Tampereen yliopisto

Iiro Matomäki

AUTISMIKIRJON PIIRTEIDEN YHTEYS SYDÄMEN SYKEVÄLIVAIHTELUUN SOSIAALISTEN JA EI-SOSIAALISTEN ÄRSYKKEIDEN AIKANA

Yhteiskuntatieteiden tiedekunta

Pro gradu -tutkielma

Lokakuu 2025

TIIVISTELMÄ

Iiro Matomäki: Autismikirjon piirteiden yhteys sydämen sykevälivaihteluun sosiaalisten ja ei-sosiaalisten ärsykkeiden aikana
Pro gradu
Tampereen yliopisto
Psykologia
Lokakuu 2025

Autismikirjon häiriö on yhdistetty poikkeavaan autonomisen hermoston toimintaan. Aiemman tutkimusnäytön ja polyvagaalisen teorian perusteella autonomisen hermoston poikkeavan toiminnan on katsottu liittyvän autismikirjossa ilmeneviin sosiaalisiin haasteisiin. Autismikirjon yhteydestä autonomisen hermoston toimintaan varhaislapsuudessa tiedetään kuitenkin vähän. Harvoissa varhaislapsuudessa toteutetuissa tutkimuksissa ei ole havaittu vastaavaa yhteyttä. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, ovatko varhaislapsuuden autismikirjon piirteet yhteydessä autonomisen hermoston toiminnan eroihin sosiaalisten ja ei-sosiaalisten ärsykkeiden välillä.

Tutkimus on osa Katse taaperoon -projektia. Aineisto kerättiin vanhemman kyselyseulonnan perusteella populaatiotasolla ja tutkittavat olivat iältään 14-24kk. Autismikirjon piirteitä arvioitiin ammattilaisen havainnointiarviolla (ADOS-2). Autonomisen hermoston toimintaa mitattiin sykevälivaihtelun (HRV) avulla sosiaalisia (ihmisiä esittäviä) ja ei-sosiaalisia (eläimiä esittäviä) videoärsykkeitä katsellessa. Videoiden seuraamineen varmistettiin silmänliikekameralla.

Autismipiirteet eivät olleet tilastollisesti merkitsevässä yhteydessä HRV-eroihin sosiaalisten ja ei-sosiaalisten ärsykkeiden välillä. Efektin suunta viittasi siihen, että korkeammat autismipiirteet olivat yhteydessä pienempään HRV:n eroon ärsykkeiden välillä. Vähäiset autismipiirteet liittyivät koreampaan HRV:n sosiaalisten ärsykkeiden aikana. Lisäksi enemmän autismipiirteitä omaavilla lapsilla HRV oli korkeampi ei-sosiaalisten ärsykkeiden aikana verrattuna vähäisiin autismipiirteisiin. HRV oli keksimäärin pienempi tutkimuksen toisella puoliskolla, mikä osoittaa tutkimusasetelman kuormittavuuden taaperoille.

Tulokset viittaavat siihen, että autonomisen hermoston toiminta saattaa eriytyä jo varhaislapsuudessa autismikirjon piirteiden mukaan, mutta poikkeavuudet eivät ilmene yhtä selvästi kuin vanhemmilla lapsilla. Vaikka yhteydet olivat heikkoja, ne olivat johdonmukaisia aiempien tutkimuksien ja teoreettisen viitekehityksen kanssa. Tulokset viittasivat siihen, että autonomisen hermoston toiminnan erot voivat olla osa varhaisia autismipiirteisiin liittyviä kehityksellisiä prosesseja, jotka myöhemmin voivat liittyä autismikirjon häiriöön. Tutkimuksen havainnot korostavat pitkittäistutkimuksen tarvetta autonomisen hermoston ja sosiaalisen kehityksen välisen suhteen ymmärtämiseksi. HRV ei kuitenkaan tutkimuksen perusteella sovellu autismikirjon tunnistamisen työkaluksi yksilötasolla.

