat kommunikaatiotaidot, jaettu tarkkaavaisuus ja arkielämän taidot. Abstraktin ajattelun vaikeuksia tai aistien ali- tai yliherkkyyksiä kuntouttavia järjestelmiä ei tarkasteltujen järjestelmien joukossa lainkaan. Kommunikaatiotaitoihin keskittyvät neljä järjestelmää ovat keskenään hyvin samankaltaisia. Jokainen niistä koostuu tyypillisestä pöytätietokonelaitteistosta, johon kuuluu tietokonemonitori ja näppäimistö tai hiiri. Lisäksi kolme niistä arvioi käyttäjän ahdistuneisuutta kehon fysiologisten muuttujien perusteella ja adaptoi tehtävien vaikeustasoa sen mukaan.

Jaettua tarkkaavaisuutta käsittelevät kolme järjestelmää eroavat toisistaan erityisesti käytettyjen input-laitteiden osalta. Amatin ym. (2021) järjestelmässä käyttäjä tekee valintoja sekä hiirellä, että silmänliikkeitä seuraavan kameran avulla, katsettaan kohdistamalla. Jyotin ja Lahirin (2020) järjestelmässä input-laitteena käytetään vain hiirtä ja Mein ym. (2018) järjestelmässä liike-/painikeohjainta.

Kolme arkielämän taitoja opettavaa järjestelmää erottuvat muista tarkasteltavista järjestelmistä siten, että niistä löytyvät tarkastelun ainoat kaksi järjestelmää, jotka hyödyntävät HMD:itä. Näistä kummassakin käyttäjä liikkuu 3D-mallinnetussa ympäristössä ja harjoittelee arkielämän tehtäviä. Bernardesin ym. (2015) järjestelmässä käyttäjä harjoittelee linja-autolla liikkumiseen liittyviä tilanteita ja Adjorlun ym. (2017) järjestelmässä simuloidaan kaupassa käyntitilanne ja siihen liittyviä tehtäviä. Tzanavarin ym. (2015) järjestelmässä käyttäjän pään liikkeitä ja asentoa seurataan HMD:n sijasta 3D-laseihin asennetulla seurantalaitteella. Tzanavarin ym. (2015) ja Adjorlun (2017) ym. järjestelmissä seurataan lisäksi optisesti käyttäjän koko kehon sijaintia tämän liikkuesssa VR-ympäristössä itseään fyysisessä ympäristössä liikuttamalla.

4.2.3 VR-järjestelmien fyysinen immersio

Tarkastelussa ei-VR -tason järjestelmät luokiteltiin kyseiseen tasoon kaikki samasta syystä: ne eivät sisällä input-laitetta, joka tarkkailisi käyttäjän kehon sijaintia tai asentoa. Ei-immersiiviseen tasoon päätyivät järjestelmät, jotka käytetyn määritelmän perusteella ovat VR:ää, mutta joiden output-laitteet eivät eristä käyttäjän aisteja riittävästi fyysisestä maailmasta. Käytännössä ero tarkasteltujen ei-immersiivisten ja immersiivisten järjestelmien välillä on se, että immersiiviset järjestelmät hyödyntävät HMD:tä tai videoprojektiota, kun ei-immersiiviset hyödyntävät tietokonemonitoria.

Suuri osa VR-järjestelmiksi tai VR-pohjaisiksi järjestelmiksi nimitetyistä järjestelmistä päätyi ei-VR -tasolle. Seitsemästä VR:ksi luettavasta järjestelmästä kaksi on ei-immersiivistä ja viisi immersiivistä. Osittain immersiivisiä järjestelmiä ei tarkastelussa ollut lainkaan.

Lähtökohtaisesti voisi epäillä, että korkeampi immersio johtaisi parempiin kuntoutuksen lopputuloksiin, joten oletettavasti matalampi-immersioisissa VR-järjestelmissä on tehty kompromissi immersion suhteen. Kuriakose ja Lahiri (2017) kuvailevatkin syitä miksi he valitsivat ei-immersiivisen pöytätietokonepohjaisen VR-järjestelmän immersiivisen sijasta. Heidän mukaansa pöytätietokonepohjainen VR-järjestelmä on esteettömmämpi, edullisempi ja vähentää aiheutuvaa aistikuormitusta ja hämmentyneisyyttä. Myös Jyoti ja Lahiri (2020) ilmaisevat huolen siitä, että immersiivinen VR saattaisi aiheuttaa ASD-henkilöissä epä-mukavuutta. Mei ym. (2018) suunnittelivat järjestelmän ei-immersiiviseksi siitä syystä, että kaikilla halukkailla käyttäjillä ei välttämättä olisi saatavilla HMD:tä, jossa on silmänliikkeiden seuranta -ominaisuus. He kuitenkin toteavat, että immersiivinen VR voisi olla optimaalinen ympäristö jaetun tarkkaavaisuuden harjoitteluun, sillä se sulki ulos fyysisen ympäristön häiritsevät aistiärsykkeet.

