

ADHD:hen liittyvä yksilön sisäinen vaihtelu tarkkaavuudessa

Uusi virtuaalitodellisuuden pohjautuva luonnollisen kaltainen arviointiympäristö

Psykologian
pro gradu -tutkielma

Laatija:
Tilda Eräste

Ohjaaja:
Dosentti Juha Salmitaival

21.06.2022
Turku

Pro gradu -tutkielma

Oppiaine: Psykologia

Tekijä: Tilda Eräste

Otsikko: ADHD:hen liittyvä yksilön sisäinen vaihtelu tarkkaavuudessa

Uusi virtuaalitodellisuuteen pohjautuva luonnollisen kaltainen arviointiympäristö

Ohjaaja: dosentti Juha Salmitaival

Sivumäärä: 42 sivua, 1 liite

Päivämäärä: 21.06.2022

Reaktioajan vaihtelusta erilaisissa tietokoneistetuissa tarkkaavuustehtävissä on tullut viimeisen vuosikymmenen aikana keskeinen tutkimuskohde ADHD:n tutkimuskentällä. Kohonnut reaktioajan vaihtelu on yksi johdonmukaisimmista löydöksistä ADHD:hen liittyvien kognitiivisten haasteiden osalta ja sitä onkin ehdotettu häiriön mahdolliseksi endofenotyypiksi. Tämän hetkissä tietokoneistetuissa neuropsykologisissa tutkimusmenetelmissä on kuitenkin omat rajoitteensa, kuten ekologisen validiteetin puute. Virtuaalitodellisuuteen (*virtual reality*, VR) perustuvan teknologian kehittyminen on tarjonnut mahdollisuuden entistä luonnollisempien arviointiympäristöjen kehittämiseen menettämättä tietokoneistettuihin tehtäviin liittyviä etuja.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin 9-13-vuotiaiden ADHD-diagnoosin saaneiden ($n = 38$) ja tyypillisesti kehittyneiden lasten ($n = 42$) reaktioajan vaihtelua uudenlaisessa, luonnollisen kaltaisia arjen tilanteita simuloivassa VR-tehtävä EPELI:ssä, sekä jatkuvan suoriutumisen tehtävässä (*continuous performance test*, CPT), joka on laajasti käytössä oleva ADHD:n tarkkaavuuksien arviointimenetelmä. Koska EPELI:n kaltaista luonnollista tehtävää ei ole aiemmin käytetty reaktioajan vaihtelun tutkimiseen, kokeiltiin tässä tutkimuksessa kahta erilaista tapaa operationalisoida reaktionopeus EPELI:stä. Lisäksi tarkasteltiin EPELI:ssä ja CPT:ssä esiintyvän reaktioajan vaihtelun yhteyttä toisiinsa, sekä ADHD-RS-IV-oirekyselyllä mitattuihin ADHD:n oirealueisiin. Reaktioajan vaihtelua mallinnettiin tässä tutkimuksessa keskihajonnan lisäksi ex-Gaussin jakaumaa hyödyntäen.

ADHD-ryhmällä havaittiin kohonnutta reaktioajan vaihtelua CPT-tehtävässä sekä keskihajonnalla, että ex-Gaussin parametreilla mitattuna. Sen sijaan EPELI:n silmänliikeaineistosta johdetuissa reaktionopeusparametreissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä, vaikka ryhmien välisissä eroissa olikin pieni efekti ADHD-ryhmän suorituksen ollessa hieman vaihtelevampi. EPELI:n peräkkäisistä painalluksista johdetuissa reaktionopeuden keskiarvossa ja keskihajonnassa ei havaittu hypoteesien mukaisia eroja ryhmien välillä, eikä painallusaineiston reaktionopeusjakaumat soveltuneet ex-Gaussin mallintamiseen. CPT:ssä esiintyvän reaktioajan vaihtelun ja EPELI:n silmänliikeaineistosta johdettujen reaktionopeuksien vaihtelun välillä havaittiin tässä tutkimuksessa positiivinen korrelaatio. CPT:ssä esiintyvä kohonnut reaktioajan vaihtelu oli yhteydessä kaikkiin ADHD:n oirealueisiin, kun taas EPELI:n ja ADHD:n oirealueiden välillä ei havaittu merkitseviä yhteyksiä.

Tässä tutkimuksessa EPELI:stä ei onnistuttu löytämään soveltuvaa mittaa tunnistamaan ADHD:hen liittyvää reaktioajan vaihtelua luonnollisen kaltaisessa tehtävässä. EPELI:n silmänliikeaineistosta johdetun reaktionopeuden tarkastelu voi kuitenkin auttaa lisäämään ymmärrystä siitä, miten ADHD-diagnoosin saaneet lapset suorittavat monimutkaisia, arkisia toiminnanohjaustehtäviä luonnollisessa ympäristössä verrattuna tyypillisesti kehittyneisiin lapsiin ja mistä pitkät reaktioajat todellisuudessa syntyvät.

Avainsanat: ADHD, reaktioajan vaihtelu, virtuaalitodellisuus, CPT, yksilön sisäinen vaihtelu

Sisällys

1	Johdanto	4
1.1	ADHD:n kliininen oirekuva lapsuudessa	5
1.1.1	Oireet arjessa	5
1.1.2	Kognitiiviset haasteet	6
1.2	ADHD:hen liittyvä yksilön sisäinen vaihtelu	6
1.2.1	Reaktioajan vaihtelu	7
1.2.2	Muissa tilanteissa havaittu ADHD:hen liittyvä yksilön sisäinen vaihtelu	10
1.3	Virtuaalitodellisuuden käyttö yksilön sisäisen vaihtelun tutkimisessa	11
1.4	Tutkimuksen tarkoitus	13
2	Menetelmät	16
2.1	Tutkittavat	16
2.2	Mittarit	17
2.3	Kokeen kulku	21
2.4	Tilastolliset menetelmät	21
2.4.1	CPT:n reaktioaikojen esikäsittely	22
2.4.2	Reaktionopeuden operationalisointi EPELI:stä	22
2.4.3	Tarkkaavuuden vaihtelu: ex-Gaussin parametrien estimointi	24
2.4.4	Ryhmäerot ja yhteisvaihtelu	25
3	Tulokset	26
3.1	CPT	26
3.2	EPELI	27
3.2.1	Silmänliikeaineisto	27
3.2.2	Peliohjaimen painallukset	27
3.3	CPT:n, EPELI:n ja ADHD-RS-IV-oirekyselyn välinen yhteisvaihtelu	29
4	Pohdinta	32
4.1	Tarkkaavuuden vaihtelu CPT:ssä ja EPELI:ssä	33
4.2	CPT:n ja EPELI:n väliset yhteydet	36
4.3	Reaktionopeuden vaihtelun yhteys ADHD:n oirealueisiin	38
4.4	Tutkimuksen rajoitteista	40
4.5	Johtopäätökset	42
	Lähteet	43
	Liitteet	54

1 Johdanto

Aktiivisuuden ja tarkkaavuuden häiriö (*attention-deficit/hyperactivity disorder*, ADHD) on yksi yleisimmistä lapsuudessa alkavista neuropsykiatrisista oireyhtymistä ja hoidon piirissä olevien lasten määrä jatkaa edelleen kasvuaan (Polanczyk ym., 2014). ADHD-diagnoosin saaneilla lapsilla esiintyy kognitiivisia vaikeuksia usealla toiminnanohjauksen osa-alueella, kuten tarkkaavuustoiminnoissa, inhibitorisessa kontrollissa ja työmuistissa (Faraone ym., 2021). Mikään havaituista kognitiivisista vaikeuksista ei kuitenkaan ole yhteinen kaikille ADHD-diagnoosin saaneille yksilöille, eikä osalla diagnoosin saaneista esiinny lainkaan viitteitä heikommasta kognitiivisesta suoriutumisesta neuropsykologisissa testeissä (Barkley & Murphy, 2011; Pievsky & McGrath, 2018). Uusien, kognitiivisia haasteita mittaavien objektiivisten menetelmien kehittäminen on pitkään ollut yksi ADHD-tutkimuksen keskeisistä tavoitteista.

Yksi johdonmukaisimmista löydöksistä ADHD:n tutkimuskentällä on ADHD-ryhmän kohonnut yksilön sisäinen vaihtelu (*intra-individual variability*) tarkkaavuustehtävässä suoriutumisessa verrattuna tyypillisesti kehittyneisiin yksilöihin (Tamm ym., 2012). Yksilön sisäinen vaihtelu, jota on perinteisesti tarkasteltu reaktioajan vaihteluna (*reaction time variability*) tietokoneistetuissa tehtävissä, tarkoittaa suorituksen epä johdonmukaisuutta eli tyypillisesti lyhytaikaisia, sekunneissa tai millisekunneissa tapahtuvia muutoksia suoritustasossa tehtävän aikana (Castellanos ym., 2005). Kohonnut reaktioajan vaihtelu on kirjallisuudessa tavallisesti tulkittu seuraukseksi tarkkaavuuden ylläpitämisen ongelmista, jotka voivat myös monissa arjen tilanteissa heikentää yksilön toimintakykyä.

Yksilön sisäisen vaihtelun tutkimisesta tietokoneistetuissa neuropsykologisissa tehtävissä onkin tullut suosittu tutkimusaihe ADHD:n tutkimuskentällä (Tamm ym., 2012). Neuropsykologisissa tutkimusmenetelmissä on kuitenkin omat rajoitteensa, kuten ekologisen validiteetin ongelma eli se, että laboratoriotestien tulokset eivät usein edusta luonnollisessa ympäristössä esiintyvää käyttäytymistä (Barkley, 1991; Barkley & Murphy, 2011). Virtuaalitodellisuuden perustuvan teknologian kehittyminen on tarjonnut mahdollisuuden luonnollisempien arviointiympäristöjen kehittämiseen menettämättä tietokoneistettuihin tehtäviin liittyviä etuja (Campbell ym., 2009). Tutkimusryhmämme on saanut alustavaa näyttöä siitä, että luonnollisen kaltaista tilannetta muistuttavien tehtävien käyttäminen voi soveltua ADHD:hen liittyvän yksilön sisäisen vaihtelun ja tarkkaavuuden dynaamisen luonteen tutkimiseen (Seesjärvi ym., 2021).

1.1 ADHD:n kliininen oirekuva lapsuudessa

ADHD:hen liittyy tyypillisesti pitkäkestoisena ja lapsen toimintakykyä merkittävästi haittaavana aktiivisuuden säätelyn vaikeuksien, tarkkaavuuden ongelmien ja impulsiivisuuden lisäksi ongelmia useilla kognition osa-alueilla (Pievsky & McGrath, 2018), sekä tunne-elämässä ja sosiaalisessa toimintakyvyssä (Faraone ym., 2021; Graziano & Garcia, 2016). ADHD voi aiheuttaa lapsilla koulunkäynnin ja oppimisen haasteita sekä vaikuttaa negatiivisesti heidän elämänlaatuunsa (Danckaerts ym., 2010). ADHD-oireiden ilmenemiseen ja haitanasteeseen vaikuttavat olennaisesti lapsen ikä- ja kehitysvaihe (Wolraich ym., 2011).

1.1.1 Oireet arjessa

Kansainvälisen tautiluokituksen 10. version (ICD-10; World Health Organization, 2016) ADHD:n diagnoosikriteereiden mukaan häiriön keskeiseen oireistoon kuuluvat aktiivisuuden säätelyn vaikeudet, tarkkaavuuden ongelmat ja impulsiivisuus. Lapsilla aktiivisuuden säätelyn vaikeus ilmenee fyysisenä rauhattomuutena ja motorisena levottomuutena (Wolraich ym., 2011). Ylivilkkaus on kuitenkin aina tilannesidonnaista ja saattaa ilmetä esimerkiksi vain rauhattomassa ryhmätilanteessa, mutta ei kahdestaan lapsen kanssa toimiessa. Tarkkaavuuteen liittyvät ongelmat tulevat esiin yleensä viimeistään kouluiässä, kun ympäristön vaatimukset keskittymiskyvyn osalta kasvavat. Keskittymiskyvyttömyys voi näkyä lapsen arjessa esimerkiksi ohjeiden noudattamisen vaikeutena, toiminnan lyhytjänteisyytenä, häiriöherkkyytenä tai huolimattomuutena (ICD-10; World Health Organization, 2016). Impulsiivisuudella tarkoitetaan arvaamatonta käyttäytymistä ja harkitsemattomuutta, joka voi näkyä lapsilla arjessa muun muassa vuoron odottamisen vaikeutena, liiallisena puheliaisuutena, voimakkaina tunnereaktioina ja tapaturma-alttiutena (Wolraich ym., 2011).

Arjen ADHD-oireiden kartoittamiseen käytetään usein erilaisia kyselylomakkeita, kuten ADHD Rating Scale IV -oirekyselyä (ADHD-RS-IV; DuPaul ym., 1998). ADHD:n diagnoosikriteereihin perustuvien oirekyselyiden avulla pyritään ymmärtämään, millaisina lapsen oireet ilmenevät arkielämän tilanteissa. Oirekyselyiden ongelmana on kuitenkin se, että nykyisen tutkimustiedon mukaan oireet vaihtelevat lyhyelläkin aikavälillä dynaamisesti, jolloin yhdessä aikapisteessä tehty oirekartoitus ei välttämättä anna luotettavaa kuvaa lapsen todellisista haasteista (Schmid ym., 2020; Sonuga-Barke ym., 2010). Oireiden kartoittamisen

lisäksi ADHD:n arvioinnissa voidaan hyödyntää neuropsykologisia tutkimuksia lapsen kognitiivisen taitotason arvioimiseksi.

1.1.2 Kognitiiviset haasteet

Useissa tutkimuksissa on pyritty selvittämään, erotteleeko jokin tietty neurokognitiivinen osa-alue ADHD-diagnoosin saaneet yksilöt tyypillisesti kehittyneistä yksilöistä. ADHD on kuitenkin neuropsykologisesti heterogeeninen oireyhtymä, jossa kognitiivisten vaikeuksien laatu ja voimakkuus, kuten myös oireiden esiintyminen, vaihtelevat suuresti diagnoosin saaneiden välillä (Sonuga-Barke, 2002; Wählstedt ym., 2009). Pievskyn ja McGrathin (2018) tekemän meta-analyyseistä koostuvan katsauksen mukaan ADHD-ryhmän suoritus on heikompi erityisesti yksilön sisäistä reaktioaikojen vaihtelua (efektikoko .66), älykkyyttä (.60), valppautta (.56) ja työmuistia (.52) mittaavissa neuropsykologisissa tehtävissä.

Viime vuosikymmeninä on kehitetty lukuisia teorioita ja malleja kuvaamaan ja selittämään ADHD:n taustalla vaikuttavia neurokognitiivisia mekanismeja. Uudemmat mallit pyrkivät selittämään edellä kuvattua ADHD:n neuropsykologista heterogeenisyyttä eli sitä, miksi saman diagnoosin saaneilla yksilöillä on toisistaan eroavia vaikeuksia eri kognition osa-alueilla. Esimerkiksi Sonuga-Barken ja kumppaneiden (2010) Kolmen radan -malli (*Triple-Pathway model*) selittää heterogeenisyyttä sillä, että ongelmat ajalliseen prosessointiin, inhibitoriseen kontrolliin tai palkkioherkkyyteen (*delay aversion*) liittyvillä osa-alueilla voivat kukin erillään johtaa ADHD-tyyppiseen oireiluun. Malli myös esittää, että yksilön ADHD-oireet eivät ole pysyviä lyhyellä aikavälillä tarkasteltuna, vaan vaihtelevat dynaamisesti olosuhteiden mukaan.

1.2 ADHD:hen liittyvä yksilön sisäinen vaihtelu

Vastaustarkkuuden ja -tehokkuuden analysointiin keskittyvissä neuropsykologisissa testeissä on tyypillisesti otettu huomioon ainoastaan ryhmien välinen vaihtelu, jolloin yksilön sisäinen vaihtelu suoritustasossa on jäänyt tarkastelun ulkopuolelle (Castellanos ym., 2005). Kuitenkin muun muassa aivokuvantamistutkimuksista saadut tulokset ovat osoittaneet yksilön suorituksen ajallisen tarkastelun merkityksen ryhmien välisten erojen tarkastelun lisäksi, sillä ADHD-diagnoosin saaneiden yksilöiden kognitiivisten resurssien käyttö vaihtelee merkittävästi ajassa (Sonuga-Barke & Castellanos, 2007). Kuten edellä kuvattiin, yksilön sisäinen reaktioajan vaihtelu tehtäväsuorituksen aikana on siis myös yksi parhaiten ADHD-ryhmän erottelevista neurokognitiivisista muuttujista (Pievsky & McGrath, 2018).

Yksilön sisäisen vaihtelun tutkiminen on noussut vasta viimeisen vuosikymmenen aikana yhdeksi kiinnostavimmista tutkimuskohteista ADHD:n tutkimuskentällä (Tamm ym., 2012). Aikaisemmin ADHD:hen liittyvä suoritustason vaihtelu sivuutettiin tutkimuksissa lähes kokonaan (Castellanos ym., 2005) ja sitä käsiteltiin ylimääräisenä meluna, joka haluttiin poistaa aineistosta (Kuntsi & Klein, 2012). ADHD-diagnoosin saaneiden henkilöiden heikompi suoriutuminen neuropsykologisissa tehtävissä tulkittiin todisteeksi heikoista toiminnanohjauksen taidoista (Klein ym., 2006). Tulkinta perustui siihen, että ADHD-diagnoosin saaneiden yksilöiden keskimääräistä reaktioaikaa ja virheiden määrää tarkasteltiin koko suorituksen ajalta.

Vasta Castellanosin ja Tannockin (2002) julkaisema katsaus ADHD:n mahdollisista endofenotyypeistä sai tutkijoiden huomion kiinnittymään ADHD:hen liittyvään yksilön sisäiseen vaihteluun. Endofenotyypillä tarkoitetaan häiriön välimuotoisia ilmiä, jotka ovat helpommin mitattavissa ja määriteltävissä kuin itse psykiatrisen diagnoosiluokka. Nykyisen tiedon valossa yksilön sisäisen vaihtelun on esitetty olevan yksi ADHD:n ydinpiirteistä ja sitä on myös ehdotettu yhdeksi häiriön endofenotyyppiksi (Aase ym., 2006; Castellanos ym., 2005; Castellanos & Tannock, 2002; Henríquez-Henríquez ym., 2015; Karalunas ym., 2014; Lin ym., 2015).

1.2.1 Reaktioajan vaihtelu

ADHD-kirjallisuudessa yksilön sisäinen vaihtelu -käsite viittaa useimmiten reaktioaikojen vaihteluun (RV) (Kuntsi & Klein, 2012), joka tarkoittaa yksilön vastausnopeuden epäjohtonmukaisuutta laboratoriot tehtävän aikana (Kofler ym., 2013). Vastausnopeuden epäjohtonmukaisuuden eli kohonneen RV:n on esitetty heijastelevan suorituksen aikana hetkittäin esiintyviä epätyypillisen hitaita vastauksia, jolloin yksilön tarkkaavuus on herpaantunut tehtävästä (Klein ym., 2006; Russell ym., 2006; Tamm ym., 2012). Kohonneen RV:n on ajateltu siten olevan tarkkaavuuden ylläpidon ongelman tuottama vaste (Tamm ym., 2012).

ADHD-diagnoosin saaneilla on havaittu kohonnutta reaktioaikojen vaihtelua monen tyyppisissä tietokoneistetussa tehtävissä (Tamm ym., 2012). Kohonnut RV on replikoitu johdonmukaisimmin jatkuvan suoriutumisen tehtävissä (*continuous performance test*, CPT) (Huang-Pollock ym., 2012; Levy ym., 2018) ja stop signal -tehtävissä (Klein ym., 2006; Vaurio ym., 2009). Kohonnutta reaktioaikojen vaihtelua on havaittu myös muun muassa erilaisissa työmuistitehtävissä (Buzy ym., 2009; Klein ym., 2006), yksinkertaisissa

valintatehtävissä (Salum ym., 2019) ja ajan havaitsemisen tehtävissä (Bluschke ym., 2020; Toplak ym., 2003).