Avainsanat: Autismikirjo, sydämen sykevälivaihtelu

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

☐ Ei

☒ Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmaprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia:

Tekoälysovellusten nimi ja versio: OpenAI ChatGPT (GPT-4 ja GPT-5.0), Microsoft Copilot (GPT-4), Scopus-AI (GPT tuntematon versio), Consensus.app (GPT tuntematon versio)

Käyttötarkoitus: Tiedon hakeminen, apu R koodin kirjoittamisessa ja tilastollisen menetelmän opiskelussa, kirjoitusprosessissa kielellinen ja rakenteellinen tuki, lähdeluettelon tarkastaminen

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty: Tekoälyä hyödynnettiin tiedon ja akateemisten lähteiden etsimisessä. Tekoälyä käytettiin apuna R koodin kirjoittamiseen aineiston esikäsittelyssä, tilastollisessa analyysissa sekä tuloksien taulukoinnissa ja visualisoinnissa. Tekoälyä hyödynnettiin tilastollisen menetelmän opiskelussa. Kirjoitusprosessin aikana tekoälyä käytetiin kieliopin, ilmaisun selkeyttämisen, tekstin jäsentelyn ja akateemisen tyylin viimeistelyn tukena. Tekoälyä käytettiin tarkastamaan, että lähdeluettelo on APA-ohjeiden mukainen.

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien tekoälyllä tuotetut osat, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

Sisällysluettelo

Johdanto ... 1

Autismi ... 2

Sykevälivaihtelu sosiaalisessa liittymisessä ... 3

Sykevälivaihtelu autismikirjossa ... 5

Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimuskysymykset ... 7

Menetelmät ... 8

Tutkittavat ... 8

Tutkimustilanteen kulku ... 10

Sosiaaliset ja ei-sosiaaliset videot -tehtävä ... 12

Aineiston esikäsittely ja analysoiminen ... 14

Tilastolliset analyysit ... 15

Tulokset ... 17

Pohdinta ... 19

Johtopäätökset ... 24

Lähteet ... 26

Liite 1 ... 35

Johdanto

Autismikirjon häiriö on elinikäinen neurokehityksellinen tila, jonka ilmeneminen vaihtelee huomattavasti yksilöiden välillä niin käyttäytymisen kuin biologisten tekijöiden tasolla (Mottron & Bzdok, 2020). Autismikirjon häiriössä on tyypillistä erityisesti sosiaalisen vuorovaikutuksen haasteet. Poikkeavaa sosiaalista käyttäytymistä voidaan usein havaita jo varhaislapsuudessa (Barbaro & Dissanayake, 2009; Sánchez-García ym., 2019), ja varhaiset sosiaaliset vaikeudet voivat vaikuttaa olennaisesti lapsen kokonaiskehitykseen (Mundy & Neal, 2000). Tämä alleviivaa varhaisen tunnistamisen sekä oikea-aikaisen tuen merkitystä (Bradshaw ym., 2024; Dawson, 2008; Zwaigenbaum ym., 2015).

Yksi viimeaikaisista tutkimussuuntauksista on kohdistunut autismipiirteisten henkilöiden fysiologisen säätelyn eroihin verrattuna tyypillisesti kehittyviin, erityisesti autonomisen hermoston toiminnan osalta. Autonominen hermosto säätelee kehon kykyä sopeutua ympäristön vaatimuksiin, ja sen toimintaa voidaan arvioida sydämen sykevälivaihtelun (HRV) avulla. HRV kuvastaa parasympaattisen hermoston toimintaa ja liittyy keskeisesti sosiaalisiin ja emotionaalisiin säätelyprosesseihin (Cheng ym., 2020; Patriquin ym., 2019). Lapsilla korkeampi HRV on yhdistetty parempaan sosiaaliseen toimintakykyyn (Bazelmans ym., 2019; Blair & Peters, 2003; Patriquin ym., 2011; Van Hecke ym., 2009) ja parempaan itsesäätelykykyyn (De Witte ym., 2016; Fabes ym., 1993). Näitä yhteyksiä selittää keskeisesti Porgesin (2007) esittämä polyvagaalinen teoria.