4.2.4 AR-järjestelmät

TAULUKKO 2 Käyttöliittymälaitteet ASD:n kuntoutukseen suunnitelluissa AR-järjestelmissä

Lähde	Kuntoutuksen kohde	Input-laitteet	Output-laitteet
Bai, Blackwell & Coulouris (2015)	Symbolileikki	Videokamera (paikanseuranta)	Tietokonemonitori
Uzuegbunam, Wong, Cheung & Ruble (2018)	Sanaton viestintä / kommunikaatio	Videokamera (asennon ja silmänliikkeiden seuranta), mikrofoni (sanallisten tervehdysten seuranta), kosketusnäyttö	Tietokonemonitori
Cunha, Brandão, Vasconcelos, Soares & Carvalho (2016)	Tunteiden tunnistaminen	Videokamera, mobiililaitteen kosketusnäyttö tai näppäimistö ja hiiri	Mobiililaitteen näyttö
Lee, Frey, Cheng & Shih (2018)	Elämäntavat (liikunta)	Mobiililaitteen kamera, mobiililaitteen kosketusnäyttö	Mobiililaitteen näyttö
Lakshmiprabha, Santos, Mladenov & Beltramello (2014)	Kielelliset taidot	Videokamera (paikan- ja asennonseuranta)	Videoprojektori, projektiotaso

Taulukon 2 AR-järjestelmissä käytetyt output-laitteet ovat yksinomaan visuaalisia. Kaikki järjestelmät hyödyntävät videoläpinäkyviä näyttölaitteita paitsi Lakshmiprabhan ym. (2014) järjestelmä, joka käyttää visuaalisena output-

laitteena kuvaprojektiota. Videoläpinäkyviä näyttölaitteita hyödynnetään näissä järjestelmissä kahdella tavalla. Joko kyseessä on tietokone-monitorin ja videokameran yhteiskäyttö tai mobiililaitteen ja sen videokameran yhteiskäyttö.

Järjestelmät ovat input-laitteiltaan monimuotoisempia kuin output-laitteillaan. Kaikissa järjestelmissä käytetään jonkinlaista videokameraa, joko videoläpinäkyvän visuaalisen laitteen osana tai käyttäjän paikan seurannassa. Mobiililaitteita, kuten älypuhelin tai tabletti hyödyntävissä järjestelmissä mobiililaitteen kosketusnäyttö on myös merkittävä input-laite. Uzuegbunamin ym. (2018) järjestelmässä käytetään lisäksi mikrofonia äänikomentojen antamisessa.

Kaikkien tarkasteltujen AR-järjestelmien kuntoutuksen kohteet ovat toisistaan eroavia. Kuntoutuksen kohteiden suhteesta käytettyihin laitteisiin ei voi täten vetää johtopäätöksiä. Voidaan kuitenkin havaita, että nämä AR-järjestelmät mahdollistavat käyttäjälleen huomattavan liikkuvuuden verrattaessa aiemmin tarkasteltuihin VR-järjestelmiin. Pöytätietokonepohjaisissa VR-järjestelmissä liikkuvuus on lähes olematon ja HMD:tä ja projektiotakin hyödyntävät järjestelmät edellyttävät tietyssä tilassa pysymistä. Tarkastelluista AR-järjestelmistä Cunhan ym. (2016) ja Leen ym. (2018) järjestelmät hyödyntävät mobiililaitteita. Tämä mahdollistaa sen, että järjestelmää voidaan käyttää missä tahansa, ja käyttäjä voi käytön aikana liikkua täysin vapaasti. Bain ym. (2015), Uzuegbunamin ym. (2018) ja Lakshmi Prabhan ym. (2018) järjestelmät eivät mahdollista yhtä vapaata liikkumista ja rajoittavat käyttäjän pysymään tietyssä tilassa, mutta ne kuitenkin mahdollistavat käyttäjän vapaan liikkumisen tilan sisällä, eivätkä edellytä käyttäjää pitämään yllään tai kädessään mitään järjestelmän laitetta.