Koflerin ja kollegoiden (2013) 319 tutkimusta sisältäneen meta-analyysin mukaan ADHD:hen liittyvä kohonnut RV on toistuva löydös, joka ilmenee riippumatta oirekuvasta, tehtävätyypistä ja kontekstista. Meta-analyysin tulokset osoittavat RV:n erottelevan ADHD-ryhmän tyypillisesti kehittyvistä populaatioista hyvin lasten ja nuorten kohdalla (*Hedgen* $g = 0.76$). Useissa tutkimuksissa on havaittu, että RV erottelee ADHD-ryhmän kontrolliryhmästä paremmin kuin muut neuropsykologisten testien muuttujat, kuten keskimääräinen reaktioaika tai virheiden määrä (Klein ym., 2006; Russell ym., 2006). Lisäksi on havaittu viitteitä siitä, että yksilöt, joilla on kohonnut RV yhdessä tehtävässä, on myös kohonnut RV toisessa tehtävässä, mikä viittaisi RV:n olevan ADHD:n tunnusomainen piirre (Klein ym., 2006; Russell ym., 2006).

Yksilön sisäisen vaihtelun ollessa ADHD:n tunnusomainen piirre, tulisi sen ennustaa häiriön aiheuttamia arjen oireita ja niiden vaikutuksia toimintakykyyn. Joissakin tutkimuksissa RV:n on havaittu korreloivan sekä ADHD:n tarkkaamattomuusoireiden kanssa että ylivilkkaus-impulsiivisuus akselilla viitaten siihen, että RV ei ole yhteydessä vain yhteen tiettyyn ADHD-oireeseen tai oire-alueeseen (Epstein ym., 2003). Toisaalta taas osa tutkimuksista on löytänyt yhteyksiä vain tarkkaamattomuuden kanssa (Wählstedt, 2009; Wählstedt ym., 2009), jonka ongelmiin kohonnut RV onkin perinteisesti ADHD-kirjallisuudessa liitetty. Buzyn ja kumppaneiden (2009) tutkimuksessa merkitsevä yhteys toisaalta havaittiin vain ylivilkkauden kanssa.

Van Lieshoutin ja kollegoiden (2017) kuuden vuoden seurantatutkimuksessa havaittiin, että matalampi RV ensimmäisessä mittauspisteessä ennusti parempaa yleistä toimintakykyä. Sjöwallin ja kollegoiden (2017) 13 vuoden seurantatutkimuksessa kohonnut RV esikouluikäisillä lapsilla oli merkitsevästi yhteydessä myöhempään tarkkaamattomuusoireisiin sekä akateemiseen suoriutumiseen nuoruusiässä. Tulokset osoittivat, että parempi varhainen neurokognitiivinen toimintakyky on yhteydessä parempaan lopputulemaan ADHD:n kannalta ja että varhaiset, esimerkiksi reaktioaikojen vaihteluun tähtäävät interventiot, voisivat mahdollisesti olla hyödyllisiä myöhemmän ADHD-oireilun kannalta (Sjöwall ym., 2017; van Lieshout ym., 2017).

Vaikka ADHD:hen liittyvä yksikön sisäinen vaihtelu on johdonmukainen löydös, ei ole vielä selvää, mistä suoritustason kohonnut vaihtelu johtuu. Lukuisia kognitiivisia ja neurobiologisia

malleja on kehitetty selittämään ilmiötä (katso esim. Kofler ym., 2013). Kirjallisuudessa RV yhdistetään usein nimenomaan tarkkaavuuden ylläpidon (*sustained attention*) ongelman tuottamaksi vasteeksi eli tarkkaavuuden satunnaisiksi herpaantumisiksi tehtävän aikana (Leth-Steensen ym., 2000, Tamm ym., 2012). Yksi eniten tukea saanut neurobiologinen selitysmalli on Sonuga-Bargen ja Castellanosin (2007) lepotilaverkosto -malli (*default mode model*), jonka mukaan vaikeudet lepotilaverkoston aktivaatiosta aktiivisen kognitiivisen tilan vaihtamiseen aiheuttaisivat kohonnutta vaihtelua tarkkaavuustehtävissä suoriutumiseksi (Huang-Pollock ym., 2012; Pievsky & McGrath, 2018).

Eniten käytetty RV:n mitta on helposti laskettavissa oleva reaktioaikojen keskihajonta, jota on kuitenkin alettu kritisoida sen useista rajoitteista johtuen (Kofler ym., 2013; Tamm ym., 2012). Reaktioaikojen keskihajonta korreloi voimakkaasti reaktioaikojen keskiarvon kanssa, eikä siten ole paras tapa erotella keskimääräistä vastausnopeutta reaktioajan vaihtelusta. Korrelaatio-ongelman ratkaisemiseksi vaihtelun mittana on käytetty myös variaatiokerrointa, joka lasketaan jakamalla keskihajonta keskimääräisellä reaktioajalla (Kofler ym., 2013). Toisaalta myöskään variaatiokerroin ei ratkaise sitä ongelmaa, että yksilön reaktioaikajakaumat eivät tyypillisesti ole normaalisti jakautuneita, vaan oikealla vinoja johtuen suorituksen aikana satunnaisesti esiintyvistä epätyypillisen hitaista vastauksista (Schmiedek ym., 2007).

Vuonna 2000 julkaistussa tutkimuksessaan Leth-Steensen ja kollegat esittivät, että reaktioaikajakaumien ex-Gaussin mallintaminen voisi tarjota paremmin kuvaavan mitan reaktioaikojen vaihtelulle ja siten myös tarjota tarkempaa todistusaineistoa olemassa olevien ADHD:hen liittyvän kohonneen reaktioajan vaihtelun selittävien teorioiden puolesta tai vastaan. Malli olettaa, että jokainen reaktioaikajakauma muodostuu normaalisti jakautuneesta ja eksponentiaalisesti jakautuneesta satunnaismuuttujasta (Luce, 1986). Ex-Gaussin mallintaminen tuottaa näin ollen mitat reaktioaikajakauman normaalin komponentin keskiarvolle (μ) ja keskihajonnalle (σ), sekä erillisen mitan jakauman eksponenttikomponentin keskiarvolle (τ) eli jakauman hännälle, jonka muodostaa epätyypillisen hitaat vastaukset. Koflerin ja kollegoiden (2013) 319 tutkimusta sisältäneen meta-analyysin mukaan ADHD:hen liittyvä kohonnut RV näyttäisi olevan nimenomaan seurausta näistä satunnaisesti esiintyvistä epätyypillisen hitaista vastauksista, joita ex-Gaussin parametri τ ilmentää. Meta-analyysin mukaan ADHD-diagnoosin saaneiden lasten reaktioaikojen keskiarvo (μ) ei sen sijaan ole hitaampi kontrolliryhmään verrattuna, kun

jakauman häntä kontrolloidaan, vaikka pitkään ajateltiin, että ADHD-diagnoosin saaneiden lasten suoritus on sekä hitaampi että vaihtelevampi.

1.2.2 Muissa tilanteissa havaittu ADHD:hen liittyvä yksilön sisäinen vaihtelu

Yksilön sisäistä vaihtelua suorituksessa on tutkittu jonkin verran myös muilla tavoilla kuin mittaamalla reaktioaikojen vaihtelua erilaisissa tietokoneistetuissa tehtävissä. Rapport ja kollegat (2009) tutkivat yksilön sisäistä vaihtelua havainnoimalla oppitunnin aikana esiintyvää visuaalisen tarkkaavuuden vaihtelua. Tutkijat havaitsivat, että tyypillisesti kehittyneiden verrokkien visuaalinen tarkkaavuus pysyi annetussa tehtävässä keskimäärin kauemmin kuin ADHD-ryhmällä ja ADHD-ryhmän visuaalinen tarkkaavuus vaihteli enemmän. Rommelse ja kollegat (2008) puolestaan tutkivat ADHD:hen liitettyä motorisen ajoittamisen vaikeutta (*motor timing*). Tutkijoiden mukaan motorisen ajoittamisen vaihtelu suorituksen aikana voisi olla mahdollinen ADHD:n endofenotyyppi, sillä ADHD-ryhmän ja heidän sisarustensa suoritus vaihteli merkitsevästi enemmän verrattuna kontrolliryhmän ja heidän sisarustensa suoritukseen (Rommelse ym., 2008).

ADHD:hen liittyvää yksilön sisäistä vaihtelua mitataan tyypillisesti tehtävissä, joissa vaaditaan jatkuvia ja nopeita vastauksia ärsykkeisiin, joiden esittämistempo on määritelty valmiiksi (Russell ym., 2006). Aasen ja kollegoiden (2006) tutkimuksessa yksilön sisäistä vaihtelua tutkittiin tietokoneistetussa pelinomaisessa tehtävässä, jossa ärsykkeiden esittämistempo määräytyi osallistujan oman vastaustahdin mukaan. Yksilön sisäinen vaihtelu operationalisoitiin peräkkäisten vastausten ennustettavuuden vähentymiseksi. Tutkimustulosten mukaan ADHD-ryhmän oli vaikeampi oppia yhtenäisiä ja ennustettavia käyttäytymissarjoja verrattuna terveisiin verrokkeihin, mikä näkyi kasvaneena yksilön sisäisenä vaihteluna suorituksessa. Kohonnutta yksilön sisäistä vaihtelua selitettiin sillä, että käyttäytymiseen liittyvät valintamekanismit, palkkio ja sammuttaminen, ovat muuntuneet ADHD:ssa.

Yksilön sisäistä vaihtelua ADHD:hen liittyvässä ylivilkkaudessa on myös tutkittu (Imeraj ym., 2016; Wood ym., 2009). Woodin ja kollegoiden (2009) tutkimuksessa tarkasteltiin ADHD:n ylivilkkauskomponenttia ja liikeaktiiviteettirekisteröintidatan diagnostista käyttöä mittaamalla yksilön sisäistä vaihtelua aktiivisuustasossa kognitiivisen testipatteriston tekemisen aikana. Tutkijat havaitsivat, että yksilön sisäinen vaihtelu liikkeiden voimakkuudessa erottelee ADHD-ryhmän kontrolliryhmästä. Imeraj ja kollegat (2016) puolestaan havaitsivat ylivilkkauden vaihtelua koulupäivän aikana. ADHD-diagnoosin

saaneiden koululaisten ylivilkkausoireet ja äänekkyyys kasvoivat erityisesti koulupäivän joutilaina hetkinä merkitsevästi enemmän verrattuna muihin luokkalaisiin.

Yksilön sisäistä vaihtelua on tutkittu kognitiivisen testisuoriutumisen lisäksi myös oireiden esiintymisen osalta (Schmid ym., 2020). Schmidin ja kollegoiden (2020) tuoreessa tutkimuksessa tarkasteltiin nuorten ADHD-oireiden vaihtelua kahdeksan peräkkäisen päivän aikana arjen ympäristössä itsearviointilomakkeilla mitattuna. Tutkimustulosten mukaan yksilön tarkkaavuuden pulmien vaihtelu päivien välillä on yleistä ADHD-diagnoosin saaneilla nuorilla. Tutkimustulokset tukevat uudempia ADHD-teorioita, joiden mukaan yksilöiden välisten erojen lisäksi tarkkaamattomuus-, ylivilkkaus- ja impulsiivisuusoireiden voimakkuus vaihtelee ajassa yksilöiden sisällä (Sonuga-Barke ym., 2010).

1.3 Virtuaalitodellisuuden käyttö yksilön sisäisen vaihtelun tutkimisessa

Virtuaalitodellisuus (*virtual reality*, VR) on tietokoneella luotu ympäristö, joka kykenee havaitsemaan käyttäjän aseman ja kehon liikkeen siten, että käyttäjä tuntee olevansa läsnä simulaatiossa eli tietokoneen luomassa virtuaalisessa maailmassa (Sherman & Craig, 2003, s. 13). VR-tekniikan avulla on mahdollista luoda tosielämää jäljitteleviä simuloituja ympäristöjä, joissa pelaaja voi kokea olevansa myös vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa kuten todellisessa elämässä (Slater, 2018). VR-tekniikkaa on alettu hyödyntämään kasvavissa määrin koulutuksen, viihteen ja lääketieteen sektoreilla (Fang ym., 2019). Tutkijat ovat kiinnostuneet VR-tekniikan mahdollisuuksista myös ADHD:n neuropsykologisessa arvioinnissa (Parsons ym., 2019).

CPT-menetelmä, jota käytetään ylipäänsä hyvin laajasti ADHD:n tarkkaamattomuusoireiden arvioinnissa (Huang-Pollock ym., 2012), on myös ADHD:n VR-tutkimuksissa eniten käytetty tehtävä (Parsons ym., 2019). CPT-tehtävässä tutkittavien tulee reagoida kohdeärsykkeiden kohdalla, mutta välttää reagoimasta toisten, ennalta määriteltyjen ärsykkeiden kohdalla (Rosvold ym., 1956). VR-CPT-tehtävässä ärsykkeet esitetään tietokoneen kuvaruudun pelkistetyin taustan sijaan virtuaalisessa luokkahuoneessa (Rizzo ym., 2000). Parsons ja kollegoiden (2019) meta-analyysin tulosten perusteella myös VR-CPT erottelee ADHD-ryhmän kontrolliryhmästä. VR-CPT:tä on hiljattain käytetty myös RV:n tutkimiseen (Mangalmurti ym., 2020). Mangalmurtin ja kollegoiden (2020) tuoreessa tutkimuksessa havaittiin, että kohonnut RV VR-CPT:ssä korreloi ADHD-oireiden vakavuusasteen kanssa.

Bioulacin ja kollegoiden (2018) katsausartikkelin mukaan VR-tekniikan avulla simuloitu luokkahuone tarjoaa monia etuja verrattuna perinteisiin arviointitilanteisiin, kuten realistisemmän ympäristön häiriötekijöineen sekä mahdollisuuden mitata useita ominaisuuksia samanaikaisesti standardoiduissa olosuhteissa. Lisäksi tutkittavien tehtäväsuoriutumisen ja käyttäytymisvasteiden arvioimista voidaan tehdä reaaliajassa, minkä avulla saadaan parempi kuva tutkittavien kognitiivisista haasteista ja niiden vaikutuksista arjen tavoitteelliseen toimintaan (Mangalmurti ym., 2020; Parsons ym., 2007). VR-menetelmien avulla on myös mahdollista mitata tutkittavan pään ja käsien liikkeitä tehtävän aikana, mikä antaa uudenlaista objektiivista tietoa ADHD-oireista, jota perinteiset neuropsykologiset testit eivät pysty tarjoamaan (Díaz-Orueta ym., 2014; Parsons ym., 2007). On myös ehdotettu, että VR-tekniikkaan perustuvat neuropsykologiset testitulokset ennustaisivat paremmin lapsen toimintakykyä oikeassa ympäristössä verrattuna perinteisiin testeihin (Areces ym., 2018).

Perinteiset tietokoneistetut CPT-tehtävät eivät ole osoittautuneet hyödyllisiksi menetelmiksi ADHD:n diagnostiikan kannalta, sillä niillä on liian matala herkkyys ja tarkkuus ADHD:n suhteen (Gualtieri & Johnson, 2005). Sen vuoksi uusia, VR-tekniikkaan pohjautuvia menetelmiä kehitetään edelleen diagnostiikan tueksi. Vaikka uudet VR-menetelmät ovat edistäneet ADHD:n objektiivista arviointia, eivät tämänhetkiset menetelmät kykene silti nekään luultavasti täysin tavoittamaan ADHD-oireisiin liittyvää käyttäytymistä (Parsons ym., 2017). Esimerkiksi VR-CPT:n käyttäminen ADHD-oireiden arvioinnissa ei muuta CPT-tehtävän ydinominaisuutta eli monotonista tehtävärakennetta, joka pakottaa työskentelemään pitkiäkin aikoja kapasiteetin rajoilla. Tällainen työskentely ei muistuta arkielämän tavoitesuuntautunutta toimintaa, eikä arjen monivaiheisia tilanteita, joissa ADHD-oireet tyypillisesti aiheuttavat ongelmia (Toplak ym., 2013). Tätä neuropsykologisiin testeihin liittyvää ongelmaa kuvataan tutkimuskentällä ekologisten validiteetin ongelmaksi eli kysymykseksi siitä, miten hyvin laboratoriotestien tulokset edustavat luonnollisessa ympäristössä esiintyvää käyttäytymistä (Barkley, 1991). Yhä useampi tutkija on sitä mieltä, että tutkimuskenttä tarvitsee objektiivisia, mutta luonnollisen kaltaisia tilanteita muistuttavia arviointimenetelmiä, jotta tarkkaavuuden ja toiminnanohjauksen vaikeudet ja niiden vaikutus arjen toimintakykyyn voidaan tunnistaa paremmin (Kingstone ym., 2008; Negu ym., 2016; Parsons ym., 2017).

Tutkimusryhmämme on hiljattain kehittänyt VR-menetelmän, jonka avulla voidaan tutkia ADHD-oireiden esiintymistä arkielämän tilanteita muistuttavien tehtävien avulla (Seesjärvi

ym., 2021). Tietojemme mukaan EPELI (*Executive Performance in Everyday Living*) on ensimmäinen VR-tehtävä, jossa pelaaja suorittaa arkisia askareita kodinomaisessa VR-ympäristössä. Seesjärven ja kollegoiden (2021) tutkimuksessa EPELI:n ennustevaliditeetti osoittautui hyväksi erotellen ADHD-ryhmän kontrolliryhmästä viiden päämuuttujan osalta: kokonaispisteiden, tehtävätehokkuuden (*task efficacy*), liikkumistehokkuuden (*navigation efficacy*), ohjaimen liikkeiden määrän sekä kokonaistoimintojen määrän osalta. EPELI:n kokonaispisteiden, suoritustehokkuuden ja liikkumistehokkuuden korrelaatio ADHD-RS-IV-oirekyselyyn ja BRIEF-toiminnanohjauksen taitojen kyselyyn oli negatiivinen siten, että mitä parempi suoriutuminen näissä muuttujissa oli sitä vähemmän toiminnanohjauksen ongelmia ja ADHD-oireita ilmeni. Ohjaimen liikkeiden määrän ja kokonaistoimintojen korrelaatio ADHD-RS- ja BRIEF-kyselyiden pisteisiin oli puolestaan positiivinen. Yksilön sisäisen vaihtelun osalta Seesjärven ja kollegoiden (2021) tutkimuksessa tarkasteltiin ohjaimen painalluksia sekä ohjaimen liikkeitä EPELI:n aikana. ADHD-ryhmän suoritus oli kontrolliryhmän suoritusta vaihtelevampi kummankin muuttujan kohdalla. Tulokset esittävät alustavasti, että luonnollisten kaltaista tilannetta muistuttavien tehtävien käyttäminen voisi soveltua ADHD:hen liittyvän yksilön sisäisen vaihtelun ja tarkkaavuuden dynaamisen luonteen tutkimiseen.

1.4 Tutkimuksen tarkoitus

Reaktioajan vaihtelusta tietokoneistetuissa tehtävissä on tullut viimeisen vuosikymmenen aikana keskeinen tutkimuskohde ADHD:n kognitiivisia haasteita tarkasteltaessa. Kirjoittajan tietojen mukaan reaktioajan vaihtelua ei ole kuitenkaan tutkittu aiemmin arjen toimintaympäristöä simuloivalla arviointimenetelmällä, joka vastaa niitä arkielämän monivaiheisia tilanteita, joissa ADHD-oireet todellisuudessa ilmenevät. Tämän pro gradu -tutkimuksen tarkoituksena olikin selvittää, näkyykö uudenlaisessa, luonnollisia arkielämän tilanteita simuloivassa EPELI VR-tehtävässä samankaltaista kohonnutta yksilön sisäistä vaihtelua reaktionopeudessa kuin ADHD:n tarkkaavusoireiden arvioinnissa yleisesti käytössä olevassa CPT-tehtävässä ja onko EPELI:ssä mahdollisesti esiintyvä kohonnut reaktionopeuden vaihtelu yhteydessä ADHD:n oirealueisiin. Ajatus reaktionopeuden vaihtelun tarkemmasta tutkimisesta EPELI-pelissä nousi Seesjärven ja kollegoiden (2021) tutkimuksen yllä kuvattujen tulosten pohjalta, jotka antoivat viitteitä siitä, että EPELI voisi sopia tarkkaavuuden dynaamisen luonteen tutkimiseen.