Meta-analyysien perusteella autismikirjon henkilöillä on havaittu vähäisempää HRV:n sopeutumista erityisesti sosiaalisissa tilanteissa verrattuna tyypillisesti kehittyneisiin (Cheng ym., 2020; Patriquin ym., 2019). On esitetty, että taustalla voisi olla ylivirittynyt autonominen hermosto (Patriquin ym., 2019; Porges ym., 2013). Varhaislapsuudessa vastaavia poikkeavuuksia ei kuitenkaan ole havaittu (Bazelmans ym., 2019, 2021; Billeci ym., 2018; Watson ym., 2012). Varhaislapsuus on autonomisen hermoston ja itsesäätelyn kehityksen kannalta erityisen merkittävä vaihe (Bar-Haim ym., 2000; Holzman & Bridgett, 2017), minkä vuoksi tarvitaan lisätutkimusta autismikirjon varhaisen kehittymisen ymmärtämiseksi ja tunnistamiseksi.

Tämä tutkimus on osa Katse taaperoon -projektia, jonka tavoitteena on edistää autismikirjon varhaista tunnistamista sekä tutkia sosiaalisen vuorovaikutuksen ja itsesäätelyn kehitystä. Tässä työssä tarkastellaan, miten taaperoiden autismikirjon piirteet ovat yhteydessä

autonomisen hermoston toimintaan sosiaalisia ja ei-sosiaalisia videoita katsellessa. Tutkimus lisää ymmärrystä autismipiirteiden ja autonomisen hermoston välisestä yhteydestä varhaislapsuudessa.

Autismi

Autismikirjon häiriö (eng. autism spectrum disorder) on elinikäinen neurokehityksellinen häiriö, joka vaikuttaa yksilön elämään laaja-alaisesti. Autismikirjon taustalla arvioidaan olevan sekä geneettisiä että ympäristöllisiä tekijöitä, vaikka sen tarkkoja syitä ei tunneta (Lord ym., 2018). Autismikirjon ilmentyminen on heterogeenistä niin käyttäytymisen kuin biologian tasolla (Mottron & Bzdok, 2020). Vaikeudet sosiaalisessa vuorovaikutuksessa ja kommunikoimisessa ovat tyypillisiä autismikirjossa (American Psychiatric Association, 2013).

Autismikirjon häiriön diagnosointi perustuu käyttäytymisen havainnointiin ja tutkimiseen (Autismikirjon häiriö: Käypä hoito -suositus, 2024). Esiintyvyys on noin 1% maailman väestöstä (Zeidan ym., 2022), ja diagnoosit ovat yleistyneet merkittävästi 2000-luvun aikana (Matson & Kozlowski, 2011; Russell ym., 2022). Ruotsissa tehtyjen tutkimuksien mukaan autismikirjon oireet eivät ole yleistyneet tai vaikeutuneet, vaan kyse on diagnostisten kriteerien lieventymisestä (Arvidsson ym., 2018; Lundstrom ym., 2015). Suomalaisen selvityksen mukaan autismikirjon häiriö tunnistetiin keskimäärin kaksi vuotta ennen varsinaisen diagnoosin asettamista, noin 3.9 vuoden iässä (Yliherva ym., 2018).

Autismin varhaisella tunnistamisella ja interventioilla on selkeää näyttöä kehityksen tukemisessa jo ennen selkeiden oireiden ilmenemistä (Bradshaw ym., 2024; Dawson, 2008; Zwaigenbaum ym., 2015). Esimerkiksi puutteet sosiaalisissa taidoissa lapsena voi johtaa sosiaaliseen eristäytymiseen (Chamberlain ym., 2007).

Tutkimukset ovat osoittaneet, että autismikirjon lapset ilmentävät tyypillisesti kehittyneistä eroavaa sosiaalista käyttäytymistä jo taaperoiällä (Sánchez-García ym., 2019). Eroja sosiaalisessa tarkkaavuudessa ja kommunikoimisessa on havaittavissa jo yhden vuoden iässä (Barbaro & Dissanayake, 2009). Autismikirjon diagnoosi on yhdistetty kokeellisessa ympäristössä silmänliikekameralla havaittavaan vähäisempään katseen kohdistamiseen kasvoihin jo 2–6 kuukauden iässä (Jones & Klin, 2013). Lisäksi on havaittu, että 1–5 -vuotiaat autismikirjon lapset kohdistavat tarkkaavuutta enemmän ei-sosiaaliseen kuin sosiaaliseen

sisältöön verrattuna tyypillisesti kehittyviin (Pierce ym., 2011; Sasson & Touchstone, 2014; Swettenham ym., 2003).