5 YHTEENVETO

Tämän tutkielman tavoitteena oli luoda yleiskuva siitä, minkälaisia XR-ratkaisuja on kehitetty ASD:n kuntoutukseen. Näitä ratkaisuja tarkasteltiin käyttöliittymälaitteiden näkökulmasta ja MR rajattiin ulos tarkastelusta. Ensin käytiin läpi sitä, mitä XR ja sen sisältämät VR ja AR ovat. Sen jälkeen tarkasteltiin XR-järjestelmissä tyypillisesti käytettyjä käyttöliittymälaitteita ja immersion käsitettä ja sen merkitystä. Myös ASD esiteltiin lyhyesti. Tämän teorian pohjalta pyrittiin vastaamaan kysymyksiin:

- Millaisia ASD:n kuntoutukseen suunnitellut järjestelmät ovat käyttöliittymälaitteiden näkökulmasta?
- Miten ASD:n kuntoutukseen suunniteltujen VR-järjestelmien immersiiivisyys vaihtelee?

Valtaosa tarkastelluista VR-järjestelmiksi tai VR-pohjaisiksi järjestelmiksi nimitetyistä järjestelmistä ei täytä tutkielman teorialuvussa esiteltyä määritelmää. Syy tälle on se, että nämä järjestelmät eivät sisällä input-laitetta, joka seuraisi käyttäjän kehon sijaintia tai asentoa. Jokaisessa näistä ei-VR-järjestelmistä visuaalisena output-laitteena toimii tietokonemonitori, jonka FOR ja FOV ovat selvästi pienemmät, kuin HMD:n tai projektionäyttöjärjestelmän. VR:ksi lukeutuvissa järjestelmistä kahdessa käytettiin visuaalisena output-laitteena tietokonemonitoria, kahdessa HMD:tä ja kolmessa 3D-laseja, projektionäyttöä ja videoprojektoreita. Nämä erot visuaalisissa output-laitteissa päätyivätkin määrittämään VR:ään kuuluvien järjestelmien jaottelun immersiotasoihin. Ei-immersiiviselle tasolle sijoittuivat kaksi järjestelmää joissa käytetään tietokonemonitoria ja immersiiiviselle tasolle järjestelmät, joissa hyödynnetään HMD:tä tai videoprojektiota.

Ei-VR-järjestelmissä ja ei-immersiivisissä järjestelmissä käytetään input-laitteina tyypillisesti tietokonehiirtä tai näppäimistöä. Input-laitteiden joukosta erilaisina erottuivat ohjaussauva ja kosketusnäyttö. Myös kehon fysiologisia muuttujia mittaavat laitteet ovat yleisiä. Molemmissa ei-immersiivisessä järjestelmässä käytetään liikeohjaimia. Immersiivisissä järjestelmissä käyttäjän paikan

ja asennon seuranta suoritetaan joko kehoon kiinnitettävillä seurantalaitteilla tai optisesti videokameran avulla. Kehoon kiinnitettävät seurantalaitteet ovat usein osana käytettävää HMD:tä tai 3D-laseja. Muita input-laitteita immersiiivisissä järjestelmissä ovat liike- tai painikeohjaimet.

Tarkasteltujen AR-järjestelmien kohdalla output-laitteina käytetään pääasiassa joko tietokonemonitoria tai mobiililaitteen näyttöä. Näissä järjestelmissä input-laitteena toimii mobiililaitteen kosketusnäytön tai tietokonehiiren ja näppäimistön lisäksi videokamera, joka kuvaa ympäristöä mahdollistaen videoläpinäkyvän VR-elämyksen. Poikkeuksena yhdessä järjestelmässä käytetään output-laitteena kuvaprojektiota. Input-laitteena tässä järjestelmässä toimii videokameran avulla toteutettu käden eleiden tunnistus.

Tutkielman rajoitteena on tarkasteltujen XR-järjestelmien suhteellinen niukkuus. Luotuja XR-ratkaisuita ASD:n kuntoutukseen, joita ei tämän tutkielman laajuuteen mahtunut, löytyy muista julkaisuista vielä lukuisia. Myös se, että kaikki tarkastellut järjestelmät etsittiin IEEE xploren kautta, voi vääristää yleiskuvaa luoduista järjestelmistä.