Ensimmäiseksi tarkasteltiin, ovatko ADHD-ryhmän reaktioajat CPT-tehtävässä vaihtelevampia kuin kontrolliryhmän reaktioajat. Tässä tutkimuksessa reaktioajan vaihtelun mittana käytettiin perinteisen keskihajonnan lisäksi ex-Gaussin mallintamista, jonka sopivuudesta reaktioaikajakaumien analyysiin on runsaasti näyttöä (Kofler ym., 2013; Lethsteensen ym., 2000; Schmedek ym., 2007). Aiempien tutkimusten perusteella hypoteesina on, että ADHD:hen liittyvä kohonnut reaktioajan vaihtelu on pitkälti seurausta kohonneesta tauarvosta eli suorituksen lomassa ajoittain esiintyvistä epätyypillisen hitaista vastauksista, jotka muodostavat reaktioaikajakauman eksponenttikomponentin (Kofler ym., 2013). Lisäksi hypoteesina on, että ADHD-ryhmän reaktioaikojen keskiarvo on hitaampi vain silloin, kun keskiarvoon otetaan huomioon myös jakauman häntäpään epätyypillisen hitaat vastaukset. Kun tämä jakauman eksponenttiosa kontrolloidaan, voidaan olettaa, että ADHD-ryhmän keskiarvoinen suoritusnopeus (μ) ei ole enää hitaampi kontrolliryhmään verrattuna.

Toiseksi tarkasteltiin, onko ADHD-ryhmän reaktionopeudet EPELI:ssä vaihtelevampia kontrolliryhmän reaktionopeuksiin verrattuna. Koska EPELI:n kaltaista tehtävää ei ole aiemmin käytetty reaktioajan vaihtelun tutkimiseen, kokeiltiin tässä tutkimuksessa kahta erilaista tapaa operationalisoida reaktionopeus EPELI:stä. Ensin kokeiltiin laskea VR-lasien rekisteröimien fiksaatioiden ja ohjaimen painallusten välisiä latensseja ja toiseksi EPELI:ssä tehtyjen ohjainten painallusten välisiä latensseja. Operationalisoinnin jälkeen yksilön sisäistä vaihtelua tarkasteltiin näissä reaktionopeuksissa. EPELI:n silmänliikeaineistosta johdettujen reaktionopeuksien analysoimisessa käytettiin keskihajonnan tarkastelun lisäksi samaa ex-Gaussin menetelmää, kuin CPT:n reaktioajan vaihtelun analyysissä. Vaikka reaktioajan vaihtelua ei ole aiemmin tutkittu EPELI:n kaltaisella avoimella VR-tehtävällä, hypoteesiksi asetettiin, että ADHD-ryhmän suorituksessa esiintyy kohonnutta yksilön sisäistä vaihtelua. ADHD:hen liittyvä kohonnut reaktioajan vaihtelu on toistuva löydös useissa erityyppisissä reaktioaikatehtävissä (Tamm ym., 2012) ja lisäksi Seesjärven ja kollegoiden (2021) tutkimuksessa ADHD-ryhmän EPELI-suorituksessa havaittiin kohonnutta vaihtelua. Tarkoituksena on siis tarkastella, yleistyykö yksinkertaisissa reaktioaikatehtävissä esiintyvä kohonnut reaktioajan vaihtelu myös pelilliseen ympäristöön, joka muistuttaa ominaisuuksiltaan arkielämän tilanteita ja vaatimuksia.

Tutkimuksen kolmantena tarkoituksena oli tarkastella sitä, mittaavatko CPT:ssä ja EPELI:ssä mahdollisesti esiintyvä reaktionopeuden vaihtelu samaa ilmiötä vai heijastelevatko nämä tehtävät kenties erilaista aspekteja tarkkaavuuden dynaamisesta luonteesta. Lisäksi tarkasteltiin, ovatko CPT:stä ja EPELI:stä johdetut ex-Gaussin parametrit yhteydessä

ADHD:n oirealueisiin ADHD-RS-IV-oirekyselyllä mitattuna. Hypoteesiksi asetettiin, että kohonnut reaktioajan vaihtelu näissä tehtävissä on yhteydessä sekä tarkkaamattomuus- että ylivilkkaus-impulsiivisuusoireisiin (Epstein ym., 2003).

2 Menetelmät

2.1 Tutkittavat

Tämän tutkimuksen lopullisen otoksen ADHD-ryhmään kuului 38 ADHD-diagnoosin saanutta rekryointivaiheessa 9–12-vuotiasta lasta. ADHD-ryhmän tutkittavat hankittiin HYKS lastenpsykiatrian hoitokontaktissa olevien lasten joukosta. ADHD-ryhmään kuuluville ei saanut olla ADHD-diagnoosin lisäksi muita mielenterveyden tai käyttäytymisen häiriöitä eikä hermostollisia sairauksia (ICD-10 pääluokat F ja G, lukuun ottamatta F90). ADHD-ryhmään kuuluvista lapsista 34:llä oli käytössä vähintään yksi ADHD:n hoitoon tarkoitettu psykostimulanttilääke. Kolmella osallistujalla ei ollut käytössä lainkaan lääkitystä ADHD-oireiden hoitoon ja yhden tutkittavan vanhemmat eivät vastanneet alkukyselyyn, joten kyseiseltä tutkittavalta ei saatu lääkitystietoja, eikä ADHD-RS-IV-kyselyn pistemääriä. ADHD-ryhmää pyydettiin jättämään lääkitys ottamatta tutkimuspäivänä, jotta sen vaikutus suoritukseen olisi mahdollisimman vähäinen.

Verrokkiryhmään kuului 42 tyypillisesti kehittynyttä lasta, jotka olivat rekryointivaiheessa 9–13-vuotiaita. Verrokkiryhmän jäsenet rekrytoitiin espoolaisten koulujen rehtorien avulla, jotka välittivät tiedon tutkimuksesta oppilaiden vanhemmille. Vanhempia ohjeistettiin ottamaan yhteyttä hankkeessa työskentelevään tutkimusavustajaan, mikäli he kiinnostuivat osallistumisesta. Verrokkiryhmään kuuluville ei saanut olla mielenterveyden tai käyttäytymisen häiriöitä eikä hermostollisia sairauksia (ICD-10 pääluokat F ja G) eivätkä he saaneet kuulua koulussa erityisen tuen piiriin. Lisäksi molemmissa ryhmissä kriteerinä oli, että vähintään toinen vanhemmista puhui suomea äidinkielenään ja käytti tätä kotona. Molempien ryhmien taustamuuttujien kuvailevat tunnusluvut sekä ADHD-RS-IV-kyselyn pistemäärät ovat esitettynä taulukossa 1.

Kaikki tutkittavat osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti. Tutkittavien vanhemmille lähetettiin sähköpostitse tutkimuksen tarkoituksesta ja kulusta kertova tiedote ennen tutkimukseen osallistumista. Tutkittavat itse ja toinen vanhempi allekirjoittivat suostumuslomakkeet ensimmäisellä tutkimuskäynnillä. Tutkittaville annettiin osallistumiskorvaukseksi kaksi Finnkino-elokuvalippua. Tutkittaville tarjottiin myös mahdollisuus pyytää halutessaan palautetta tutkimustuloksistaan. Tutkimukselle on HUS eettisen toimikunnan puoltava lausunto, sekä HUS:n ja Aalto-yliopiston käyttäytymistutkimuslaboratorion tutkimusluvut.

Taulukko 1

Tämän tutkimuksen lopullisen otoksen olennaisten taustamuuttujien sekä ADHD-RS-IV-oirekyselyn pistemäärien kuvailevat tunnusluvut ryhmittäin.

	ADHD n = 38	Kontrolli n = 42	<i>t</i> / <i>U</i> / χ^2 (<i>df</i>)	<i>p</i>
Taustatiedot				
Ikä vuosina, ka(kh)	10.39 (1.13)	10.79 (1.04)	<i>U</i> (80) = 612	= .07
Sukupuoli				
tyttöjä n (%)	8 (21.1)	17 (40.5)	χ^2 (1) = 3.50	= .06
poikia n (%)	30 (78.9)	25 (59.5)		
WISC-IV, SP				
Samankaltaisuudet, ka(kh)	9.05 (3.41)	11.05 (2.33)	<i>t</i> (78) = -3.08	< .003**
Matriisipäätely, ka(kh)	8.50 (4.14)	11.00 (3.24)	<i>U</i> (80) = 508	< .005**
ADHD-RS-IV, SP				
	n = 37	n = 42		
Kokonaispisteet, ka(kh)	31.68 (8.30)	5.74 (6.04)	<i>U</i> (79) = 1532.5	< .001***
Tarkkaamattomuus, ka(kh)	16.65 (4.81)	3.24 (3.48)	<i>U</i> (79) = 1518.0	< .001***
Ylivilkkaus-impulsiivisuus, ka(kh)	15.03 (5.83)	2.50 (3.31)	<i>U</i> (79) = 1497.0	< .001***

*Huom. t = riippumattomien otosten t-testi, SP = standardipistemäärä, p-arvojen merkitsevyydet; * < .05, ** < .01, *** < .001*

2.2 Mittarit

Virtuaalitodellisuusmenetelmä EPELI. VR-menetelmä EPELI:n avulla arvioitiin tutkittavien reaktioajan vaihtelua arjen toimintaympäristöä simuloivissa tilanteissa. EPELI:n ([linkki videoon](#)) on suunnitellut dosentti Juha Salmitaival, professori Matti Laine ja PsM Erik Seesjärvi ja toteuttanut Peili Vision Oy (<https://peilivision.fi/>). EPELI:ä pelattiin 360 astetta kääntyvällä tuolilla istuen, Pico-Neo2-Eye-virtuaalilaseilla (Pico Immersive Pte. Ltd., San Francisco, CA, US), joiden resoluutio oli 3840 x 2160 pikseliä (4K) per silmä, virkistystaajuus 75 Hz ja näkökentän laajuus 101 astetta. Laseissa oli sisäänrakennettu katseenseurantaominaisuus (Tobii Spotlight Technology). Laseihin kuului langaton peliohjain, jota pidettiin kädessä pelaamisen aikana. VR-laseihin ja ohjaimen integroidut liikeseurattimet monitoroivat pelin aikana tutkittavien käden ja pään liikkeitä.

Pelissä tutkittavat suorittivat lohikäärmeahmon opastuksella 13 tehtäväkokonaisuutta, jotka sijoituivat kodinomaiseen ympäristöön. EPELI:n VR-ympäristö on asunto, johon kuuluu lastenhuone, olohuone, keittiö, vanhempien makuuhuone, kodinhoituhuone ja kylpyhuone (Kuva 1). Jokaisen tehtäväkokonaisuuden alussa lohikäärme luetteli 4–6 osatehtävää, jotka

lapsen tuli pyrkiä suorittamaan annetun ajan sisällä. Taulukossa 2 on esitelty erään tehtäväkokonaisuuden osatehtävät esimerkkinä. Koko pelissä oli yhteensä 70 osatehtävää. Yhden tehtäväkokonaisuuden kesto oli enimmillään 90 sekuntia, mutta tehtäväkokonaisuus oli mahdollista suorittaa nopeammin, jos kaikki osatehtävät sai tehtyä oikein ennen aikarajan umpeutumista. Ennen varsinaisen tehtävän alkamista lohikäärme ohjeisti lapsen harjoitusosion läpi, jonka hyväksytysti suorittamisen jälkeen lapsi pääsi aloittamaan varsinaisen tehtävän. Pelin kokonaiskesto oli siten enimmillään noin 35 minuuttia. Puolet tehtäväkokonaisuuksista sisälsi kuulonvaraisia (esimerkiksi koiran haukkuminen, lapsen yskiminen, autojen äänet) tai audiovisuaalisia (esimerkiksi huoneessa lentävä kärpänen, tv-ohjelma) häiriöärsyksiä. Häiriöärsykkeet olivat päällä koko tehtävän ajan, ellei pelaaja itse sammuttanut niitä tehtävän aikana. Tehtäväkokonaisuuksien (n=13) esitysjärjestys oli tasapainotettu niin, että joka toinen osallistuja suoritti tehtäväkokonaisuudet päinvastaisessa järjestyksessä.



Kuva 1 Kuvia EPELL:n VR-ympäristön huoneista, joissa tehtäviä suoritetaan (muokattu pro gradu -tutkielmasta Puhakka, 2021). Kuvat © Peili Vision Oy.

Jatkuvan suorituksen tehtävä (CPT). CPT-tehtävää käytettiin tässä tutkimuksessa arvioimaan lasten reaktioajan vaihtelua suorituksen aikana. Kohonneen reaktioajan vaihtelun ajatellaan heijastelevan ongelmia tarkkaavuuden ylläpidossa. Tutkimuksessa käytettiin tutkimusryhmämme kehittämää lyhennettyä versiota kuvallisesta CPT-tehtävästä (katso esim. Berger ym., 2017), joka suoritettiin kannettavalla tietokoneella Åbo Akademiassa professori Matti Laineen BrainTrain -tutkimusryhmässä (www.braintrain.fi) kehitetyn SOILE-verkkotestausohjelman avulla (ks. Waris ym., 2017). Tutkittavien tehtävänä oli painaa tietokoneen näppäimistön välilyöntiä aina kun ruudulle ilmestynyt kuva oli jokin eläinhahmo, kun taas ihmisen kuvan kohdalla (piirretty kuva Frida Kahlost) tuli pidättäytyä painamasta välilyöntiä. Kuvaärsykkeet ilmestyivät yksi kerrallaan tietokonenäytön keskelle valkoiselle taustalle 350 ms:n ajaksi. Ennen varsinaista tehtävää tutkittavat suorittivat 20 ärsyksen

mittaisen harjoitusosion. Harjoitusosiossa tuli tehdä vähintään 15 oikeaa painallusta, joista 2 tuli olla oikeita pidättäytymisiä, muutoin harjoitusosion ohjeet toistettiin ja se suoritettiin uudelleen. Harjoitusosiota sai yrittää kolme kertaa, jonka jälkeen osallistuja siirtyi varsinaiseen tehtävään huolimatta siitä, läpäisikö hän harjoitusosiota. Varsinainen tehtävä sisälsi yhteensä 180 kuvaärsykettä, jotka esitettiin 20 kuvan sarjoissa. Kuvien esitysväli vaihteli sarjoittain (1, 2 tai 4 sekuntia). Kuvien esitysvälien järjestys oli satunnaistettu niin, että kaikki kolme eri pituista esitysväliä ilmestyivät kolmen sarjan välein, mutta eri järjestyksessä. Kohdeärsykkeiden (eläinhahmojen) esiintymisosuus oli 80 % esitetyistä ärsykkeistä, mikä pysyi samana kaikissa sarjoissa. Tehtävän kokonaiskesto oli noin 10 minuuttia.

ADHD Rating Scale IV (ADHD-RS-IV). ADHD-RS-IV-oirekysely (DuPaul ym., 1998) on lapsen ADHD-oireita kartoittava kyselylomake, jonka vanhemmat täyttivät SOILE-verkkotestausalustalla. Oirekyselyssä on 18 lapsen käyttäytymistä arvioivaa väittämää, jotka perustuvat DSM-IV-tautiluokituksen mukaisiin oirekriteereihin. Käyttäytymistä pyydetään arvioimaan viimeisten 6 kuukauden perusteella neliportaisella asteikolla (harvoin tai ei koskaan = 0, joskus = 1, usein = 2, hyvin usein = 3). Kyselyssä on kaksi osa-asteikkoa, joihin liittyvät väittämät vuorottelevat kyselyssä siten, että parittomat väittämät muodostavat tarkkaamattomuusasteikon ja parilliset väittämät ylivilkkaus-impulsiivisuusasteikon. Kyselystä laskettiin kokonaispistemäärä (max = 54 pistettä) sekä molempien osa-asteikkojen pistemäärät erikseen (max = 27 pistettä).

Muut kyselyt ja mittarit. Tässä pro gradu -tutkimuksen analyysissä hyödynnettiin vain ADHD-RS-IV-kyselyn pistemääriä, mutta tutkimushankkeen muita tutkimuskysymyksiä varten tutkittavien vanhemmat täyttivät ennakkoon SOILE-verkkotestausalustalla myös toiminnanohjauksen taitoja arvioivan BRIEF-kyselyn (Behavior Rating Inventory of Executive Function; Gioia ym., 2000), Sensitivity to Punishment and Reward Questionnaire (SPSRQ-C) -kyselyn (Luman ym., 2011), tutkimusryhmämme kehittämän Toiminnanohjauksellisen tuen kyselyn, sekä tunne-elämän ja käyttäytymisen vaikeuksia arvioivan CBCL-kyselyn (suomennettu versio Child Behavior Checklist -kyselystä; Achenbach, 1991).

Tässä pro gradu -tutkimuksessa analyysin kohteena olleiden EPELI:n ja CPT:n lisäksi tutkittavat suorittivat seuraavat tehtävät. Tutkittavien sanallista ja visuaalista päättelykykyä arviointiin Wechslerin WISC-IV-testipatteriston (Wechsler, 2003) Samankaltaisuudet- ja

Matriisipäätely -osatehtävillä. Lisäksi lapset vastasivat pelitaustakyselyyn, jonka avulla arvioitiin lapsen aiempia pelikokemuksia VR-laseilla ja muilla tietokone-, pelikonsoli- tai mobiilipeillä. Tutkittavat tekivät myös EPELI:ä varten kehitetyn objektintunnistustehtävän ja sanallista työmuistia mittaavan EPELI:n ohjeiden toistotehtävän (ks. Seesjärvi ym., 2021). Lisäksi he tekivät joukon tietokonepohjaisia tehtäviä: prospektiivista muistia mittaavan Cruiser -tehtävän (Kliegel ym., 2013), työmuistia mittaavan muokatun version spatiaalisesta n-back tehtävästä (1-back ja 2-back versiot) (katso esim. Kirchner, 1958), Shoot the Target VR-tehtävän (ks. Penttilä, 2019), sekä Balloon Analogu Risk -tehtävän (Lejuez ym., 2002).

Tutkittavat vastasivat myös seuraaviin kyselyihin, joita ei kuitenkaan käytetty tämän pro gradu -tutkielman analyysissä. Tutkittavat täyttivät pahoinvointikyselyn (suomennettu versio Child Simulator Sickness Questionnaire -kyselystä; Hoefl ym., 2003), jonka avulla selvitettiin VR-tehtävän jälkeen mahdollisesti esiintyvää pahoinvointisuutta, läsnäolokyselyn (suomennettu ja lyhennetty versio Presence Questionnaire -kyselystä; Witmer ym., 2005), jossa arvioitiin VR:ssä syntynyttä läsnäolon kokemusta, sekä lapsen ja vanhemman välistä suhdetta kartoittavaan kyselyyn (Buchanan ym., 1991). ADHD-ryhmään kuuluvat tutkittavat osallistuivat lisäksi vanhempansa kanssa psykiatrisia diagnooseja ja oireita kartoittavaan M.I.N.I. KID-haastatteluun (suomennettu ja muokattu versio Mini International Neuropsychiatric Interview Kid 6.0; Sheehan ym., 1998).

Taulukko 2

Esimerkki yhdestä EPELI:n 13:sta tehtäväkokonaisuudesta osatehtävineen.

Tehtäväkokonaisuus	Tehtävänanto	Osatehtävät
Kouluun lähtö	"Nyt tehtäväsi on valmistautua kouluun lähtöön. Ota jääkaapista äidin valmistama aamupala eli leipä ja maito ja mene syömään ne pöydän ääreen. Vie sitten astiat tiskialtaaseen ja ota sen jälkeen äidin pakkaama koulureppu tuoilta. Kun kuulet tämän merkkiäänänen (ÄÄNI), sammuta pesukone. Kun kello on kolme, soita äidille, että olet lähdössä kouluun."	Ota aamupala jääkaapista Vie aamupala pöytään Syö aamupala Vie astiat tiskialtaaseen Ota reppu tuoilta Sammuta astianpesukone Soita äidille

Lohikäärmeahmo antoi pelissä lapsille suullisesti tehtävänannon, jonka kuunneltuaan lasten tuli suorittaa osatehtäviä liikkumalla virtuaaliasunnossa siirtymäpainikkeiden avulla ja kohdistamalla katseensa ja ohjaimen osoittimen osatehtävien kohteisiin ja painamalla ohjaimen näppäintä.