Autismikirjoon liittyvät sosiaalisen vuorovaikutuksen haasteet näkyvät myös psykofysiologisella tasolla (Lydon ym., 2016). Esimerkiksi katsekontaktin on todettu tutkimustilanteissa aiheuttavan autismikirjon henkilöillä poikkeuksellisen voimakkaan autonomisen hermoston vasteen (Kylliäinen ym., 2012; Kylliäinen & Hietanen, 2006). Ylivirittyneen autonomisen hermoston on esitetty olevan keskeisesti yhteydessä sosiaalisen vuorovaikutuksen haasteisiin (Patriquin ym., 2019).

Sykevälivaihtelu sosiaalisessa liittymisessä

Autonominen hermosto on osa ääreishermostoa, ja sen tehtävänä on säädellä kehon sisäisiä toimintoja välittämällä tietoa keskushermoston sekä sisäelinten, aistielinten, rauhasten ja lihasten välillä (Tirri ym., 2001, s. 70). Autonominen hermosto jakautuu kahteen päähaaraan: sympaattiseen ja parasympaattiseen (Tirri ym., 2001, s. 70). Sympaattinen hermosto aktivoituu stressi- ja uhkatilanteissa, kun taas parasympaattinen hermosto edistää palautumista ja lepoa (Shaffer ym., 2014). Parasympaattinen aktivaatio hidastaa sydämen sykettä ja lisää sykevälivaihtelua (Heart rate variability, HRV) välittömästi (Nunan ym., 2010). Sympaattisen hermoston vaste puolestaan ilmenee sykkeen nousuna ja HRV:n laskuna, mutta vaikutus alkaa viiveellä, joka voi olla jopa viisi sekuntia (Nunan ym., 2010). Lisäksi sympaattisen hermoston vasteen kesto on pidempi kuin parasympaattisen hermoston (Nunan ym., 2010). Autonomisen hermoston osien välinen vuorovaikutus on dynaaminen ja tilannesidonnainen. Sympaattisen ja parasympaattisen hermoston aktiivisuus voi vaihdella toisistaan riippumatta (Billman, 2013). Näiden osien yhteystoiminta mahdollistaa esimerkiksi sykkeen joustavan sopeutumisen ympäristön vaatimuksiin (Billman, 2013).

Sydämen sykevälivaihtelu on keskeinen fysiologinen biomarkkeri, joka kuvastaa autonomisen hermoston säätelykykyä ja joustavuutta. HRV:n parasympaattinen komponentti heijastaa vagushermon vaikutusta sydämen toimintaan ja toimii siten indikaattorina parasympaattisesta säätelystä (Laborde ym., 2017; Shaffer ym., 2014). Tässä tutkimuksessa keskitytään erityisesti parasympaattisen hermoston aktiivisuuteen, ja HRV lyhenteellä viitataan yhteisesti HRV-muuttujiin, jotka kuvaavat parasympaattista säätelyä.

Psykofysiologisessa tutkimuksessa HRV on yhdistetty useisiin ilmiöihin, kuten itsesäätelyyn, kognitiivisiin toimintoihin, emotionaaliseen säätelyyn, sosiaalisiin prosesseihin ja hyvinvointiin (McCraty & Childre, 2010; Porges, 2007; Thayer ym., 2009). Yksi tunnetuimmista ja laajimmin sovelletuista teoreettisista viitekehyksistä on Porgesin (2007) polyvagaalinen teoria. Teorian mukaan vagushermon myelinisoituneet säikeet muodostavat osan niin kutsutusta sosiaalisen liittymisen järjestelmästä (social engagement system), joka mahdollistaa prososiaalisen käyttäytymisen ja emotionaalisen säätelyn keskinäisen vuorovaikutuksen tilanteissa, joissa yksilö kokee olonsa turvalliseksi (Porges, 2022). Tämä dynaaminen vuorovaikutus puolestaan tukee autonomisen hermoston rauhoittumista, mikä ilmenee korkeampana HRV:nä sekä alhaisempana sykkeenä (Porges, 2022).