Tulevaisuudessa tarkasteltavien järjestelmien määrää voitaisiin kasvattaa, jolloin saataisiin tarkempi yleiskuva ASD:n kuntoutukseen luoduista XR-järjestelmistä. Tarkasteltavan materiaalin kasvaessa, voitaisiin myös ottaa MR-järjestelmät mukaan tarkasteluun. Merkittävä kysymys tulevan tutkimuksen kannalta on myös se, miten järjestelmän immersiiivisyys vaikuttaa sen tehoon eri kuntoutuksen kohteiden kohdalla. Toisaalta on myös tärkeää selvittää, miten hyväksyttäviä erilaiset järjestelmät ovat ASD-henkilöiden keskuudessa, jotta osattaisiin tasapainottaa järjestelmän optimaalinen immersiiivisyys sen hyväksyttävyyden kanssa.

LÄHTEET

- Adjorlu, A., Høeg, E. R., Mangano, L., & Serafin, S. (2017). Daily Living Skills Training in Virtual Reality to Help Children with Autism Spectrum Disorder in a Real Shopping Scenario. *2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct)*, 294–302. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2017.93>
- Amat, A. Z., Zhao, H., Swanson, A., Weitlauf, A. S., Warren, Z., & Sarkar, N. (2021). Design of an Interactive Virtual Reality System, InViRS, for Joint Attention Practice in Autistic Children. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 29, 1866–1876. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2021.3108351>
- Bai, Z., Blackwell, A. F., & Coulouris, G. (2015). Using Augmented Reality to Elicit Pretend Play for Children with Autism. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 21(5), 598–610. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2014.2385092>
- Bekele, E., Wade, J., Bian, D., Fan, J., Swanson, A., Warren, Z., & Sarkar, N. (2016). Multimodal adaptive social interaction in virtual environment (MASI-VR) for children with Autism spectrum disorders (ASD). *2016 IEEE Virtual Reality (VR)*, 121–130. <https://doi.org/10.1109/VR.2016.7504695>
- Berenguer, C., Baixauli, I., Gómez, S., Andrés, M. de E. P., & De Stasio, S. (2020). Exploring the Impact of Augmented Reality in Children and Adolescents with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6143. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176143>
- Bernardes, M., Barros, F., Simoes, M., & Castelo-Branco, M. (2015). A serious game with virtual reality for travel training with Autism Spectrum Disorder. *2015 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)*, 127–128. <https://doi.org/10.1109/ICVR.2015.7358609>
- Boas, Y. (2013). *Overview of Virtual Reality Technologies*. https://static1.squarespace.com/static/537bd8c9e4b0c89881877356/t/5383bc16e4b0bc0d91a758a6/1401142294892/yavb1g12_25879847_finalpaper.pdf
- Bozgeyikli, L., Raij, A., Katkooi, S., & Alqasemi, R. (2018). A Survey on Virtual Reality for Individuals with Autism Spectrum Disorder: Design Considerations. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 11(2), 133–151. <https://doi.org/10.1109/TLT.2017.2739747>
- Cai, Y., Chia, N. K. H., Thalmann, D., Kee, N. K. N., Zheng, J., & Thalmann, N. M. (2013). Design and Development of a Virtual Dolphinarium for Children With Autism. *IEEE Transactions on Neural Systems and*

Rehabilitation Engineering, 21(2), 208–217.
<https://doi.org/10.1109/TNSRE.2013.2240700>