2.3 Kokeen kulku

Aineiston keruu tapahtui vuosien 2021–2022 aikana. Verrokkiryhmän tutkimuskäynnit toteutettiin tammikuun 2021 ja maaliskuun 2022 välisenä aikana ja ADHD-ryhmän tutkimuskäynnit toteutettiin huhtikuun 2021 ja maaliskuun 2022 välisenä aikana. Molempien ryhmien tutkimuskäynnit toteutettiin Aalto-yliopiston Magneettitalon tiloissa kahtena erillisenä tutkimuskäyntinä (noin 90 min/käynti), jotka sijoituivat aina kahdelle eri päivälle painottuen iltapäivään ja iltaan. Ennen tutkimuskäynteihin osallistumista tutkittavien vanhemmille lähetettiin linkki verkkokyselylomakkeiden täyttöön sähköpostitse tutkimuskutsukirjeen yhteydessä.

Ensimmäisellä tutkimuskäynnillä tutkittavat pelasivat VR-peli EPELI:ä (Seesjärvi ym., 2021) ja suorittivat siihen liittyvät muut tehtävät ja kyselyt (pahoinvointikysely, pelitaustakysely, läsnäolokysely, objektintunnistustehtävä ja ohjeiden toistotehtävä). EPELI:ssä oli kaksi eri tehtäväjärjestystä; parittomat koehenkilönumerot tekivät 1. järjestyksen mukaan ja parilliset 2. tehtäväjärjestyksen mukaan. Ennen pelin aloittamista tutkija ohjeisti tehtävän, säätö VR-lasit lapsen päähän sopiviksi ja varmisti, että lapsen tuoli pääsee pyörimään esteettä 360 astetta. VR-näkymän tarkkuus ja äänenvoimakkuus säädettiin ennen pelaamisen aloittamista. Tutkittavia ohjeistettiin keskeyttämään pelaaminen, jos pelin aikana ilmeni pahoinvointia tai päänsärkyä.

Ensimmäisellä tutkimuskäynnillä tutkittavat suorittivat EPELI:n lisäksi Shoot the Target -tehtävän VR-laseilla, sekä WISC-osatehtävistä samankaltaisuudet ja matriisipäätelyn. Ensimmäisellä tutkimuskäynnillä kartoitettiin myös tutkittavan kätisyys sekä kielitausta. Toisella tutkimuskäynnillä tutkittavat täyttivät suhde vanhempaan -kyselyn. Lisäksi he suorittivat tietokoneella CPT-tehtävän, Balloon Analogue Risk -tehtävän (Lejuez ym., 2002), Cruiser-tehtävän (Kliegel ym., 2013) ja n-back-tehtävän (1-back ja 2-back versiot) (Kirchner, 1958). Lisäksi ADHD-ryhmään kuuluville toteutettiin toisen tutkimuskäynnin lopuksi M.I.N.I. KID-haastattelu yhdessä huoltajan kanssa. Tutkimuskäyntien osioiden järjestys vaihteli tutkittavien välillä.

2.4 Tilastolliset menetelmät

Aineiston esikäsittelyssä ja analysoinnissa käytettiin R-ohjelmaa (R core team, 2020).

2.4.1 CPT:n reaktioaikojen esikäsittely

CPT:n reaktioaika-aineisto saatiin vain osalta tutkittavista, sillä CPT-tehtävästä käytettiin aineistonkeruun alkuvaiheessa eri versiota. Tässä tutkimuksessa CPT-analyysissä on mukana ainoastaan ne tutkittavat, jotka suorittivat tutkimusryhmämme kehittämän lyhennetyin version kuvallisesta CPT-tehtävästä (ADHD, $n = 37$; kontrolli, $n = 35$). CPT:n reaktioaika-analyysissä otettiin huomioon vain oikeiden vastausten reaktioajat (94.9 % kaikista reaktioajoista). Oikeiden vastausten reaktioajoista poistettiin ensin alle 100 ms reaktioajat, joiden voitiin olettaa olevan vahinkopainalluksia (6.9 % oikeista vastauksista). Tämän jälkeen poikkeavat havainnot poistettiin ryhmittäin eli molempien ryhmien reaktioajoille tehtiin erikseen z -muunnokset ja z -arvot, jotka olivat yli +3 tai alle -3 z -pistettä poistettiin (1.3 % ADHD-ryhmän oikeista vastauksista, 1.2 % kontrolliryhmän oikeista vastauksista) (Berger & Kiefer, 2021).

2.4.2 Reaktionopeuden operationalisointi EPELI:stä

Reaktionopeus operationalisoitiin EPELI:stä kahdella eri tavalla. Operationalisoinnin taustajatuksena oli CPT-tehtävä, jossa reaktioajaksi määritellään kohdeärsykkeen esittämisestä vastaukseen (välilyönnin painallus) kulunut aika.

Silmänliikeaineisto. Ensimmäinen tapa operationalisoida reaktionopeus EPELI:ssä liittyi VR-lasien rekisteröimien silmänliikkeiden hyödyntämiseen. Sakkadien, fiksaatioiden ja räpäytysten erotteliseksi silmänliikeaineistosta käytettiin ohjelmointikieli R:n *saccades*-pakettia (von der Malsburg, 2015). Paketti käyttää nopeusperustaista algoritmia sakkadien löytämiseen, jossa oletetaan jokaisen ajanjakson kahden sakkadin välillä olevan joko fiksaatio tai räpäytys (Engbert & Kliegl, 2003). Räpäytyksiksi määritellyt ajanjaksot poistetaan, jolloin jäljelle jää pelkät fiksaatiot. Reaktioaika määriteltiin näin ollen kohteeseen osuneen fiksaation ja kyseiseen kohteeseen tehdyn ohjaimen painalluksen väliseksi latenssiksi. Kohteella tarkoitetaan kaikkia niitä asioita ja siirtymäpainikkeita, joiden kanssa tutkittava oli vuorovaikutuksessa pelin aikana. Esimerkiksi, jos tutkittava kasteli pelissä olohuoneen kasvin, niin kohteeksi määriteltiin kyseinen kasvi ja reaktioajaksi kasviin osuneen fiksaation ja kasviin kohdistetun ohjaimen painalluksen välinen latenssi. Fiksaatioiden ja ohjaimen painallusten välisissä latensseissa otettiin huomioon kaikki pelissä tehdyt fiksaatiot ja painallukset, riippumatta siitä olivatko ne tehty kohde-esineisiin vai siirtymäpainikkeisiin ja olivatko ne relevantteja pelin etenemisen kannalta. Jokaiselle koehenkilölle kertyi pelin

aikana keskimäärin 342 edellä kuvatun kaltaista vuorovaikutustapahtumaa, joista pystyttiin määrittämään fiksaation ja painalluksen välinen latenssi.

Aineistonkeruussa oli ongelmia silmänliikkeiden rekisteröinnin kanssa, mikä johti usean osallistujan kohdalla silmänliikeaineiston menetykseen. Aineiston menetys johtui muun muassa ongelmista VR-lasien ja pelimoottorin välisessä synkronisaatiossa, josta tunnistettiin valmistajan ohjelmointivirhe. Näin ollen fiksaatioista johdetut reaktioajat pystyttiin määrittelemään vain osalle kaikista tutkimukseen osallistuneista tutkittavista (ADHD, $n = 28$; kontrolli, $n = 30$). Toinen silmänliikeaineistoon liittyvä rajoite oli päänliikkeiden merkittävä vaikutus fiksaatioiden ja sakkadien tunnistuksen luotettavuuteen. Koska fiksaatioiden ja sakkadien tunnistaminen oli epäluotettavaa aikapisteissä, joissa pää liikkui, päädyttiin käyttämään ainoastaan osaa aineistosta, joissa pää oli paikallaan. Tästä syystä menetettiin noin puolet silmänliikkeisiin liittyvistä mittaushavainnoista.

Analyysiin hyväksytystä aineistosta poistettiin vielä alle 100 ms kestävät reaktiot (7.3 % kaikista reaktioista). Tämän jälkeen poikkeavat havaintoarvot poistettiin ryhmittäin eli molempien ryhmien reaktionopeuksille tehtiin erikseen z-muunnokset ja z-arvot, jotka olivat yli 3 tai alle -3 z-pistettä poistettiin (1.9 % ADHD-ryhmän reaktionopeuksista ja 2.0 % kontrolliryhmän reaktionopeuksista). Tämän jälkeen tarkasteltiin vielä jokaisen tutkittavan reaktionopeuden keskiarvoa verrattuna koko ryhmän reaktionopeuden keskiarvoon ja ne tutkittavat, joiden reaktionopeuden keskiarvo poikkesi 1.5 kvartiilivälin pituutta, poistettiin analyyseistä. Poistamiseen päädyttiin EPELI:n teknisten ongelmien vuoksi, jotka pidensivät systemaattisesti joidenkin tutkittavien reaktionopeuksia. Kriteerin pohjalta kontrolliryhmän analyyseistä poistettiin neljä tutkittavaa.

Peliohjaimen painallukset. EPELI:ssä suoritetaan tehtäviä kohdistamalla peliohjain haluttuun kohteeseen ja painamalla ohjaimen näppäintä. Lohikäärmeen antamia tehtäviä suorittaakseen pelaajan pitää olla vuorovaikutuksessa sekä asunnossa sijaitsevien kohde-esineiden kanssa, että siirtymä-painikkeiden kanssa, joiden avulla pelaaja liikkuu asunnossa kohti haluttua kohdetta. Jos tehtävänä on esimerkiksi astianpesukoneen sammuttaminen, tulee pelaajan liikkua keittiöön siirtymäpainikkeiden avulla ja sitten painaa ohjaimen näppäintä astianpesukoneen virtanäppäimen kohdalla. Pelaaja voi myös kohdistaa ohjaimen painalluksia tehtävän etenemisen kannalta irrelevantteihin esineisiin tai siirtymä-painikkeisiin, jääden esimerkiksi leikkimään leluilla makuuhuoneeseen, vaikka tehtävänä on valmistaa ruokaa keittiössä. Toinen tapa operationalisoida reaktionopeus perustui edellä kuvattuihin ohjaimen

painalluksiin: reaktionopeus on kahden peräkkäisen peliohjaimen painalluksen välinen latenssi eli kuinka kauan pelaajalla kestää reagoida seuraavaan kohteeseen painettuaan peliohjaimella edellistä kohdetta. Latenssit jaettiin kolmeen tyyppiin: (1) kaikki latenssit, (2) tehtävän etenemisen kannalta relevantit latenssit ja (3) tehtävän etenemisen kannalta irrelevantit latenssit.

Viideltä kontrolliryhmän tutkittavalta ($n = 37$) ja yhdeltä ADHD-ryhmän tutkittavalta ($n = 37$) ei saatu peliohjaimen painallusten välisiä latensseja EPELI:ssä esiintyneiden teknisten ongelmien vuoksi. Lisäksi yhdeltä tutkittavalta poistettiin yhden osatehtävän aineisto, sillä hän otti VR-lasit pois päästään osatehtävän aikana. Painallusaineistosta poistettiin myös yhdessä osatehtävässä tehtävänä ollut rumpujen soitto, sillä tehtävä oli hyvin erityyppinen muihin EPELI:n tehtäviin verrattuna, joka teki reaktionopeuden arvioinnista epäluotettavaa.

Ensin EPELI:n painallusaineistosta poistettiin alle 100 ms latenssit, joiden oletettiin olevan vahinkopainalluksia (0.5 % kaikista latensseista). Tämän jälkeen poikkeavat havaintoarvot poistettiin aina erikseen latenssityypin mukaan ryhmittäin eli molempien ryhmien reaktionopeuksille tehtiin erikseen z-muunnokset ja z-arvot, jotka olivat yli 3 tai alle -3 z-pistettä poistettiin. Tämän jälkeen tarkasteltiin vielä jokaisen tutkittavan reaktionopeuden keskiarvoa verrattuna ryhmän reaktionopeuden keskiarvoon ja ne tutkittavat, joiden reaktionopeuden keskiarvo poikkesi 1.5 kvartiilivälin pituutta, poistettiin analyyseistä. Poistamiseen päädyttiin EPELI:n teknisten ongelmien vuoksi, jotka pidensivät systemaattisesti joidenkin tutkittavien reaktionopeuksia.

2.4.3 Tarkkaavuuden vaihtelu: ex-Gaussin parametrien estimointi

Tutkittavien CPT:n reaktioaikajakaumiin, sekä EPELI:n silmäliikkeistä johdettuihin reaktioaikajakaumiin sovitettiin ex-Gaussin jakauma. Peliohjaimen painallusten välisistä latensseista ei johdettu ex-Gaussin parametreja, jakaumien muistuttaessa enemmän eksponenttijakaumia kuin ex-Gaussin jakaumia. Reaktioaikajakaumat ovat tyypillisesti oikealle vinoja, jolloin niitä kuvaa paremmin normaalijakauman ja eksponenttijakauman yhdistelmä; ex-Gaussin jakauma (Luce, 1986). Myös tässä tutkimuksessa sekä tutkittavien CPT:n reaktioaikajakaumat, että EPELI:n silmänliikeaineiston reaktionopeusjakaumat olivat oikealle vinoja. Ex-Gaussin jakauma antaa kolme vapaata parametria: (1) μ – normaalijakauman odotusarvo, (2) σ – normaalijakauman keskihajonta ja (3) τ – eksponenttijakauman keskiarvo. Mitä suurempi τ -arvo on, sitä vinompi jakauma on kyseessä.

Ex-Gaussin parametrien estimoimiseen käytettiin ohjelmointikieli R:n sisäänrakennettua *timefit*-funktiota *retimes*-paketista (Massidda, 2013). *Timefit*-funktio käyttää suurimman uskottavuuden menetelmää parametrien estimoinnissa ja simplex-metodia optimointimenetelmänä (Nelder & Mead, 1965). Sekä CPT:n että EPELI:n kohdalla malli sovitettiin erikseen jokaisen tutkittavan reaktionopeusjakaumaan, joka muodostui koko tehtävän reaktionopeuksista. Näin ollen jokaisella tutkittavalla estimoititiin kummastakin tehtävästä kolme vapaata parametria.

2.4.4 Ryhmäerot ja yhteisvaihtelu

Ryhmäeroja taustamuuttujissa, ADHD-RS-IV-kyselyn standardipistemäärissä, sekä CPT:n ja EPELI:n vaihtelumuuttujissa tarkasteltiin normaalisti jakautuneilla muuttujilla riippumattomien otosten t-testillä ja jakaumiltaan vinojen muuttujien kohdalla Mann-Whitneyn U-testillä. Tutkittavien reaktioaikojen keskiarvot CPT-tehtävässä eivät olleet normaalisti jakautuneet, joten niille tehtiin logaritimuunnos, jonka jälkeen keskiarvojen jakauma noudatti normaalijakaumaa kummankin ryhmän osalta. Näin ollen ryhmien välisiä eroja reaktioajan keskiarvossa tarkasteltiin riippumattomien otosten t-testillä. Kategoristen muuttujien ryhmäeroja tarkasteltiin χ^2 -testillä. Efektikoon mittana riippumattomien otosten t-testin kanssa käytettiin Cohenin *d*:tä. Cohenin suosituksen mukaan *d*:n tulkitsemisessa > 0.8 viittaa suureen efektiin, > 0.5 kohtalaiseen ja > 0.2 pieneen efektiin (Cohen, 1992). Ryhmäkohtaisissa vertailuissa ryhmien koko vaihteli tarkastelun kohteena olleen muuttujan mukaan, ryhmän ollessa suurimmillaan 37 tutkittavaa ja pienimmillään 26 tutkittavaa. Aiemmissa ex-Gaussin menetelmää hyödyntäneissä RV-tutkimuksissa otoskoot ovat olleet samaa suuruusluokkaa (katso esim. Buzy ym., 2009; Kofler ym. 2014; Tarantino ym., 2013). Seesjärven ja kollegoiden (2021) EPELI:n päämuuttujien ryhmäkohtaisia eroja käsitelleessä tutkimuksessa ryhmien koko oli 38 osallistujaa.

EPELI:n ja CPT:n reaktioajoista johdettujen muuttujien (ka, kh, mu, sigma, tau) keskinäisiä yhteyksiä tarkasteltiin Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla. CPT:n ja EPELI:n vaihtelumuuttujien välistä yhteyttä ADHD:n oirealueisiin ADHD-RS-IV-oirekyselyllä mitattuna tarkasteltiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimen avulla.

3 Tulokset

3.1 CPT

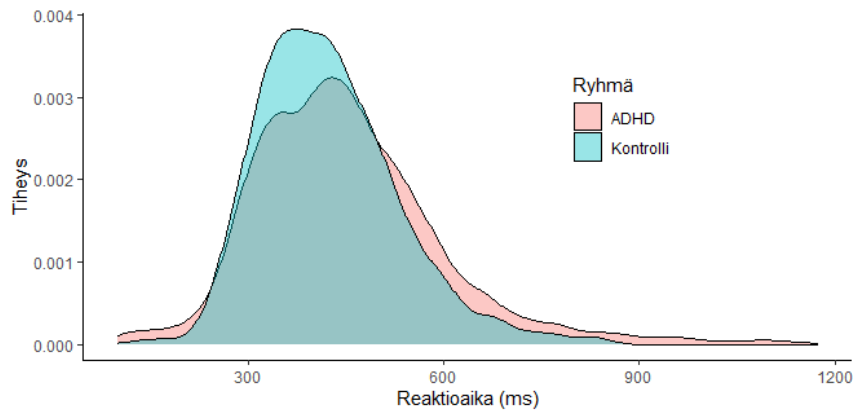
Taulukossa 3 on esitetty ryhmien väliset erot CPT:n reaktioaikojen keskiarvossa, keskihajonnassa ja ex-Gaussin parametreissa. ADHD-ryhmän reaktioaikojen keskiarvo oli tilastollisesti merkitsevästi hitaampi kontrolliryhmän reaktioajan keskiarvoon verrattuna, $t(69) = 2.24$, $p = .03$, $d = 0.52$ (keskikokoinen efektikoko). ADHD-ryhmän reaktioajan vaihtelu keskihajonnalla mitattuna oli kontrolliryhmää tilastollisesti merkitsevästi suurempaa, $t(59.5) = 6.22$, $p < .001$, $d = 1.45$ (suuri efekti). Kun epätyypillisen hitaat reaktioajat huomioitiin, ei ryhmien välillä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa suoritusnopeudessa (μ). Sen sijaan molemmat reaktioaikojen vaihtelua kuvaavat parametrit sigma ($t(69) = 2.05$, $p = .04$, $d = 0.49$) ja tau ($t(69) = 6.11$, $p < .001$, $d = 1.45$), erosivat merkitsevästi ryhmien välillä ADHD-ryhmän suorituksen ollessa vaihtelevampi kontrolliryhmään verrattuna. Kuvassa 2 on esitetty ADHD- ja kontrolliryhmän CPT-tehtävän reaktioaikojen tiheysfunktiot. Kuvasta voi havaita, että ADHD-ryhmän suorituksessa esiintyi enemmän hitaita vastauksia kontrolliryhmään verrattuna eli jakauman eksponenttiosa on korostuneempi (τ).

Taulukko 3

Erot ryhmien välillä CPT:n reaktioaikojen keskiarvossa (ms), keskihajonnassa (ms), ja ex-Gaussin parametreissa.