Polyvagaalisen teorian (Porges, 2007) mukaan HRV heijastaa sosiaalisen liittymisen fysiologisia piirteitä. Teoriassa niin sanotulla vagaalisella jarrulla (vagal brake) viitataan vagushermon myelinisoituneiden säikeiden kykyyn inhiboida sympaattisen hermoston ja vagushermon myelinisoimattomien säikeiden reaktioita. Vagaalinen jarru mahdollistaa näin joustavan siirtymisen eri toimintojen välillä. Uhkatilanteissa, esimerkiksi stressaavan sosiaalisen tilanteen, kuten sosiaalisen irtautumisen (disengagement) aikana, vagaalinen jarru vapautuu. Tämä mahdollistaa sympaattisen aktivaation (”taistele tai pakene”) tai dorsovagaalisen lamaantumisreaktion, jotka ilmenee HRV:n laskuna ja sydämen sykkeen nousuna (Shahrestani ym., 2014). Uhkan väistyessä vagaalisen jarrun uudelleenaktivoituminen nostaa HRV:tä ja alentaa sykettä, esimerkiksi turvallisen sosiaalisen ärsykkeen tai lepotilan aikana (Shahrestani ym., 2014). Teorian mukaan prososiaalinen käyttäytyminen ja emotionaalinen säätely ovat mahdollisia vain silloin, kun vagaalinen jarru on aktiivinen ja estää puolustusreaktioiden aktivoitumisen. Pitkittyneessä kuormitustilanteissa palautuminen voi kuitenkin jäädä puutteelliseksi, mikä johtaa autonomisen hermoston epätasapainoon. Tällöin yksilö voi ajautua joko sympaattiseen ylivireyteen tai dorsovagaaliseen passiivisuuteen, jotka molemmat voivat ilmetä vetäytymisenä sosiaalisista tilanteista (Porges, 2021).

Useat empiiriset tutkimukset ovat osoittaneet, että lepotilassa mitattu korkeampi perustason HRV (toninen vagaalinen säätely) on lapsilla yhteydessä parempaan sosiaalisen toimintakykyyn (Bal ym., 2010; Bazelmans ym., 2019; Blair & Peters, 2003; Patriquin ym., 2011; Van Hecke ym., 2009), parempaan emotionaaliseen itsesäätelyyn (De Witte ym., 2016; Fabes ym., 1993) sekä tarkkaavuuteen (Marcovitch ym., 2010; Suess ym., 1994). Vastaavasti HRV:n tehtävä- tai

tilannekohtainen, eli HRV:n reaktiivinen, vähentyminen (faasinen säätely) on yhdistetty lapsilla tehokkaampaan sopeutumiseen (Huffman ym., 1998; Marcovitch ym., 2010) ja parempiin sosiaalisista taitoihin (Blair & Peters, 2003; Calkins & Keane, 2004; Graziano ym., 2007).

HRV:n on osoitettu kasvavan ensimmäisten elinvuosien aikana, ja tämän kasvun on arvioitu heijastavan itsesäätelyn kehittymistä (Bar-Haim ym., 2000; Patriquin ym., 2014, 2015; Porges ym., 1994). Esimerkiksi tavanomaisesta kehityspolusta poikkeaminen 5–24 kk iässä on yhdistetty lisääntyneisiin sosiaalisiin haasteisiin neljän vuoden iässä (Patriquin ym., 2014). Shahrestanin ja kollegoiden (2014) meta-analyysin mukaan kehitysriskiä omaavilla tai psykiatrisen diagnoosin saaneilla lapsilla ei havaittu samanlaista johdonmukaista HRV:n reaktiivisuutta sosiaalisten vuorovaikutustehtävien aikana kuin tyypillisesti kehittyneillä lapsilla. HRV:n poikkeavuuksien tutkiminen voi antaa tärkeää tietoa sosiaalisen käyttäytymisen ja säätelyprosessien eriytymisestä autismikirjon varhaisessa kehityksessä.