- Craig, A. B. (2013). *Understanding Augmented Reality: Concepts and Applications*. Newnes.
- Cunha, P., Brandão, J., Vasconcelos, J., Soares, F., & Carvalho, V. (2016). Augmented reality for cognitive and social skills improvement in children with ASD. *2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, 334–335.
<https://doi.org/10.1109/REV.2016.7444495>
- Finkelstein, S., Barnes, T., Wartell, Z., & Suma, E. A. (2013). Evaluation of the exertion and motivation factors of a virtual reality exercise game for children with autism. *2013 1st Workshop on Virtual and Augmented Assistive Technology (VAAT)*, 11–16. <https://doi.org/10.1109/VAAT.2013.6786186>
- Greengard, S. (2019). *Virtual Reality*. MIT Press.
- Jyoti, V., & Lahiri, U. (2020). Virtual Reality Based Joint Attention Task Platform for Children With Autism. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 13(1), 198–210. <https://doi.org/10.1109/TLT.2019.2912371>
- Koirala, A., Yu, Z., Schiltz, H., Van Hecke, A., Armstrong, B., & Zheng, Z. (2021). A Preliminary Exploration of Virtual Reality-Based Visual and Touch Sensory Processing Assessment for Adolescents With Autism Spectrum Disorder. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 29, 619–628. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2021.3064148>
- Krishnappa Babu, P. R., & Lahiri, U. (2020). Multiplayer Interaction Platform With Gaze Tracking for Individuals With Autism. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 28(11), 2443–2450.
<https://doi.org/10.1109/TNSRE.2020.3026655>
- Krishnappa Babu, P. R., Oza, P., & Lahiri, U. (2018). Gaze-Sensitive Virtual Reality Based Social Communication Platform for Individuals with Autism. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 9(4), 450–462.
<https://doi.org/10.1109/TAFFC.2016.2641422>
- Kuriakose, S., & Lahiri, U. (2015). Understanding the Psycho-Physiological Implications of Interaction With a Virtual Reality-Based System in Adolescents With Autism: A Feasibility Study. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 23(4), 665–675.
<https://doi.org/10.1109/TNSRE.2015.2393891>
- Kuriakose, S., & Lahiri, U. (2017). Design of a Physiology-Sensitive VR-Based Social Communication Platform for Children With Autism. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 25(8), 1180–1191. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2016.2613879>
- Lahiri, U., Bekele, E., Dohrmann, E., Warren, Z., & Sarkar, N. (2013). Design of a Virtual Reality Based Adaptive Response Technology for Children With

- Autism. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 21(1), 55–64. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2012.2218618>
- Lakshmiprabha, N. S., Santos, A., Mladenov, D., & Beltramello, O. (2014). [Poster] An augmented and virtual reality system for training autistic children. *2014 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 277–278. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2014.6948448>
- Lee, D., Frey, G., Cheng, A., & Shih, P. C. (2018). Puzzle Walk: A Gamified Mobile App to Increase Physical Activity in Adults with Autism Spectrum Disorder. *2018 10th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/VS-Games.2018.8493439>
- Maailman terveystilasto. (2019, toukokuuta 25). *ICD-11 for Mortality and Morbidity Statistics*. <https://icd.who.int/browse11/1-m/en#/http://id.who.int/icd/entity/437815624>
- Mei, C., Zahed, B. T., Mason, L., & Ouarles, J. (2018). Towards Joint Attention Training for Children with ASD - a VR Game Approach and Eye Gaze Exploration. *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 289–296. <https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446242>
- Parsons, S., & Cobb, S. (2011). State-of-the-art of virtual reality technologies for children on the autism spectrum. *European Journal of Special Needs Education*, 26(3), 355–366. <https://doi.org/10.1080/08856257.2011.593831>
- Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2003). *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. Morgan Kaufmann. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=249304&site=ehost-live>
- Sutherland, I. (1965). The Ultimate Display. *Proceedings of the IFIPS Congress 65(2):506-508*. New York: IFIP. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show&_id=caadria2010_039/paper/c58e
- Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three dimensional display. *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*, 757–764. <https://doi.org/10.1145/1476589.1476686>
- Timonen, T., Kerola, K., & Kujanpää, S. (2015). *Autismin kirjo ja kuntoutus*. PS-kustannus. <https://www.ellibslibrary.com/book/9789524516747/autismin-kirjo-ja-kuntoutus>
- Tzanavari, A., Charalambous-Darden, N., Herakleous, K., & Poullis, C. (2015). Effectiveness of an Immersive Virtual Environment (CAVE) for Teaching Pedestrian Crossing to Children with PDD-NOS. *2015 IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies*, 423–427. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2015.85>

- Uzuegbunam, N., Wong, W. H., Cheung, S.-C. S., & Ruble, L. (2018). MEBook: Multimedia Social Greetings Intervention for Children with Autism Spectrum Disorders. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 11(4), 520–535. <https://doi.org/10.1109/TLT.2017.2772255>
- Vince, J. (2004). *Introduction to Virtual Reality*. Springer Science & Business Media.
- Zhao, H., Swanson, A. R., Weitlauf, A. S., Warren, Z. E., & Sarkar, N. (2018). Hand-in-Hand: A Communication-Enhancement Collaborative Virtual Reality System for Promoting Social Interaction in Children With Autism Spectrum Disorders. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 48(2), 136–148. <https://doi.org/10.1109/THMS.2018.2791562>