	ADHD n = 37	Kontrolli n = 32	t/U(df)	p	d
Perinteiset mitat	ka (kh)	ka (kh)			
Reaktioaika ka	453.57 (56.24)	424.53 (55.23)	t(69) = 2.24	= .03*	0.52
Reaktioaika kh	135.14 (34.90)	93.17 (20.77)	t(59.5) = 6.22	< .001***	1.45
Ex-Gaussin parametrit	ka (kh)	ka (kh)			
Mu (μ)	346.51 (53.77)	362.23 (69.06)	t(69) = -1.08	= .29	-0.26
Sigma (σ)	77.05 (25.95)	63.85 (28.30)	t(69) = 2.05	= .04*	0.49
Tau (τ)	107.06 (35.22)	62.30 (25.16)	t(69) = 6.11	< .001***	1.45

Huom. t = riippumattomien otosten t-testi, U = Mann-Whitney U-testi, d = efektikoon mitta Cohenin d, p-arvojen merkitsevyys; <.05, <.01**, <.001****



Kuva 2 ADHD-ryhmän ja kontrolliryhmän havaittujen reaktioaikojen tiheysfunktiot. ADHD-ryhmän reaktioaikajakauman häntä on pidempi ja paksumpi verrattuna kontrolliryhmän jakaumaan, eli heidän tehtäväsuorituksessaan esiintyy enemmän hitaita reaktioaikoja kontrolliryhmän suoritukseen verrattuna.

3.2 EPELI

3.2.1 Silmänliikeaineisto

Taulukossa 4 on esitetty ryhmien väliset erot EPELI:n silmänliikeaineistosta johdettujen reaktionopeuksien keskiarvossa, keskihajonnassa sekä ex-Gaussin parametreissa. Mikään ryhmien välisistä eroista ei yltänyt tässä aineistossa tilastollisesti merkitsevälle tasolle. Ryhmien väliltä löytyi kuitenkin pieni efekti reaktionopeuden keskihajonnassa, $t(52) = 0.77$, $p = .44$, $d = 0.21$ ja ex-Gaussin parametri τ :ssa, $t(52) = 1.12$, $p = .27$, $d = 0.31$, ADHD-ryhmän tutkittavien suorituksen ollessa vaihtelevampi kontrolliryhmän tutkittavien suoritukseen verrattuna. Myös ex-Gaussin parametri μ :ssa ilmeni pieni efekti, $t(52) = -0.78$, $p = .44$, $d = -0.21$, joka saattaa viitata siihen, että ADHD-ryhmän suoritus oli kontrolliryhmän suoritusta nopeampi silloin, kun epätyypillisen hitaat reaktionopeudet kontrolloitiin. Kuvassa 3 on esitetty ADHD- ja kontrolliryhmän EPELI:n silmänliikeaineistosta johdettujen reaktionopeuksien tiheysfunktiot.

3.2.2 Peliohjaimen painallukset

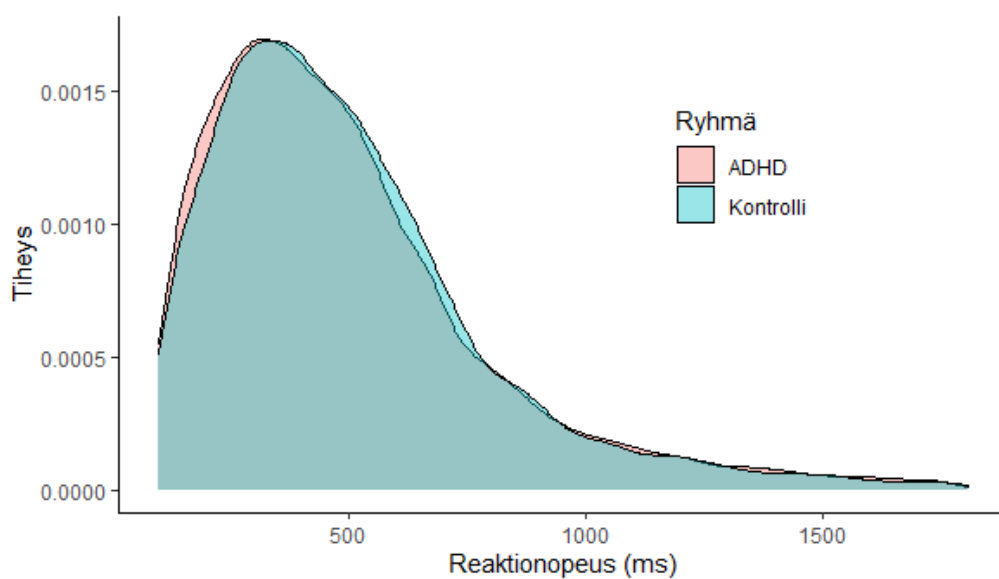
Taulukossa 5 on esitetty ryhmien kahden peräkkäisen peliohjaimen painalluksen välisten latenssien keskiarvot ja keskihajonnat latenssityypeittäin. ADHD-ryhmän latenssit olivat tilastollisesti merkitsevästi nopeampia kontrolliryhmän latensseihin verrattuna, kun tarkasteltiin kaikkia pelin aikana tehtyjä painalluksia, $t(69) = -2.25$, $p = .03$, $d = -0.53$ ja vain relevantteja painalluksia, $t(69) = -2.67$, $p = .01$, $d = -0.63$. Kontrolliryhmän latenssien keskihajonta oli suurempi relevanttien latenssien osalta, $t(69) = -3.44$, $p = .001$, $d = -0.82$.

Taulukko 4

Eröt ryhmien välillä EPELI:n silmänliikeaineistosta johdettujen reaktionopeuksien keskiarvossa (ms), keskihajonnassa (ms), ja ex-Gaussin parametreissa.

	ADHD n = 28	Kontrolli n = 26	t(df)	p	d
Perinteiset mitat	ka (kh)	ka (kh)			
Reaktionopeus ka	511.53 (76.96)	508.34 (60.87)	t(52) = 0.16	= .89	0.05
Reaktionopeus kh	295.51 (42.83)	287.48 (32.71)	t(52) = 0.77	= .44	0.21
Ex-Gaussin parametrit	ka (kh)	ka (kh)			
Mu (μ)	217.95 (63.75)	230.61 (54.51)	t(52) = -0.78	= .44	-0.21
Sigma (σ)	92.92 (42.13)	98.19 (35.06)	t(52) = -0.50	= .62	-0.14
Tau (τ)	293.60 (60.24)	277.73 (41.01)	t(52) = 1.12	= .27	0.31

Huom. t = riippumattomien otosten t-testi, U = Mann-Whitneyn U-testi, d = efektikoon mitta Cohenin d, p-arvojen merkitsevyys; <.05*, <.01**, <.001***



Kuva 3 ADHD- ja kontrolliryhmän silmänliikeaineistosta johdettujen reaktionopeuksien tiheysfunktiot.

Taulukko 5

Erot ryhmien välillä EPELI:n peliohjaimen painallusten välisten intervallien keskiarvossa (ms) ja keskihajonnassa (ms) reaktionopeustyypeittäin.

	ADHD n = 36	Kontrolli n = 35	t/U(df)	p	d
Kaikki painallukset	ka (kh)	ka (kh)			
Reaktionopeus ka	1528.73 (315.48)	1713.04 (374.00)	t(69) = -2.25	= .03*	-0.53
Reaktionopeus kh	1351.85 (173.66)	1437.277 (216.28)	t(69) = -1.84	= .07	-0.44
Relevantit					
Reaktionopeus ka	1863.92 (338.54)	2142.06 (519.04)	t(69) = -2.67	= .01**	-0.63
Reaktionopeus kh	1493.13 (274.11)	1759.29 (370.04)	t(69) = -3.44	= .001***	-0.82
Irrelevantit					
Reaktionopeus ka	1443.69 (310.93)	1597.56 (362.95)	t(69) = -1.92	= .06	-0.46
Reaktionopeus kh	1300.07 (199.76)	1339.38 (205.58)	t(69) = -0.82	= .42	-0.19

Huom. t = riippumattomien otosten t-testi, U = Mann-Whitneyn U-testi, relevantit = tehtävän kannalta relevanttien kohteiden painallusten ja siirtymäpainikkeen ja kohteen väliset latenssit, irrelevantit = tehtävän kannalta irrelevantit kohteiden painallusten ja siirtymäpainikkeen painalluksen ja kohteen painalluksen väliset latenssit, d = efektikoon mitta Cohenin d, p-arvojen merkitsevyys; <.05, <.01**, <.001****

3.3 CPT:n, EPELI:n ja ADHD-RS-IV-oirekyselyn välinen yhteisvaihtelu

Taulukossa 7 on esitetty CPT:n ja EPELI:n reaktioaikaparametrien väliset korrelaatiot. EPELI:n fiksaatioista johdetun reaktionopeuden keskihajonnan ja CPT:n reaktioajan keskihajonnan välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio ($r = .32, p = .03$). Myös EPELI:n silmänliikeaineistosta johdetut tau-parametrit ja CPT:n tau-parametrit korreloivat keskenään tilastollisesti merkitsevästi ($r = .27, p = .05$) EPELI:n silmänliikeaineiston reaktionopeuden keskihajonnan ja CPT:n reaktioajoista johdetun tau-parametrin välillä oli myös tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio ($r = .33, p = .02$). Muutoin CPT:n ja EPELI:n silmänliikeaineistosta johdettujen reaktionopeusmuuttujien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä. EPELI:n silmänliikeaineistosta ja EPELI:n painallusaineistosta johdettujen reaktionopeuksien keskiarvojen ($r = .70, p < .001$) ja keskihajontojen ($r = .56, p < .001$) välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot. EPELI:n peräkkäisistä painalluksista johdetun reaktionopeuden keskiarvo korreloi positiivisesti tilastollisesti merkitsevästi kaikkien silmänliikeaineistosta johdettujen reaktionopeusparametrien kanssa. Peräkkäisistä painalluksista johdettu reaktionopeuden keskihajonta puolestaan korreloi tilastollisesti merkitsevästi silmänliikeaineistosta johdettuun tau-parametrin ($r = .56, p < .001$).

Taulukko 7

EPELI:n silmänliikedatasta johdetun reaktioajan keskiarvon, keskihajonnan ja ex-Gaussin parametrien, EPELI:n peräkkäisten painallusten välisestä latensseista johdettujen reaktionopeuden keskiarvon ja keskihajonnan, sekä CPT:n reaktioaikadatasta johdettujen reaktioajan keskiarvon, keskihajonnan ja ex-Gaussin parametrien väliset korrelaatiot koko otoksen osalta.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
1. E-S ka	1											
2. E-S kh	.82***	1										
3. E-S Mu	.70***	.22	1									
4. E-S Sigma	.68***	.24	.96***	1								
5. E-S Tau	.54***	.87***	-.21	-.20	1							
6. E-P ka	.70***	.51***	.55***	.56***	.30*	1						
7. E-P kh	.52***	.56***	.19	.18	.46***	.82***	1					
8. CPT ka	.23	.21	.11	.10	.19	.06	-.02	1				
9. CPT kh	.23	.32*	.06	.07	.25	-.08	-.08	.53***	1			
10. CPT Mu	.04	-.03	.06	.03	-.01	.02	-.04	.76***	-.02	1		
11. CPT Sigma	.16	.22	.04	.04	.18	-.12	-.14	.54***	.73***	.40***	1	
12. CPT Tau	.25	.33*	.06	.09	.27*	.05	.04	.24	.77***	-.44***	.16	1

Huom. E-S = EPELI:n silmänliikedatasta johdetut reaktionopeudet, E-P = EPELI:n painallusdatasta johdetut reaktionopeudet, ka = reaktionopeuden keskiarvo, kh = reaktionopeuden keskihajonta, merkitsevät korrelaatiot merkattu seuraavasti; $p < .05^$, $p < .01^{**}$, $p < .001^{***}$*

Taulukossa 1 on esitetty ADHD-RS-IV-oirekyselyn standardipisteet ryhmittäin. Taulukossa 8 on esitetty CPT:n ja ADHD-RS-IV-kyselyn väliset korrelaatiot ja taulukossa 9 puolestaan EPELI:n silmänliikeaineistosta johdettujen reaktionopeusparametrien ja ADHD-RS-IV-kyselyn väliset korrelaatiot. CPT:n reaktioajan keskihajonta oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä ADHD-RS-IV-oirekyselyn kokonaispistemäärään ($r = .70$, $p < .001$), tarkkaamattomuusasteikkoon ($r = .64$, $p < .001$) sekä ylivilkkaus-impulsiivisuusasteikkoon ($r = .69$, $p < .001$). Tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä löytyi myös ex-Gaussin parametri *tau*:n ja ADHD-RS-IV-kyselyn kokonaispistemäärään ($r = .64$, $p < .001$), tarkkaamattomuusasteikon ($r = .58$, $p < .001$) ja ylivilkkaus-impulsiivisuusasteikon ($r = .64$, $p < .001$) väliltä. CPT:n reaktioajan keskiarvo ja ex-Gaussin parametri *sigma*, olivat myös tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä ADHD:n oirealueisiin, mutta yhteydet eivät olleet yhtä voimakkaita kuin keskihajonnan ja *tau*:n yhteydet oirealueisiin. EPELI:n silmänliikeaineistosta johdettujen reaktionopeusparametrien ja ADHD-RS-IV-oirekyselyn välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä.

Taulukko 8

CPT:n reaktioajan keskiarvon, keskihajonnan ja ex-Gaussin parametrien sekä ADHD-RS-IV standardipisteiden väliset Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimet koko otoksen osalta

	ka	kh	Mu	Sigma	Tau	ADHD-RS-K	ADHD-RS-T	ADHD-RS-Y-I
ka	1							
kh	.54	1						
Mu	.78	.04	1					
Sigma	.46	.70	.31	1				
Tau	.29	.72	-.31	.13	1			
ADHD-RS-K	.35**	.70***	-.03	.35**	.64***	1		
ADHD-RS-T	.24	.64***	-.11	.32**	.58***	.92	1	
ADHD-RS-Y-I	.39**	.69***	.02	.33**	.64***	.93	.75	1

Huom. ka = reaktioajan keskiarvo, kh = reaktioajan keskihajonta, ADHD-RS-K = kokonaispisteet, ADHD-RS-T = tarkkaamattomuusasteikon pisteet, ADHD-RS-Y-I = ylivilkkaus-impulsiivisuusasteikon pisteet, ADHD-RS-IV-kyselyn standardipisteiden ja CPT:n parametrien väliset merkitsevät korrelaatiot merkattu seuraavasti; $p < .05^$, $p < .01^{**}$, $p < .001^{***}$*

Taulukko 9

EPELLI:n silmänliikeaineistosta johdetun reaktioajan keskiarvon, keskihajonnan ja ex-Gaussin parametrien sekä ADHD-RS-IV standardipisteiden väliset korrelaatiot koko otoksen osalta.

	ka	kh	Mu	Sigma	Tau	ADHD-RS-K	ADHD-RS-T	ADHD-RS-Y-I
ka	1							
kh	.79	1						
Mu	.67	.17	1					
Sigma	.65	.21	.97	1				
Tau	.54	.88	-.21	-.20	1			
ADHD-RS-K	.11	.17	-.05	-.03	.15	1		
ADHD-RS-T	.05	.13	-.10	-.10	.12	.94	1	
ADHD-RS-Y-I	.17	.21	.04	.06	.15	.94	.79	1

Huom. ka = reaktionopeuden keskiarvo, kh = reaktionopeuden keskihajonta, ADHD-RS-K = kokonaispisteet, ADHD-RS-T = tarkkaamattomuusasteikon pisteet, ADHD-RS-Y-I = ylivilkkaus-impulsiivisuusasteikon pisteet, ADHD-RS-IV-kyselyn standardipisteiden ja EPELLI:n parametrien väliset merkitsevät korrelaatiot merkattu seuraavasti; $p < .05^$, $p < .01^{**}$, $p < .001^{***}$*

4 Pohdinta

Tässä pro gradu -tutkimuksessa vertailtiin 9–13-vuotiaiden ADHD-diagnoosin saaneiden ja tyypillisesti kehittyneiden lasten yksilön sisäistä reaktionopeuden vaihtelua uudenaikaisessa, luonnollisen kaltaisia arjen tilanteita simuloivassa EPELI VR-tehtävässä, sekä perinteisessä CPT reaktioaikatehtävässä. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, yleistykö yksinkertaisissa reaktioaikatehtävissä yleisesti esiintyvä kohonnut reaktioajan vaihtelu myös pelilliseen ympäristöön, joka muistuttaa ominaisuuksiltaan arkielämän tilanteita ja vaatimuksia. Reaktioajan vaihtelu on yksi johdonmukaisimmin ADHD-ryhmän kontrolliryhmästä erottelevista kognitiivisista tekijöistä (Pievsky & McGrath, 2018). Nykyisiä ADHD:n arvioinnissa käytössä olevia menetelmiä on kritisoitu siitä, että ne eivät ole oirelähtöisiä, eivätkä niiden tulokset siten ennusta tarkkaavuuden ja toiminnanohjauksen haasteiden vaikutuksia arjen todelliseen toimintakykyyn (Kingstone ym., 2008; Parsons ym., 2017, 2019). Uusia luonnollisemman kaltaisia VR-menetelmiä on kehitteillä (katso esim. Ryu ym., 2020) ja niillä on saatu hiljattain lupaavia tuloksia siitä, että ne pystyvät erottelemaan ADHD-ryhmän suorituksen kontrolliryhmän suorituksesta ja ennustamaan arjessa esiintyviä ADHD-oireita (Parsons ym., 2019; Seesjärvi ym., 2021).

Tässä tutkimuksessa CPT:n reaktioaikaparametrien havaittiin alussa asetettujen hypoteesien mukaisesti erottelevan ADHD-ryhmän kontrolliryhmästä. ADHD-ryhmän tutkittavien reaktioaikojen keskiarvo oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi kontrolliryhmään verrattuna, mutta kun epätyypillisen hitaat reaktioajat kontrolloitiin, ei tilastollisesti merkitsevää eroa suoritusnopeudessa enää ollut. ADHD-ryhmän reaktioajan vaihtelu CPT-suorituksen aikana oli tilastollisesti merkitsevästi korkeampi verrattuna kontrolliryhmän reaktioajan vaihteluun niin keskihajonnalla kuin myös ex-Gaussin parametreilla sigma ja tau mitattuna. Tässä tutkimuksessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä reaktionopeusparametreissa, jotka olivat johdettu EPELI:n silmänliikeaineistosta. EPELI:n painalluksista johdetuissa reaktionopeuden keskiarvossa ja keskihajonnassa ei myöskään havaittu hypoteesien mukaisia eroja ryhmien välillä, eikä painallusaineiston reaktionopeusjakaumat soveltuneet ex-Gaussin mallintamiseen.

CPT:ssä esiintyvän reaktioajan vaihtelun ja EPELI:n silmänliikeaineistosta johdettujen reaktionopeuksien vaihtelun välillä havaittiin tässä tutkimuksessa tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio. CPT:ssä esiintyvä kohonnut reaktioajan vaihtelu oli tässä tutkimuksessa yhteydessä ADHD-RS-IV-kyselyllä mitattuihin ADHD:n oirealueisiin, kun

taas EPELI:n silmänliikeaineistosta johdettujen reaktionopeusparametrien ja ADHD-RS-IV-oirekyselyn välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä.

4.1 Tarkkaavuuden vaihtelu CPT:ssä ja EPELI:ssä

Tämän tutkimuksen tulokset osoittivat, että lyhennetty, kuvallinen versio CPT-tehtävästä kykenee luotettavasti erottelemaan ADHD-ryhmän suorituksen kontrolliryhmän suorituksesta reaktioajan vaihtelun osalta. Tutkimustulokset tukevat aiempia tutkimuksia, joissa CPT:n kaltaisen tietokoneistetun reaktioaikatehtävän reaktioaikadataa on mallinnettu ex-Gaussin menetelmää hyödyntäen (Buzy ym., 2009; Kofler ym., 2014; Lin ym., 2015; Tarantino ym., 2013; Vaurio ym., 2009). Koflerin ja kollegoiden (2013) reaktioajan vaihtelua käsittelevän meta-analyysin mukaan ADHD:hen liittyvä kohonnut reaktioajan vaihtelu on pitkälti seurausta kohonneesta tau-arvosta eli suorituksen lomassa ajoittain esiintyvistä epätyypillisen hitaista vastauksista, jotka muodostavat reaktioaikajakauman eksponenttikomponentin. Tässä tutkimuksessa sekä reaktioaikojen keskihajonta että *tau*-parametri erottelivat ryhmät toisistaan täsmälleen yhtä suurella efektillä ($d = 1.45$). Tämän tutkimuksen tulokset olivat linjassa myös Koflerin ja kollegoiden (2013) meta-analyysin tuloksiin siitä, että ADHD-ryhmän suoritus ei ole keskimäärin hitaampi kontrolliryhmän suoritukseen verrattuna, kun reaktioaikajakauman eksponenttikomponentti kontrolloidaan. Myös ex-Gaussin parametri *sigma*, joka kuvaa reaktioaikajakauman normaalin komponentin vaihtelua, erotteli ryhmät toisistaan, mutta hypoteesin mukaisesti ero ei ollut yhtä voimakas, kuin ryhmien välinen ero *tau*-parametrissa.