Sykevälivaihtelu autismikirjossa

Autismikirjon yhteyttä HRV:n on tutkittu laajasti, mutta tutkimustulokset ovat osittain ristiriitaisia. Benevidesin ja Lanen (2015) meta-analyysin perusteella autismikirjon henkilöiden perustason HRV ei poikennut merkitsevästi tyypillisesti kehittyneistä lapsista. Sen sijaan kaksi uudempaa meta-analyysia ovat osoittaneet, että autismikirjon henkilöillä on alhaisempi perustason HRV ja korkeampi syke, mikä viittaa heikentyneeseen parasympaattiseen säätelyyn (Cheng ym., 2020; Patriquin ym., 2019). Löydöksiä on selitetty polyvagaalisen teorian näkökulmasta, jonka mukaan autismikirjon sosiaaliset ja emotionaaliset itsesäätelyhaasteet voivat osin liittyä autonomisen hermoston kroonistuneeseen ylivireystilaan (Patriquin ym., 2019).

Korkeampi perustason HRV on yhdistetty autismikirjon lapsilla korkeampaan kognitiiviseen kyvykkyyteen, parempaan sosiaaliseen toimintakykyyn (Bal ym., 2010; Neuhaus ym., 2014; Patriquin ym., 2011; Van Hecke ym., 2009) sekä nopeampaan tunteiden tunnistamiseen kasvoilta (Bal ym., 2010). Vastaavasti alentunut HRV on yhdistetty heikompaan kielelliseen prosessointikykyyn (Porges ym., 2013), kykyyn vastaanottaa kielellistä informaatiota (Bazelmans ym., 2019; Patriquin ym., 2011) ja kielelliseen ilmaisukykyyn (Bazelmans ym., 2019).

HRV:n reaktiivisuus sisäisiin ja ulkoisiin ärsykkeisiin näyttää poikkeavan autismikirjon lasten ja tyypillisesti kehittyneiden lasten välillä (Benevides & Lane, 2015; Cheng ym., 2020; Patriquin ym., 2019). Tehtävätyyppi vaikuttaa merkittävästi eroihin HRV:n reaktiivisuuden voimakkuudessa ja suunnassa (Benevides & Lane, 2015). Tutkimuksien mukaan autismikirjon lapsilla reaktiivisuus oli vähäisempään sosiaalisissa tilanteissa ja sosiaalisten ärsykkeiden aikana kuin tyypillisesti kehittyneiden (Cheng ym., 2020; Patriquin ym., 2014). Samalla autismikirjon sisällä yksilölliset erot HRV:ssä ovat huomattavia, joihin vaikuttavat ärsyketyyppi ja yksilölliset tekijät (Patriquin ym., 2019). Esimerkiksi Toichi ja Kamio (2003) havaitsivat, että osalla autismikirjon nuorista HRV oli levossa matalampi kuin yksinkertaisia toistotehtäviä suorittaessa.

Varhaislapsuuteen kohdetuntuvat tutkimukset antavat osin ristiriitaisia tuloksia verrattuna vanhempiin autismikirjon lapsia painottaviin meta-analyyseihin. Tulkintaa vaikeuttaa se, että perustason- ja reaktiivisten mittausten soveltaminen varhaislapsuudessa on haastavaa, koska esimerkiksi jo passiivinen paikallaan olo, jota perustason mittauksissa usein käytetään, voi vaatia pieneltä lapselta aktiivista itsesäätelyä (Holzman & Bridgett, 2017; Thayer ym., 2009). Näistä syistä tässä tutkimuksessa käytetään tutkimusasetelmaa, jossa vertaillaan kahden erilaisen tilanteen, sosiaalisen ja ei-sosiaalisen videoärsykkeen, aikana mitatun HRV:n yhteyttä varhaisiin autismipiirteisiin.

Aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että varhaislapsuudessa autismikirjon lasten HRV ei merkittävästi poikkea tyypillisesti kehittyvistä passiivisten mittauksien aikana (Bazelmans ym., 2019, 2021; Sheinkopf ym., 2013; Watson ym., 2012). Yhdessä tutkimuksessa autismikirjon taaperoiden HRV oli passiivisen istumisen aikana jopa korkeampi kuin verrokeilla (Billeci ym., 2018). HRV ei eronnut ryhmien välillä luonto- tai leluvideoiden katselun aikana 2–5-vuotiailla lapsilla (Bazelmans ym., 2019, 2021; Watson ym., 2012). Bazelmansin ja kollegoiden (2019) mukaa HRV:n mittaus luontovideoiden passiivisen katselun aikana ei ole riittävän erotteleva työkalu autismikirjon tunnistamiseen.