EPELI:n rikkaasta aineistosta yritettiin tässä tutkimuksessa löytää tapaa operationalisoida reaktionopeus, joka muistuttaisi samaa ilmiötä kuin CPT-tehtävän reaktioaika. On huomion arvoista, että EPELI:n silmänliikeaineistosta johdettu reaktionopeus muodostui kohteen havaitsemisen ja siihen reagoimisen välisestä ajasta, kun taas CPT:ssä reaktioajaksi määritellään kohdeärsyksen esittämisestä reagointiin kulunut aika. EPELI:n silmänliikeaineistosta johdetuissa reaktionopeuksissa ja reaktionopeuden vaihtelussa oli havaittavissa hypoteesien mukainen trendi, vaikka tulokset eivät tässä aineistossa ylittäneet tilastollisesti merkitsevälle tasolle. ADHD-ryhmän reaktionopeuden keskihajonta oli 8 ms suurempi kontrolliryhmän keskihajontaan verrattuna, viitaten siihen, että ADHD-ryhmän suoritusnopeus saattaa olla hieman vaihtelevampi kontrolliryhmän suoritusnopeuteen verrattuna. Ex-Gaussin parametri tau puolestaan oli ADHD-ryhmällä 15 ms suurempi viitaten mahdollisesti siihen, että ADHD-ryhmällä saattaa esiintyä enemmän epätyypillisen hitaita reaktioita kontrolliryhmään verrattuna. Myös ex-Gaussin parametri *mu*:ssa näkyi

samansuuntainen ilmiö kuin CPT:n kohdalla μ :n ollessa pienempi ADHD-ryhmällä kontrolliryhmään verrattuna. ADHD-ryhmän pienempi μ -arvo saattaa viitata siihen, että heidän reaktionopeutensa ei ole kontrolliryhmää hitaampi silloin kun epätyypillisen hitaat reaktiot kontrolloidaan. Tässä tutkimuksessa havaitut efektit olivat kuitenkin pieniä ($d = 0.21-0.31$) ja lisätutkimusta tarvitaan tutkimustulosten vahvistamiseksi.

Tässä tutkimuksessa sekä CPT:ssä että EPELI:ssä esiintyvää reaktioajan vaihtelua mallinnettiin perinteisen keskihajonnan tarkastelun lisäksi ex-Gaussin menetelmää hyödyntäen. Reaktioaikajakaumien analysoinnilla on pitkät perinteet kognitiivisessa psykologiassa ja niiden on todistettu kuvailevan reaktioajan vaihtelua tarkemmin verrattuna perinteisiin mittoihin, kuten keskiarvoon ja keskihajontaan (Luce, 1986; Schmiedek ym., 2007). Myös ADHD:n tutkimuskentällä reaktioajan vaihtelua on alettu yhä useammin mallintamaan jakaumien tarkempaan tarkasteluun pohjautuvilla menetelmillä, kuten ex-Gaussin mallintamisella. Kuten aiemmissa tutkimuksissa niin tässäkin tutkimuksessa ex-Gaussin menetelmä sopi hyvin CPT:n reaktioaikajakaumien mallintamiseen (Lin ym., 2015; Tarantino ym., 2013). Ex-Gaussin mallintamista on käytetty hiljattain myös fiksaatioiden kestojen mallintamisessa onnistuneesti (Guy ym., 2020). Guy ja kollegat (2020) tutkivat fiksaatioiden kestoa tehtävässä, jossa tutkittavat katselivat kuvia luontomaisemista ja urbaaneista maisemista ja tulokset osoittivat, että ex-Gaussin jakauma sopi fiksaatioiden kestojen jakaumiin normaalijakaumaa paremmin. Tämän perusteella oletettiin, että ex-Gaussin mallintaminen voisi toimia myös EPELI:ssä tehdyistä fiksaatioista johdettujen reaktionopeuksien jakaumiin.

Valittu analyysimenetelmä voi kuitenkin olla yksi tekijä, joka saattaa selittää sitä, miksi EPELI:n silmänliikeaineistosta johdetuissa reaktionopeuksissa ei näy tilastollisesti merkitseviä ryhmäeroja. RV-tutkimuksissa on kritisoitu sitä, että reaktioajan keskiarvo ja keskihajonta korreloivat voimakkaasti keskenään, minkä vuoksi keskihajontaa ei nykytiedon valossa pidetä parhaana reaktioajan vaihtelun mittana (Tamm ym., 2012). Ex-Gaussin mallintamisessa reaktioajan keskiarvo lasketaan jakauman normaalista komponentista, jolloin jakauman häntäpäätä eli kohonnutta vaihtelua kuvaava parametri τ saa keskiarvoisesta reaktionopeudesta riippumattoman arvon. Tässä tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, että EPELI:n silmänliikkeistä johdetun reaktionopeuden keskiarvo ja τ -parametri korreloivat tilastollisesti merkitsevästi keskenään ($r = .54$). CPT:n vastaavien parametrien välinen korrelaatio ei puolestaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($r = .24$). ADHD-ryhmällä oli EPELI:ssä tässä tutkimuksessa yleisesti nopeampi prosessointityyli ja pienempi keskiarvo

pienentää myös hajontaa ja siten syö efektiä ryhmien välisiltä eroilta. Näin ollen tarkkaavuuden vaihtelu EPELI:ssä saattaa jäädä ylimääräisen kohinan alle, jota ei valituilla analyysimenetelmillä onnistuttu suodattamaan.

EPELI-tehtävässä itsessään saattaa myös olla sellaisia ominaisuuksia, jotka voivat helpottaa ADHD-diagnoosin saaneiden lasten tarkkaavuuden ylläpitoa ja siten häivyttää reaktionopeuden vaihtelun ryhmäeroa. Tämän tutkimuksen tutkittavat arvioivat keskimäärin EPELI:n pelaamisen olleen miellyttävä kokemus (ks. liite 1). Myös Seesjärven ja kollegoiden (2021) tutkimuksessa osallistujat arvioivat EPELI:n pelaamisen keskimäärin erittäin miellyttäväksi. EPELI:n, jossa ympäristö ja ärsykkeet vaihtuvat alinomaa, voidaan siis mahdollisesti olettaa olleen tutkittaville vähemmän pitkäväteinen CPT-tehtävään verrattuna, jossa tehtävänanto ja ärsykkeet pysyvät samana koko tehtävän ajan. Vaikka empiirinen tutkimusnäyttö aiheesta on vielä suhteellisen vähäistä, on kuitenkin tehty paljon havaintoja siitä, että ADHD-diagnoosin saaneiden lasten tarkkaavuuden haasteet ovat vahvasti kontekstista riippuvaisia (Orban ym., 2018). Vanhempien ja opettajien antamien raporttien mukaan ADHD-diagnoosin saaneet lapset vaikuttavat kokevan tyypillisesti vähemmän vaikeuksia tarkkaavuuden ylläpidossa sellaisissa tehtävissä, jotka he kokevat mielenkiintoisiksi, kuten elokuvien katselun ja videopelien pelaamisen, verrattuna esimerkiksi kouluympäristöön (Kofler ym., 2010; Rapport ym., 2009; Roberts ym., 2015). Näin ollen videopelinomainen EPELI saattaa häivyttää ryhmien välistä efektiä tarkkaavuuden vaihtelussa.

EPELI:ssä tehtävien suorittaminen vaatii myös toistuvaa pään ja käsien liikuttamista ärsykkeiden löytämiseksi ja niihin reagoimiseksi. Tutkimuksissa on havaittu, että nimenomaan liikkuminen auttaa ylläpitämään ADHD-lasten tarkkaavuutta ja keskittymistä (Orban ym., 2018; Sarver ym., 2015). CPT:n tehtävärakenne puolestaan pakottaa lapset työskentelemään pitkiäkin aikoja kapasiteetin äärirajoilla paikallaan istuen, mikä voi korostuneesti tuoda esiin tarkkaavuuden heittelemistä, joka näkyy CPT:ssä ADHD-ryhmän kohonneena reaktioajan vaihteluna. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella vaikuttaakin siltä, että reaktioajan vaihtelu ilmiönä ei yleisty pelinomaiseen arkielämän ympäristöön, eikä pelillinen VR-ympäristö ole siten välttämättä paras tapa saada esiin ADHD:hen liittyvää kohonnutta reaktioajan vaihtelua.

VR-lasien rekisteröimien fiksaatioiden ja ohjaimen painalluksen välisten latenssien lisäksi reaktionopeus operationalisoitiin EPELI:ssä kahden peräkkäisen painalluksen väliseksi

latenssiksi. EPELI:n painallusaineistosta johdetuissa reaktionopeuksissa ei havaittu hypoteesien mukaisia eroja ryhmien välillä. ADHD-ryhmä reagoi EPELI:ssä ärsyккеisiin tilastollisesti merkitsevästi nopeammalla intervallilla kontrolliryhmään verrattuna, kun tarkasteltiin kaikkia pelissä tehtyjä painalluksia sekä ainoastaan pelin etenemisen kannalta relevantteja painalluksia. Kontrolliryhmän reaktionopeuden keskihajonta oli relevanttien painallusten välisissä intervaleissa tilastollisesti merkitsevästi suurempi eli heidän reaktionopeutensa vaihteli suorituksen aikana ADHD-ryhmää enemmän. Painallusaineiston tuloksia tulkittaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon se, että keskiarvon ja keskihajonnan välinen korrelaatio oli voimakas (.75), jolloin ADHD-ryhmän huomattavasti nopeampi reagoitavuus todennäköisesti selitti myös ryhmän pienempää keskihajontaa. Painallusaineistossa yksilön sisäisen vaihtelun mittana käytettiin ainoastaan keskihajontaa, sillä reaktioaikajakaumista ei voitu estimoida ex-Gaussin parametreja jakaumien muistuttaessa enemmän eksponenttijakaumia kuin ex-Gaussin jakaumia. Lisäksi mallintaminen olisi ollut epäluotettavaa usean tutkittavan kohdalla reaktionopeuksia ollessa vain muutamia kymmeniä per tutkittava, kun esimerkiksi Leth-Steensen ja kumppanit (2000) ehdottavat, että luotettavaan mallintamiseen vaaditaan noin 70 havaintoarvoa. Näin ollen siis kahdesta reaktionopeuden operationalisointitavasta potentiaalisemmaksi vaihtoehdoksi tarkkaavuuden vaihtelun tutkimiseksi osoittautui VR-lasien rekisteröimien silmänliikkeiden hyödyntäminen.

4.2 CPT:n ja EPELI:n väliset yhteydet

Mielenkiintoinen löydös tässä tutkimuksessa oli, että CPT:n ja EPELI:n silmänliikeaineistosta johdettujen reaktionopeuksien keskihajontojen ja reaktioaikajakaumaista estimoitujen *tau*-parametrien välillä oli tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio. Myös EPELI:n reaktionopeuden keskihajonta ja CPT:n reaktioaikajakaumista johdettu *tau*-parametri olivat tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä toisiinsa. Positiiviset korrelaatiot tehtävien yksilön sisäistä vaihtelua mittaavien parametrien välillä viittaavat siihen, että tehtävät mittaavat ainakin osittain samaa ilmiötä, sillä mitä vaihtelevampi tutkittavan reaktionopeus oli toisessa tehtävässä, sitä vaihtelevampi se oli myös toisessa. Nämä tutkimustulokset tukevat aiempia löydöksiä, sillä kohonnutta RV:tä on havaittu monen tyyppisissä tehtävissä (Klein ym., 2006; Russell ym., 2006; Tamm ym., 2012).

EPELI-muuttujien ja CPT:n reaktioajan vaihtelun välillä on aiemminkin havaittu tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä (Seesjärvi ym., 2021), jotka olivat samaa suuruusluokkaa, kuin tässä

tutkimuksessa havaittu EPELI:n reaktionopeuden vaihtelun ja CPT:n reaktionopeuden vaihtelun välinen korrelaatio. Seesjärven ja kollegoiden tutkimuksessa tarkasteltiin EPELI-suorituksen yhteyttä CPT-tehtävän reaktioajan vaihteluun, jota mitattiin kyseisessä tutkimuksessa keskihajonnalla. Kohonnut reaktioajan vaihtelu CPT:ssä oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä EPELI:n päämuuttujista tehtävätehokkuuteen ($r = -.41, p < .01$), kokonaistoimintojen määrään ($r = -.41, p < .01$), liikkumistehokkuuteen ($r = -.35, p < .05$) ja ohjaimen liikkeiden määrään ($r = .29, p < .05$). EPELI-muuttujien on siis havaittu olevan yhteydessä CPT-muuttujiin, joita pidetään vielä tänäkin päivänä ADHD:n objektiivisten tutkimusmenetelmien ”kultaisena standardina”.

Aiemmissa tutkimuksissa, joissa on tarkasteltu VR-tehtävässä esiintyvän reaktioajan vaihtelun yhteyttä ja perinteisessä CPT-tehtävässä esiintyvän reaktioajan vaihteluun, on yhteys ollut voimakkaampi kuin tässä tutkimuksessa havaittu EPELI:n reaktionopeuden vaihtelun ja CPT:n reaktioajan vaihtelun välinen yhteisvaihtelu oli (Díaz-Orueta ym., 2014). Yhteyden vahvuutta tosin selittää osin se, että aiemmissa tutkimuksissa VR-tehtävänä on käytetty perinteiseen CPT-tehtävään pohjautuvaa tehtävää, jossa ärsykkeet esitetään tietokoneen kuvaruudun pelkistetyn taustan sijaan virtuaalisessa luokkahuoneessa. Tehtävien samankaltaisuuden vuoksi näissä VR-tehtävissä esiintyvän reaktioajan vaihtelun voidaankin odottaa olevan yhteydessä perinteisessä CPT:ssä esiintyvään vaihteluun. On siis ymmärrettävää, että EPELI:ssä ja perinteisessä CPT:ssä esiintyvän vaihtelun välinen yhteys ei ole yhtä voimakas, sillä EPELI on tehtävänä hyvin erityyppinen CPT:hen verrattuna.

Aiemmissa tutkimuksissa on saatu ristiriitaisia tuloksia siitä, kuinka paljon tehtävätyyppi ja tehtävän ominaisuudet, kuten esimerkiksi motivationaaliset tekijät (ulkoiset palkkiot) tai ärsykkeen esitystiheys, vaikuttavat reaktioajan vaihteluun (Kofler, 2013). Tammin ja kollegoiden (2012) katsausartikkelin mukaan nopeampi ärsykkeen esittäminen pienentää reaktioajan vaihtelun efektiä, kun taas hidas esitystempo tuo vaihtelun korostuneemmin esiin etenkin ADHD-ryhmällä. Tässä tutkimuksessa käytössä olleessa CPT-tehtävässä ärsykkeen esittämisväli vaihteli 1, 2 ja 4 sekunnin välillä, mutta analyysissä ei tarkastelu erikseen esittämisvälin vaikutusta reaktionopeuden vaihtelun voimakkuuteen. ADHD:hen liittyvää yksilön sisäistä vaihtelua mitataan tyypillisesti nimenomaan sellaisissa tehtävissä, joissa vaaditaan jatkuvia ja nopeita vastauksia ärsykkeisiin, joiden esittäminen on määritelty valmiiksi (Russell ym., 2006). EPELI on kuitenkin tehtävä, jossa ärsykkeet ovat koko ajan saatavilla, joten on mielenkiintoista pohtia, miten tämä EPELI:n ominaisuus vaikuttaa reaktionopeuden vaihtelun esiintymiseen ja voimakkuuteen.

Koska EPELI ja CPT ovat tehtävärakenteiltaan hyvin erityyppisiä tehtäviä, voisi ajatella, että niissä esiintyvä kohonnut reaktioajan vaihtelu muodostuu ainakin osittain keskenään erilaisista kognitiivisia prosesseista. Huang-Pollock ja kollegat (2012) muistuttavat ADHD-diagnoosin saaneiden CPT-suoritusta käsittelevässä meta-analysissään, että yksinkertaisimmissakin reaktioaikatehtävissä reaktioaika on useiden yhteisvaikutuksessa toimivien prosessien summa ja näiden prosessien mallintaminen ja ennustaminen on keskiössä reaktioaikadatan tulkinnassa. EPELI on oikeaa elämää muistuttava monimutkainen tehtävä ja moni eri tekijä tehtävässä vaikuttaa reaktionopeuden muodostumiseen. Toisaalta EPELI:n kehittämisen lähtökohtana ei olekaan ollut pyrkimys tuottaa muuttujia, jotka sijoittuisivat tuttuihin kokeellisesti määriteltyihin latentteihin kognitiivisiin prosesseihin. Kirjallisuudessa kiistellään myös siitä, voiko ex-Gaussian mallin erillisiä komponentteja liittää tiettyihin taustalla oleviin kognitiivisiin prosesseihin (Guy ym., 2020). Joidenkin tutkimusten mukaan jokainen kolmesta parametrasta heijastelisi eri kognitiivisia prosesseja, kuten havainnointiprosessia ja päätöksentekoa. Toisaalta taas suuri osa tutkimuksista on tullut siihen tulokseen, että ex-Gaussian parametrit eivät heijastelisi mitään tiettyjä, yksittäisiä kognitiivisia prosesseja. Sen vuoksi on ehdotettu, että ex-Gaussian parametreja ei tulisi lähteä tulkitsemaan sen tarkemmin, vaan mallintamista tulisi hyödyntää vain kuvailevana työkaluna (Matzke & Wagenmakers, 2009).

4.3 Reaktionopeuden vaihtelun yhteys ADHD:n oirealueisiin

EPELI:n kehittämisen taustalla oli ajatus siitä, että sen avulla ADHD-oireita pystytään mahdollisesti arvioimaan luotettavammin verrattuna perinteisiin neuropsykologisiin arviointimenetelmiin, sillä EPELI:n tehtävät ja tilanteet muistuttavat niitä arjen monimutkaisia tilanteita, joissa ADHD-oireet aiheuttavat oikeassakin elämässä haasteita (Seesjärvi ym., 2021). EPELI pyrkii siis osaltaan vastaamaan ADHD:n tutkimuskentällä puhututtavaan ongelmaan eli siihen, että ADHD-oireiden ja ADHD:hen liittyvien kognitiivisten haasteiden arviointiin ei ole tällä hetkellä olemassa objektiivisia arviointimenetelmiä, jotka vastaisivat arjen monimutkaisia tilanteita, jotta tarkkaavuuden ja toiminnanohjauksen vaikeudet ja niiden vaikutus arjen toimintakykyyn voidaan tunnistaa paremmin (Negu ym., 2016; Parsons ym., 2017). Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin EPELI:ssä sekä CPT:ssä esiintyvän reaktionopeuden vaihtelun yhteyttä ADHD:n oirealueisiin ADHD-RS-IV-oirekyselyllä mitattuna. EPELI-muuttujien yhteyttä ADHD-RS-oirekyselyn kokonaispisteisiin on tarkasteltu aiemmin Seesjärven ja kumppaneiden (2021) tutkimuksessa. EPELI:n päämuuttujat olivat tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä ADHD-RS-IV-

oirekyselyn kokonaispisteisiin. Kyseisessä tutkimuksessa myös CPT:n reaktioajan vaihtelu (kh) oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä ADHD-RS-IV-oirekyselyn kokonaispisteisiin. Korrelaatioiden voimakkuus ADHD-oireisiin oli sekä CPT:n reaktioajan vaihtelun, että EPELI:n päämuuttujien kohdalla erittäin merkitsevä ($r = .31-.55$).

CPT:ssä esiintyvä kohonnut reaktioajan vaihtelu oli tässä tutkimuksessa alussa asetetun hypoteesin mukaisesti tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä ADHD-RS-IV-kyselyn kokonaispistemäärään sekä tarkkaavuus- ja ylivilkkausimpulsiivisuus asteikkojen pisteisiin. Myös aiemmissa tutkimuksissa CPT:ssä esiintyvän kohonneen RV:n on havaittu korreloivan sekä ADHD:n tarkkaamattomuusoireiden kanssa että ylivilkkaus-impulsiivisuus akselilla viitaten siihen, että RV ei ole yhteydessä vain yhteen tiettyyn ADHD-oireeseen tai oire-alueeseen (Epstein ym., 2003). Toisaalta Koflerin ja kollegoiden (2013) meta-analyysin tulokset antoivat alustavasti viitteitä siitä, että ADHD:hen liittyvä kohonnut reaktioajan vaihtelu saattaa olla hieman voimakkaammin yhteydessä ylivilkkaus-impulsiivisuusoireisiin kuin tarkkaamattomuuteen. Tämän tutkimuksen tulokset tukivat näitä alustavia löydöksiä, sillä CPT:n reaktioajan vaihtelu keskihajonnalla ja tau-parametrilla mitattuna olivat hieman voimakkaammin yhteydessä ADHD-RS-kyselyn ylivilkkaus-impulsiivisuusasteikkoon ($r = .64-.69$) kuin tarkkaamattomuusasteikkoon ($r = .58-.64$). Kaikki korrelaatiot olivat kuitenkin tässä tutkimuksessa erittäin merkitseviä.

EPELI:stä johdetut reaktionopeusparametrit eivät sen sijaan olleet tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä mihinkään ADHD:n oirealueista. Tutkimustulos on alussa asetettujen hypoteesien vastainen, sillä ajatuksena oli, että arkielämän tilanteita simuloivassa EPELI:ssä esiintyvän reaktioajan vaihtelun yhteyden arkielämän tilanteissa esiintyviä ADHD-oireita kartoittavaan ADHD-RS-IV-oirekyselyyn olisi voinut olettaa olevan jopa voimakkaampi kuin CPT:ssä esiintyvän reaktioajan vaihtelun ja oirekyselyn välisen yhteyden. CPT:n kehittämisen lähtökohtana on ollut teoreettisesti määriteltyjen kognitiivisten prosessien tarkasteleminen, eikä niinkään tarkkaavuuden vaikeuksiin liittyvien arkielämän toiminnallisten vaikeuksien tavoittaminen (Kessels, 2019), kuten EPELI:ssä. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan tehtävän korkeampi näennäisvaliditeetti ei kuitenkaan parantanut mittarin ekologista validiteettia, sillä kohonnut reaktioajan vaihtelu EPELI:ssä ei ollut tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä oirekyselyllä mitattuihin ADHD-oireisiin. Tässä tutkimuksessa EPELI:ssä esiintyvässä reaktionopeuden vaihtelussa ei kuitenkaan havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä, mikä voi osittain selittää myös yhteyksien heikkoutta EPELI:ssä esiintyneen kohonneen reaktionopeuden vaihtelun ja ADHD-oirealueiden välillä. Vaikka

korrelaatiot EPELI:n ja oirekyselyn välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, noudattivat ne samankaltaista trendiä kuin CPT:n reaktioajan vaihtelun yhteys oirealueisiin siten, että vaihtelu oli hieman voimakkaammin yhteydessä ylivilkkaus-impulsiivisuusasteikkoon ($r = .15-.21$) kuin tarkkaamattomuusasteikkoon ($r = .12-.13$). Aiemmin VR-tehtävässä esiintyneen kohonneen reaktioajan vaihtelun ja ADHD-oireiden väliltä on löydetty merkitseviä yhteyksiä, sillä Mangalmurtin ja kumppaneiden (2020) tuoreessa tutkimuksessa VR-tehtävässä esiintynyt reaktioajan vaihtelu oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä diagnostisella oirekyselyllä kartoitettuun tarkkaamattomuuteen ja ylivilkkauteen. Kyseisessä tutkimuksessa VR-tehtävänä käytettiin kuitenkin perinteisestä CPT-tehtävästä muokattua VR-CPT:tä, mikä voi selittää yhteyksien voimakkuutta.

4.4 Tutkimuksen rajoitteista

Tässä tutkimuksessa ilmeni useita rajoitteita, joiden valossa tutkimustuloksia tulee tarkastella.

Reaktioaika-analyysiin liittyy ensinnäkin aina pohdinta siitä, miten poikkeavien havaintoarvojen kanssa tulisi työskennellä ja mikä ylipäänsä määrittää havainnon poikkeavaksi (Berger & Kiefer, 2021). Mietittäviä kysymyksiä ovat esimerkiksi, kuinka todennäköistä on havaita kyseinen äärimmäinen havainto ja mikä kognitiivinen prosessi johtaa kyseisen havaintoarvon esiintymiseen (Ratcliff, 1993). EPELI-datasta poikkeavien havaintojen määrittäminen oli erityisen haastavaa, sillä tehtävä on monimutkainen ja useat eri kognitiiviset prosessit vaikuttavat siihen, millaisia reaktioaikajakaumia tehtävästä muodostuu. Etenkin pitkien reaktioaikojen kohdalla täytyi miettiä huolellisesti, johtuuko pitkä reaktioaika jostakin todellisesta EPELI:ssä esiintyvistä ilmiöistä, jota ei haluta poistaa analyysistä, vai esimerkiksi virheestä siinä, miten reaktionopeus on määritetty aineistosta tai teknisistä ongelmista pelaamisen aikana. Tässä tutkimuksessa poikkeavien havaintoarvojen poistamisessa päädyttiin Bergerin ja Kieferin (2021) eri poistomenetelmiä vertailevan tutkimuksen pohjalta käyttämään z-pisteisiin perustuvaa menetelmää. Lisäksi tutkittavia poistettiin analyysistä sen perusteella, poikkesiko heidän keskiarvonsa muiden tutkittavien keskiarvosta vielä poikkeavien havaintojen poiston jälkeen, koska oletettiin, että näillä tutkittavilla on saattanut olla reaktioaikoja systemaattisesti pidentäviä teknisiä ongelmia EPELI:n pelaamisen aikana. Poikkeavien havaintoarvojen poistosta seurannut aineiston menetys on siten voinut omalta osaltaan vaikuttaa tämän tutkimuksen tutkimustuloksiin.

Toinen rajoite, mikä pitää muistaa tarkasteltaessa EPELI:n silmänliikeaineistosta johdettuja tuloksia, on aineistonkeruussa esiintyneet ongelmat silmänliikkeiden rekisteröinnissä, joiden

seurauksena noin puolet mittaushavainnoista menetettiin. Aineiston menetykseen johtaneet syyt on kuvailtu Menetelmät osion alaluvussa 2.4.2. Lisäksi silmänliikeaineistosta laskettuja reaktionopeuksia on voinut vääristää sakkadit ja fiksaatiot määrittävän silmänliikealgoritmin ominaisuudet, jotka soveltuvat kehittäjän mukaan parhaiten sakkadien ja fiksaatioiden erotteluun sellaisesta aineistosta, jonka virkistystaajuus on yli 100 Hz (von der Malsburg, 2015). EPELI:n silmänliikkeet rekisteröitiin Pico-Neo2(eye) -virtuaalilasien (Pico Immersive Pte. Ltd., San Francisco, CA, US) avulla, joiden virkistystaajuus oli 75 Hz. Silmänliikeaineiston menetys ja algoritmin mahdollinen epätarkkuus fiksaatioiden määrittämisessä on siis voinut vaikuttaa merkittävästi tämän tutkimuksen tuloksiin.

Lääkityksen vaikutus tehtäväsuoriutumiseen on ADHD:n tutkimuskentällä yksi tyypillinen virhelähde. Koflerin ja kollegoiden (2013) reaktioajan vaihtelua käsittelevän meta-analyysin tulokset osoittivat, että psykostimulanttilääkitys vaimentaa reaktioajan vaihtelua ($g = -0.74$). Sen sijaan ei-stimulanttilääkityksellä ja psykososiaalisella hoidolla ei meta-analyysissä havaittu vaikutusta reaktioajan vaihtelun voimakkuuteen. Tämän tutkimuksen ADHD-ryhmän jäsenistä suurin osa käytti vähintään yhtä ADHD-oireiden hoitoon tarkoitettua lääkeainetta ja kaikilla lääkitystä käyttävillä vähintään yksi näistä lääkeaineista oli psykostimulantti. Lääkityksen vaikutusta suoritukseen pyrittiin kontrolloimaan pyytämällä tutkittavia jättämään ADHD-lääkitys ottamatta tutkimuspäivinä. Voidaan kuitenkin olettaa, että psykostimulanttilääkityksellä oli tässäkin tutkimuksessa vaimentava vaikutus reaktioajan vaihtelun esiintymiseen suorituksessa, kuten Koflerin ja kollegoiden (2013) meta-analyysin tulokset osoittivat. EPELI:n kohdalla tulee myös pohtia sitä, millainen vaikutus suoritukseen psykososiaalisilla hoidoilla ja kuntoutuksella voi olla, sillä EPELI perustuu juuri niihin arjen tilanteisiin, jotka ovat psykososiaalisen kuntoutuksen kohteena.

Tämän tutkimuksen lopullisen otoksen ominaisuudet ja otoskoko vaikuttavat tutkimuksen tulosten yleistettävyyteen. Otoskoko oli jo entuudestaan kohtuullisen pieni, mutta pieneni entisestään aineistonkeruussa tapahtuneiden ongelmien vuoksi, joiden takia usean tutkittavan silmänliikeaineisto menetettiin. On myös huomioitavaa, että tämän tutkimuksen otoksessa pojat olivat ylliedustettuina etenkin ADHD-ryhmässä. ADHD-ryhmästä vain viidesosa oli tyttöjä, joten tämän tutkimuksen tulokset eivät välttämättä yleisty tyttöihin. Reaktioajan vaihtelun esiintymisestä eri sukupuolilla ei kirjoittajan tietojen mukaan ole tehty aiemmin tutkimusta, joten sukupuolijakauman epätasapainon vaikutuksesta tutkimustuloksiin on vaikea ottaa kantaa. Toisaalta voidaan ajatella, että tämän tutkimuksen otos heijasteli sitä tosiasiaa, että ADHD:n on todettu olevan yleisempää poikien keskuudessa (Joelsson ym., 2016). Tulee

myös huomioida, että tässä tutkimuksessa ADHD-ryhmän poissulkukriteerinä oli samanaikaissairastavuus, vaikka väestötasolla ADHD esiintyy hyvin usein samanaikaisesti oppimisvaikeuksien tai muiden psykiatristen häiriöiden kanssa (Spencer ym., 2007).

4.5 Johtopäätökset

Tämän pro gradu -tutkielman tulokset tukivat aiempia löydöksiä siitä, että CPT:ssä esiintyvä kohonnut reaktioajan vaihtelu erottelee ADHD-ryhmän kontrolliryhmästä ja että kohonnut reaktioajan vaihtelu on yhteydessä ADHD:n oirealueisiin. Erot reaktionopeuden vaihtelun esiintymisessä EPELI:ssä ei tässä tutkimuksessa ylittäneet tilastollisesti merkitsevälle tasolle, vaikka tulokset antoivat viitteitä siitä, että EPELI:n silmänliikeaineistosta johdetut reaktionopeudet saattavat soveltua reaktioajan vaihtelun tutkimiseen. Vaikka tässä tutkimuksessa EPELI:stä ei onnistuttu löytämään soveltuvaa mittaa tunnistamaan ADHD:hen liittyvää reaktioajan vaihtelua, voi EPELI:n rikkaasta ja monipuolisesta datasta löytyä jatkossa muita hyviä tapoja operationalisoida yksilön sisäistä vaihtelua.

Tamm ja kollegat (2012) esittivät reaktioajan vaihtelua käsittelevässä katsauksessaan, että tulevaisuudessa olisi tarpeellista tutkia havaitun käyttäytymisen ja reaktioajan vaihtelun yhteyttä toisiinsa. Heidän mukaansa erityisen hyödyllistä olisi, jos näitä pystyttäisiin mittaamaan samanaikaisesti keskenään. Luonnollisen kaltaisen VR-tehtävä EPELI:n monipuolinen data tarjoaa yhden mahdollisuuden monitoroida todellista käyttäytymistä epätyypillisen hitaiden reaktioaikojen yhteydessä, joiden seurausta kohonnut RV nykytutkimuksen valossa näyttäisi olevan. EPELI:n silmänliikkeistä johdetun reaktionopeuden tarkastelu voi auttaa lisäämään ymmärrystä siitä, miten ADHD-diagnoosin saaneet lapset suorittavat monimutkaisia, arkisia toiminnanohjaustehtäviä luonnollisessa ympäristössä verrattuna tyypillisesti kehittyneisiin lapsiin. Luonnollisen kaltaiset VR-menetelmät, kuten EPELI, voivat tarjota ratkaisuja perinteisiin neuropsykologisiin testeihin pohjautuvien VR-menetelmien ekologisen validiteetin rajoituksiin. Tarkkaavuuden vaihtelun laadullinen tarkastelu luonnollisemman kaltaisessa EPELI-tehtävässä voisi siis lisätä ymmärrystä ADHD-diagnoosin saaneiden lasten tarkkaavuuden ylläpitoon vaikuttavista tekijöistä ja heidän reaktioaikakäyttäytymisestään oikeassa elämässä. Lisää tutkimusta kuitenkin tarvitaan, jotta reaktioajan vaihtelulle löydettäisiin tulevaisuudessa perinteisiä tietokoneistettuja neuropsykologisia tehtäviä ekologisesti validimpi mittari, joka onnistuisi tavoittamaan ADHD-oireiden aiheuttamat arkielämän haasteet nykyisiä menetelmiä paremmin.

Lähteet

- Aase, H., Meyer, A., & Sagvolden, T. (2006). Moment-to-moment dynamics of ADHD behaviour in South African children. *Behavioral and Brain Functions*, 2, 1–13. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-2-11>
- Achenbach, T. M. (1991). *Manual for the Child Behavior Checklist/4-18 and 1991 profile*. Burlington, Vermont: University of Vermont, Department of Psychiatry.
- Areces, D., Dockrell, J., García, T., González-Castro, P., & Rodríguez, C. (2018). Analysis of cognitive and attentional profiles in children with and without ADHD using an innovative virtual reality tool. *PLoS ONE*, 13(8), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201039>
- Barkley, R. A. (1991). The ecological validity of laboratory and analogue assessment methods of ADHD symptoms. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 19, 149–178. <https://doi.org/10.1007/BF00909976>
- Barkley, R. A., & Murphy, K. R. (2011). The nature of Executive Function (EF) deficits in daily life activities in adults with ADHD and their relationship to performance on EF tests. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 33(2), 137–158. <https://doi.org/10.1007/s10862-011-9217-x>
- Berger, A., & Kiefer, M. (2021). Comparison of Different Response Time Outlier Exclusion Methods: A Simulation Study. *Frontiers in Psychology*, 12(6), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.675558>
- Berger, I., Slobodin, O., & Cassuto, H. (2017). Usefulness and Validity of Continuous Performance Tests in the Diagnosis of Attention-Deficit Hyperactivity Disorder Children. *Archives of clinical neuropsychology : the official journal of the National Academy of Neuropsychologists*, 32(1), 81–93. <https://doi.org/10.1093/arclin/acw101>
- Bioulac, S., de Sevin, E., Sagaspe, P., Claret, A., Philip, P., Micoulaud-Franchi, J. A., & Bouvard, M. P. (2018). Qu'apportent les outils de réalité virtuelle en psychiatrie de l'enfant et l'adolescent ? [What do virtual reality tools bring to child and adolescent psychiatry?]. *L'Encephale*, 44(3), 280–285. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2017.06.005>
- Bluschke, A., Zink, N., Mückschel, M., Roessner, V., & Beste, C. (2020). A novel approach to intra - individual performance variability in ADHD. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s00787-020-01555-y>

- Buchanan, C. M., Maccoby, E. E., & Dornbusch, S. M. (1991). Caught Between Parents: Adolescents' Experience in Divorced Homes. *Child Development*, 62(5), 1008-1029. <https://doi.org/10.2307/1131149>
- Buzy, W. M., Medoff, D. R., & Schweitzer, J. B. (2009). Intra-individual variability among children with ADHD on a working memory task: An EX-gaussian approach. *Child Neuropsychology*, 15(5), 441-459. <https://doi.org/10.1080/09297040802646991>
- Campbell, Z., Zakzanis, K. K., Jovanovski, D., Joordens, S., Mraz, R., & Graham, S. J. (2009). Utilizing virtual reality to improve the ecological validity of clinical neuropsychology: an fMRI case study elucidating the neural basis of planning by comparing the Tower of London with a three-dimensional navigation task. *Applied neuropsychology*, 16(4), 295-306. <https://doi.org/10.1080/09084280903297891>
- Castellanos, F. X., Sonuga-Barke, E. J., Scheres, A., Di Martino, A., Hyde, C., & Walters, J. R. (2005). Varieties of attention-deficit/hyperactivity disorder-related intra-individual variability. *Biological psychiatry*, 57(11), 1416-1423. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2004.12.005>
- Castellanos, F. X., & Tannock, R. (2002). Neuroscience of attention-deficit/hyperactivity disorder: The search for endophenotypes. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(8), 617-628. <https://doi.org/10.1038/nrn896>
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155-159. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155>
- Danckaerts, M., Sonuga-Barke, E. J. S., Banaschewski, T., Buitelaar, J., Döpfner, M., Hollis, C., Santosh, P., Rothenberger, A., Sergeant, J., Steinhausen, H. C., Taylor, E., Zuddas, A., & Coghill, D. (2010). The quality of life of children with attention deficit/hyperactivity disorder: A systematic review. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 19(2), 83-105. <https://doi.org/10.1007/s00787-009-0046-3>
- Díaz-Orueta, U., García-López, C., Crespo-Eguílaz, N., Sánchez-Carpintero, R., Climent, G., & Narbona, J. (2014). AULA virtual reality test as an attention measure: Convergent validity with Conners Continuous Performance Test. *Child Neuropsychology*, 20(3), 328-342. <https://doi.org/10.1080/09297049.2013.792332>
- DuPaul, G. J. (Ed.). (1998). *ADHD rating scale-IV: Checklists, norms, and clinical interpretation*. Guilford Press.
- Engbert, R., & Kliegl, R. (2003). Microsaccades uncover the orientation of covert attention. *Vision Research*, 43(9), 1035-1045. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(03\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(03)00084-1)

- Epstein, J. N., Erkanli, A., Conners, C. K., Klaric, J., Costello, J. E., & Angold, A. (2003). Relations between continuous performance test performance measures and ADHD behaviors. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *31*(5), 543–554.
<https://doi.org/10.1023/A:1025405216339>
- Fang, Y., Han, D., & Luo, H. (2019). A virtual reality application for assessment for attention deficit hyperactivity disorder in school-aged children. *Neuropsychiatric disease and treatment*, *15*, 1517–1523. <https://doi.org/10.2147/NDT.S206742>
- Faraone, S. V., Banaschewski, T., Coghill, D., Zheng, Y., Biederman, J., Bellgrove, M. A., Newcorn, J. H., Gignac, M., Al Saud, N. M., Manor, I., Rohde, L. A., Yang, L., Cortese, S., Almagor, D., Stein, M. A., Albatti, T. H., Aljoudi, H. F., Alqahtani, M., Asherson, P., Atwoli, L., ... Wang, Y. (2021). The World Federation of ADHD International Consensus Statement: 208 Evidence-based conclusions about the disorder. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, *128*, 789–818.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.01.022>
- Gioia, G. A., Isquith, P. K., Guy, S. C., & Kenworthy, L. (2000). *Behavior rating inventory of executive function: BRIEF*. Psychological Assessment Resources.
- Gualtieri, C. T., Johnson, L. G. (2005). ADHD: Is objective diagnosis possible? *Psychiatry (Edgmont)*, *2*(11), 44–53.
- Guy, N., Lancry-Dayana, O. C., & Pertzov, Y. (2020). Not all fixations are created equal: The benefits of using ex-Gaussian modeling of fixation durations. *Journal of vision*, *20*(10), 9. <https://doi.org/10.1167/jov.20.10.9>
- Hoefl, R. M., Vogel, J. & Bowers, C. A. (2003). *Kids get sick too: a proposed child simulator sickness questionnaire*. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 47th Annual Meeting, s. 2137–2141, Los Angeles, Yhdysvallat.
<https://doi.org/10.1177/154193120304702013>
- Huang-Pollock, C. L., Karalunas, S. L., Tam, H., & Moore, A. N. (2012). Evaluating vigilance deficits in ADHD: A meta-analysis of CPT performance. *Journal of Abnormal Psychology*, *121*(2), 360–371. <https://doi.org/10.1037/a0027205>
- Imeraj, L., Antrop, I., Roeyers, H., Deboutte, D., Deschepper, E., Bal, S., & Sonuga-Barke, E. (2016). The Impact of Idle Time in the Classroom: Differential Effects on Children With ADHD. *Journal of Attention Disorders*, *20*(1), 71–81.
<https://doi.org/10.1177/1087054713478464>
- Iriarte, Y., Díaz-Orueta, U., Cueto, E., Irazustabarrena, P., Banterla, F., & Climent, G. (2016). AULA—Advanced Virtual Reality Tool for the Assessment of Attention: Normative

- Study in Spain. *Journal of Attention Disorders*, 20(6), 542–568.
<https://doi.org/10.1177/1087054712465335>
- Joelsson, P., Chudal, R., Gyllenberg, D., Kesti, A. K., Hinkka-Yli-Salomäki, S., Virtanen, J. P., ... & Sourander, A. (2016). Demographic characteristics and psychiatric comorbidity of children and adolescents diagnosed with ADHD in specialized healthcare. *Child Psychiatry & Human Development*, 47, 574–582.
<https://doi.org/10.1007/s10578-015-0591-6>
- Karalunas, S. L., Geurts, H. M., Konrad, K., Bender, S., & Nigg, J. T. (2014). Annual research review: Reaction time variability in ADHD and autism spectrum disorders: Measurement and mechanisms of a proposed trans-diagnostic phenotype. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 55(6), 685–710.
<https://doi.org/10.1111/jcpp.12217>
- Kessels, R. P. (2019). Improving precision in neuropsychological assessment: Bridging the gap between classic paper-and-pencil tests and paradigms from cognitive neuroscience. *The Clinical Neuropsychologist*, 33, 357–368.
<https://doi.org/10.1080/13854046.2018.1518489>
- Kingstone, A., Smilek, D., & Eastwood, J. D. (2008). Cognitive Ethology: A new approach for studying human cognition. *British Journal of Psychology*, 99(3), 317–340.
<https://doi.org/10.1348/000712607X251243>
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*, 55(4), 352–358.
<https://doi.org/10.1037/h0043688>
- Klein, C., Wendling, K., Huettner, P., Ruder, H., & Peper, M. (2006). Intra-Subject Variability in Attention-Deficit Hyperactivity Disorder. *Biological Psychiatry*, 60(10), 1088–1097. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.04.003>
- Kliegel, M., Mahy, C. E., Voigt, B., Henry, J. D., Rendell, P. G., & Aberle, I. (2013). The development of prospective memory in young schoolchildren: The impact of ongoing task absorption, cue salience, and cue centrality. *Journal of Experimental Child Psychology*, 116(4), 792–810. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.07.012>
- Kofler, M. J., Alderson, R. M., Raiker, J. S., Bolden, J., Sarver, D. E., & Rapport, M. D. (2014). Working memory and intraindividual variability as neurocognitive indicators in ADHD: Examining competing model predictions. *Neuropsychology*, 28(3), 459–471. <https://doi.org/10.1037/neu0000050>

- Kofler, M. J., Rapport, M. D., Bolden, J., Sarver, D. E., & Raiker, J. S. (2010). ADHD and working memory: the impact of central executive deficits and exceeding storage/rehearsal capacity on observed inattentive behavior. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 38(2), 149–161. <https://doi.org/10.1007/s10802-009-9357-6>
- Kofler, M. J., Rapport, M. D., Sarver, D. E., Raiker, J. S., Orban, S. A., Friedman, L. M., & Kolomeyer, E. G. (2013). Reaction time variability in ADHD: A meta-analytic review of 319 studies. *Clinical Psychology Review*, 33(6), 795–811. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2013.06.001>
- Lejuez, C. W., Read, J. P., Kahler, C. W., Richards J. B., Ramsey, S. E., Stuart, G. L., Strong, D. R., & Brown, R. A. (2002). Evaluation of a behavioral measure of risk taking: the Balloon Analogue Risk Task (BART). *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(2), 75-84. <https://doi.org/10.1037//1076-898x.8.2.75>
- Leth-Steensen, C., Elbaz, Z. K., & Douglas, V. I. (2000). Mean response times, variability, and skew in the responding of ADHD children: a response time distributional approach. *Acta psychologica*, 104(2), 167–190. [https://doi.org/10.1016/s0001-6918\(00\)00019-6](https://doi.org/10.1016/s0001-6918(00)00019-6)
- Lin, H. Y., Hwang-Gu, S. L., & Gau, S. S. F. (2015). Intra-individual reaction time variability based on ex-Gaussian distribution as a potential endophenotype for attention-deficit/hyperactivity disorder. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 132(1), 39–50. <https://doi.org/10.1111/acps.12393>
- Levy, F., Pipingas, A., Harris, E. V., Farrow, M., & Silberstein, R. B. (2018). Continuous performance task in ADHD: Is reaction time variability a key measure? *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 14, 781–786. <https://doi.org/10.2147/NDT.S158308>
- Luce, R. D. (1986). *Response times: Their role in inferring elementary mental organization*. New York: Oxford University Press.
- Luman, M., van Meel, C. S., Oosterlaan, J., & Geurts, H. M. (2011). Reward and punishment sensitivity in children with ADHD: validating the Sensitivity to Punishment and Sensitivity to Reward Questionnaire for children (SPSRQ-C). *Journal of abnormal child psychology*, 40(1), 145–157. <https://doi.org/10.1007/s10802-011-9547-x>
- Mangalmurti, A., Kistler, W. D., Quarrie, B., Sharp, W., Persky, S., & Shaw, P. (2020). Using virtual reality to define the mechanisms linking symptoms with cognitive deficits in attention deficit hyperactivity disorder. *Scientific Reports*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56936-4>

- Massidda, D. (2013). *Retimes: Reaction time analysis*. R Package Version 0.1-2. Vienna, Austria: The R Foundation.
- Matzke, D., & Wagenmakers, E.-J. (2009). Psychological interpretation of the ex-Gaussian and shifted Wald parameters: A diffusion model analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(5), 798–817, <https://doi.org/10.3758/PBR.16.5.798>.
- Negu, A., Matu, S. A., Sava, F. A., & David, D. (2016). Virtual reality measures in neuropsychological assessment: A meta-analytic review. *Clinical Neuropsychologist*, 30(2), 165–184. <https://doi.org/10.1080/13854046.2016.1144793>
- Nelder, J. A., & Mead, R. (1965). A Simplex Method for Function Minimization. *The Computer Journal*, 7(4), 308–313. <https://doi.org/10.1093/comjnl/7.4.308>
- Orban, S. A., Rapport, M. D., Friedman, L. M., Eckrich, S. J., & Kofler, M. J. (2018). Inattentive Behavior in Boys with ADHD during Classroom Instruction: the Mediating Role of Working Memory Processes. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 46(4), 713–727. <https://doi.org/10.1007/s10802-017-0338-x>
- Parsons, T. D., Bowerly, T., Buckwalter, J. G., & Rizzo, A. A. (2007). A controlled clinical comparison of attention performance in children with ADHD in a virtual reality classroom compared to standard neuropsychological methods. *Child Neuropsychology*, 13(4), 363–381. <https://doi.org/10.1080/13825580600943473>
- Parsons, T. D., Carlew, A. R., Magtoto, J., & Stonecipher, K. (2017). The potential of function-led virtual environments for ecologically valid measures of executive function in experimental and clinical neuropsychology. *Neuropsychological Rehabilitation*, 27(5), 777–807. <https://doi.org/10.1080/09602011.2015.1109524>
- Parsons, T. D., Duffield, T., & Asbee, J. (2019). A Comparison of Virtual Reality Classroom Continuous Performance Tests to Traditional Continuous Performance Tests in Delineating ADHD: a Meta-Analysis. *Neuropsychology Review*, 29(3), 338–356. <https://doi.org/10.1007/s11065-019-09407-6>
- Penttilä, A. (2019). *Virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen neglect-oireyhtymän hoidossa ja diagnoosissa* [kandidaatin tutkielma, Oulun yliopisto]. Jultika-julkaisuarkisto. <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201905071614.pdf>
- Pievsky, M. A., & McGrath, R. E. (2018). The Neurocognitive Profile of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Review of Meta-Analyses. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 33(2), 143–157. <https://doi.org/10.1093/arclin/acx055>
- Polanczyk, G. V., Willcutt, E. G., Salum, G. A., Kieling, C., & Rohde, L. A. (2014). ADHD prevalence estimates across three decades: An updated systematic review and meta-

- regression analysis. *International Journal of Epidemiology*, 43(2), 434–442.
<https://doi.org/10.1093/ije/dyt261>
- Puhakka, J. (2021). *Virtuaalitodellisuuteen pohjautuvan Epeli-menetelmän hyödyntäminen lasten ADHD:n arvioinnissa*. [pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto]. Helda-julkaisuarkisto. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:hulib-202106303291>
- Rappoport, M. D., Bolden, J., Kofler, M. J., Sarver, D. E., Raiker, J. S., & Alderson, R. M. (2009). Hyperactivity in boys with attentiondeficit/hyperactivity disorder (ADHD): A ubiquitous core symptoms or manifestation of working memory deficits. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 37, 521–534. <https://doi.org/10.1007/s10802-008-9287-8>
- Ratcliff R. (1993). Methods for dealing with reaction time outliers. *Psychological bulletin*, 114(3), 510–532. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.114.3.510>
- Rizzo, A. A., Buckwalter, J. G., Bowerly, T., Van Der Zaag, C., Humphrey, L., Neumann, U., ... & Sisemore, D. (2000). The virtual classroom: a virtual reality environment for the assessment and rehabilitation of attention deficits. *CyberPsychology & Behavior*, 3, 483–499. <https://doi.org/10.1089/10949310050078940>
- Roberts, W., Milich, R., & Barkley, R. (2015). *Primary symptoms, diagnostic criteria, subtyping, and prevalence of ADHD*. In R. Barkley (Ed.), *Attention-deficit hyperactivity disorder* (4th ed., pp. 50–80). New York: Guilford.
- Rommelse, N. N. J., Altink, M. E., Oosterlaan, J., Beem, L., Buschgens, C. J. M., Buitelaar, J., & Sergeant, J. A. (2008). Speed, variability, and timing of motor output in ADHD: Which measures are useful for endophenotypic research? *Behavior Genetics*, 38(2), 121–132. <https://doi.org/10.1007/s10519-007-9186-8>
- Rosvold, H. E., Mirsky, A. F., Sarason, I., Bransome, E. D., Jr. & Beck, L. H. (1956). A continuous performance test of brain damage. *Journal of Consulting Psychology*, 20, 343–350. <https://doi.org/10.1037/h0043220>
- Russell, V. A., Oades, R. D., Tannock, R., Killeen, P. R., Auerbach, J. G., Johansen, E. B., & Sagvolden, T. (2006). Response variability in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A neuronal and glial energetics hypothesis. *Behavioral and Brain Functions*, 2, 1–25. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-2-30>
- Ryu, S. H., Oh, S., Lee, S., & Chung, T.-M. (2020). A novel approach to diagnose ADHD using virtual reality. *Future data and security engineering*, 12466, 260–272. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63924-2_15
- Salum, G. A., Sato, J. R., Manfro, A. G., Pan, P. M., Gadelha, A., do Rosário, M. C., Polanczyk, G. V., Castellanos, F. X., Sonuga-Barke, E., & Rohde, L. A. (2019).

- Reaction time variability and attention-deficit/hyperactivity disorder: is increased reaction time variability specific to attention-deficit/hyperactivity disorder? Testing predictions from the default-mode interference hypothesis. *Attention deficit and hyperactivity disorders*, 11(1), 47–58. <https://doi.org/10.1007/s12402-018-0257-x>
- Sarver, D. E., Rapport, M. D., Kofler, M. J., Raiker, J. S., & Friedman, L. M. (2015). Hyperactivity in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD): Impairing Deficit or Compensatory Behavior? *Journal of Abnormal Child Psychology*, 43(7), 1219–1232. <https://doi.org/10.1007/s10802-015-0011-1>
- Schmid, J., Stadler, G., Dirk, J., Fiege, C., & Gawrilow, C. (2020). ADHD Symptoms in Adolescents' Everyday Life: Fluctuations and Symptom Structure Within and Between Individuals. *Journal of Attention Disorders*, 24(8), 1169–1180. <https://doi.org/10.1177/1087054716629214>
- Schmiedek, F., Oberauer, K., Wilhelm, O., Süß, H. M., & Wittmann, W. W. (2007). Individual Differences in Components of Reaction Time Distributions and Their Relations to Working Memory and Intelligence. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(3), 414–429. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.136.3.414>
- Seesjärvi, E., Puhakka, J., Aronen, E. T., Lipsanen, J., Mannerkoski, M., Hering, A., Zuber, S., Kliegel, M., Laine, M., & Salmi, J. (2021). Quantifying ADHD Symptoms in Open-Ended Everyday Life Contexts With a New Virtual Reality Task. *Journal of Attention Disorders*. <https://doi.org/10.1177/10870547211044214>
- Sheehan, D. V., Lecrubier, Y., Sheehan, K. H., Amorim, P., Janavs, J., Weiller, E., Hergueta, T., Baker, R., & Dunbar, G. C. (1998). The Mini-International Neuropsychiatric Interview (MINI): The development and validation of a structured diagnostic psychiatric interview for DSM-IV and ICD-10. *Journal of Clinical Psychiatry*, 59(Suppl. 20), 22–33; quiz 34–57.
- Sherman, W., & Craig, A. (2003). *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. Morgan Kaufmann Publishers.
- Sjöwall, D., Bohlin, G., Rydell, A. M., & Thorell, L. B. (2017). Neuropsychological deficits in preschool as predictors of ADHD symptoms and academic achievement in late adolescence. *Child Neuropsychology*, 23(1), 111–128. <https://doi.org/10.1080/09297049.2015.1063595>
- Slater, M. (2018). Immersion and the illusion of presence in virtual reality. *British Journal of Psychology*, 109(3), 431–433. <https://doi.org/10.1111/bjop.12305>

- Son, H.M., Lee, D.G., Joung, Y.-S., Lee, J.W., Seok, E.J., Chung, T.-M. and Oh, S. (2021), A novel approach to diagnose ADHD using virtual reality, *International Journal of Web Information Systems*, 17(5), 516-536. <https://doi.org/10.1108/IJWIS-03-2021-0021>
- Sonuga-Barke E. J. (2002). Psychological heterogeneity in AD/HD – a dual pathway model of behaviour and cognition. *Behavioural brain research*, 130(1-2), 29–36. [https://doi.org/10.1016/s0166-4328\(01\)00432-6](https://doi.org/10.1016/s0166-4328(01)00432-6)
- Sonuga-Barke, E., Bitsakou, P., & Thompson, M. (2010). Beyond the Dual Pathway Model: Evidence for the Dissociation of Timing, Inhibitory, and Delay-Related Impairments in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 49(4), 345–355. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2009.12.018>
- Spencer, T. J., Biederman, J. & Mick, E. (2007). Attention-deficit/hyperactivity disorder: diagnosis, lifespan, comorbidities, and neurobiology. *Journal of Pediatric Psychology*, 32, 631–642. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsm005>
- Tamm, L., Narad, M. E., Antonini, T. N., O'Brien, K. M., Hawk, L. W., & Epstein, J. N. (2012). Reaction Time Variability in ADHD: A Review. *Neurotherapeutics*, 9(3), 500–508. <https://doi.org/10.1007/s13311-012-0138-5>
- Tarantino, V., Cutini, S., Mogentale, C., & Bisiacchi, P. S. (2013). Time-on-task in children with ADHD: an ex-Gaussian analysis. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, 19(7), 820–828. <https://doi.org/10.1017/S1355617713000623>
- Toplak, M. E., Rucklidge, J. J., Hetherington, R., John, S. C. F., & Tannock, R. (2003). Time perception deficits in attention-deficit/hyperactivity disorder and comorbid reading difficulties in child and adolescent samples. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 44(6), 888–903. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00173>
- Toplak, M. E., West, R. F., & Stanovich, K. E. (2013). Practitioner Review: Do performance-based measures and ratings of executive function assess the same construct? *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 54(2), 131–143. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12001>
- van Lieshout, M., Luman, M., Twisk, J. W. R., Faraone, S. V., Heslenfeld, D. J., Hartman, C. A., Hoekstra, P. J., Franke, B., Buitelaar, J. K., Rommelse, N. N. J., & Oosterlaan, J. (2017). Neurocognitive Predictors of ADHD Outcome: a 6-Year Follow-up Study.

- Journal of Abnormal Child Psychology*, 45(2), 261–272.
<https://doi.org/10.1007/s10802-016-0175-3>
- Vaurio, R. G., Simmonds, D. J., & Mostofsky, S. H. (2009). Increased intra-individual reaction time variability in attention-deficit/hyperactivity disorder across response inhibition tasks with different cognitive demands. *Neuropsychologia*, 47(12), 2389–2396. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.01.022>
- von der Malsburg, T. (2015). *Saccades : An R package for detecting fixations in raw eye tracking data*. Vienna, Austria: The R Foundation.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.31799>
- Waris, O., Soveri, A., Ahti, M., Hoffing, R. C., Ventus, D., Jaeggi, S. M., Seitz, A. R., & Laine, M. (2017). A latent factor analysis of working memory measures using large-scale data. *Frontiers in Psychology*, 8(6), 1–14.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01062>
- Wechsler, D. (2003). *Wechsler intelligence scale for children—Fourth Edition (WISC-IV)*. The Psychological Corporation.
- Witmer, B. G., Jerome, C. J., & Singer, M. J. (2005). The factor structure of the presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 14(3), 298–312.
<https://doi.org/10.1162/105474605323384654>
- Wolraich, M., Brown, L., Brown, R. T., DuPaul, G., Earls, M., Feldman, H. M., Ganiats, T. G., Kaplanek, B., Meyer, B., Perrin, J., Pierce, K., Reiff, M., Stein, M. T., & Visser, S. (2011). ADHD: Clinical Practice Guideline for the Diagnosis, Evaluation and Treatment of Attention-Deficit/Hype. *Pediatrics*, 128(5), 1007–1022.
<https://doi.org/10.1542/peds.2011-2654.ADHD>
- Wood, A. C., Asherson, P., Rijdsdijk, F., & Kuntsi, J. (2009). Is Overactivity a Core Feature in ADHD? Familial and Receiver Operating Characteristic Curve Analysis of Mechanically Assessed Activity Level. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 48(10), 1023–1030.
<https://doi.org/10.1097/CHI.0b013e3181b54612>
- Wählstedt C. (2009). Neuropsychological deficits in relation to symptoms of ADHD: independent contributions and interactions. *Child neuropsychology: a journal on normal and abnormal development in childhood and adolescence*, 15(3), 262–279.
<https://doi.org/10.1080/09297040802524198>
- Wählstedt, C., Thorell, L. B., & Bohlin, G. (2009). Heterogeneity in ADHD: neuropsychological pathways, comorbidity and symptom domains. *Journal of*

abnormal child psychology, 37(4), 551–564.

<https://doi.org/10.1007/s10802-008-9286-9>

Liitteet

Liite 1 Läsnaolokyselyn yhteydessä kysytyt lisäkysymykset koskien EPELI:n pelikokemusta.
Vastausvaihtoehdot 1-7 (1 = ei ollenkaan, 7 = erittäin)

Kysymykset:	ADHD-ryhmä			Kontrolliryhmä		
	ka	md	kh	ka	md	kh
Miten innostunut olit tehtävien tekemisestä?	5.25	5.5	1.44	5.49	6	1.93
Miten kiinnostavilta tehtävät tuntuivat?	4.94	5	1.19	5.15	5	1.50