Tutkimuksissa ei ole havaittu merkitseviä HRV eroja autismikirjon lasten ja tyypillisesti kehittyneiden välillä sosiaalisten ja ei-sosiaalisten videoärsykkeiden aikana varhaislapsuudessa (Bazelmans ym., 2021; Watson ym., 2012). Ärsykkeen sosiaalisuudella ei myöskään ole todettu olevan yhteyttä HRV:n muutoksiin ryhmien välillä (Bazelmans ym., 2021; Watson ym., 2012). Tosin Watsonin ja kollegoiden (2012) tutkimuksessa 2–4 -vuotiaiden autismikirjon lasten HRV:n ero sosiaalisen ja ei-sosiaalisen ärsykkeen välillä oli pienempi kuin tyypillisesti kehittyneillä,

vaikka ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Lisäksi on havaittu, että autismikirjon lasten syke oli korkeampi joidenkin sosiaalisten videoiden aikana (Bazelmans ym., 2021; Watson ym., 2012). Watson ja kollegat (2012) arvioivat korkeamman sydämen sykkeen antavan viitteitä puutteellisesta parasympaattisesta säätelystä ja sympaattisen hermoston yliaktiivisuudesta.

Autismikirjon piirteiden yhteyttä parasympaattiseen säätelyyn varhaislapsuudessa ennen autismikirjon diagnoosia ei ole tiettävästi tutkittu aiemmin. Varhaislapsuus on kuitenkin autonomisen hermoston ja itsesäätelyn kehityksen kannalta keskeinen vaihe (Bar-Haim ym., 2000; Holzman & Bridgett, 2017). Vähäinen aiempi tutkimus ja ristiriitaiset tulokset vanhempia jo diagnosoituja autismikirjon lapsia koskevissa tutkimuksissa korostavat lisätutkimuksen tarvetta autismikirjon varhaisen kehittymisen ymmärtämiseksi ja tunnistamiseksi.

Tätä tutkimuksellista aukkoa lähestyttiin hyödyntämällä menetelmiä, jotka voivat tarjota tarkempaa tietoa autismipiirteiden ja HRV:n välisistä yhteyksistä. Asiantuntijan havaintoarviota autismipiirteisyydestä (ADOS-2-menetelmä) käsiteltiin jatkuvana muuttujana, mikä saattoi tuottaa herkempää tietoa autismipiirteiden ja HRV:n yhteydestä. Tutkimus oli tiettävästi ensimmäinen varhaislapsuudessa toteutettu tutkimus, jossa valitut ärsykkeet erosivat toisistaan vain videon sosiaalisuuden (ihmiset vs. eläimet) suhteen. Videot olivat yhteneväisiä taustamusiikin ja -puheen sekä kuvaustyylin osalta; molemmissa videokategorioissa tarkastelun kohteena olevat ihmiset ja eläimet kuvattiin niiden omassa ympäristössään luontevassa tekemisessä. Lisäksi tutkimuksessa varmistettiin silmänliikekameran avulla, että lapsi katsoi videoärsykettä. Tutkittavat valittiin populaatiopohjaisella autismikirjon seulonnan perusteella, ennen mahdollista autismikirjon diagnoosin asettamista, mikä erosi muista tutkimuksista, joissa lapsille oli asetettu autismikirjon häiriön diagnoosi tai lapset täyttivät diagnostiset kriteerit (Bazelmans ym., 2019, 2021; Billeci ym., 2018; Watson ym., 2012). Lisäksi kontrolloitiin tutkimusosion vaikutus HRV:hen, jotta tulokset eivät heijastaneet tutkimustilanteen kuormitusta. Näiden ratkaisujen ansiosta tutkimus tarjosi uutta ja tarkempaa tietoa autismikirjon autonomisen hermoston toiminnasta varhaislapsuudessa ja HRV:n sovellettavuudesta osaksi autismikirjon varhaista tunnistamista.

Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimuskysymykset

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli syventää ymmärrystä autismikirjon taaperoiden autonomisen hermoston toiminnasta erityisesti sosiaalisissa tilanteissa. Tutkimuksessa

tarkasteltiin, kuinka asiantuntijan havainnoima autismikirjon piirteiden voimakkuus (mitattuna ADOS-2-menetelmällä) oli yhteydessä parasympaattisen hermoston toimintaan sosiaalisten ja ei-sosiaalisten videoärsykkeiden katselun aikana.

Tutkimuskysymyksenä oli: onko autismipiirteisyys (mitattuna ADOS-pisteillä) yhteydessä siihen, miten taaperoiden HRV erosi sosiaalisten ja ei-sosiaalisten videoiden aikana? Tätä tarkasteltiin tutkimalla autismikirjon piirteisyyden ja videon sosiaalisuuden interaktiota HRV:n.

Oletettiin, että autismikirjon piirteiden voimakkuus on yhteydessä parasympaattiseen vasteeseen sosiaalisen ärsykkeen aikana. Tarkemmin sanottuna oletettiin, että korkeampi autismipiirteisyys on yhteydessä vähäisempään HRV-eroihin videotyyppien välillä verrattuna alhaisiin autismipiirteisiin. Hypoteesi perustui aikaisempaan tutkimusnäyttöön (Cheng ym., 2020; Patriquin ym., 2019) sekä polyvagaaliseen teoriaan (Porges, 2007).

Menetelmät

Tutkittavat

Tutkimukseen rekrytointiin tutkittavia väestötasolla Pirkanmaan hyvinvointialueella 1-vuotisneuvolakäyntien yhteydessä. Seulonta tapahtui kaksivaiheisella menetelmällä, joka on todettu luotettavaksi varhaisten kehityshuolien tunnistamisessa (Robins ym., 2014). Ensimmäisessä vaiheessa terveydenhoitajat kysyivät vanhemmilta halukkuutta saada kysely sähköpostiin, kun lapsi on 16 kuukauden ikäinen. Seulontakyselylomake Modified Checklist for Autism in Toddlers, Revised, With Follow-Up (M-CHAT-R/F) lähetettiin sähköpostitse, jonka aluksi kysyttiin suostumusta osallistua tutkimuksen seulontavaiheeseen. M-CHAT-R/F on kehitetty autismikirjon kehityshuolen seulontaan taaperoiässä ja on kansainvälisesti laajalti käytetty kysely (Robins ym., 2014). Kysely sisältää 20 kyllä/ei-muotoista väittämää, jotka arvioivat lapsen sosiaalisia ja kehityksellisiä taitoja. Kysely oli vaihtoehtoisesti tilattavissa myös Katse Taaperoon-projektin verkkosivuilta. Osa vanhemmista täytti kyselyn lapsen ollessa jo yli 16 kuukauden ikäinen, mutta alle neljävuotias. M-CHAT-R/F -kyselyä käytettiin tutkimuksessa vain seulontatarkoituksiin.

Seulonnan toisessa vaiheessa toteutettiin vanhempien seurantahaastattelu puhelimitse, mikäli kyselyvastauksissa lapsi sai kolme tai enemmän pistettä, joka indikoi autismikirjon kehityshuolta. Haastattelussa tarkennettiin kyselyn kohtia, joista lapsi oli saanut pisteitä. Mikäli

lapsella oli seurantahaastattelun jälkeen kaksi tai enemmän pistettä tai lapsen lähiomaisilla oli autismikirjon häiriö, lapsi kutsuttiin varsinaiseen tutkimukseen.

Seulontakyselyyn saatiin yhteensä 2341 vastausta, ja näistä vastauksista 392 ylitti huolirajan. Vertailuryhmän rekrytoimiseksi tutkijat ottivat puhelimitse yhteyttä 20 satunnaisesti valittuun vanhempaan, joiden lapsilla ei ollut kehityshuoleen viittaavia vastauksia seulontakyselyssä. Näistä 19 perhettä osallistui tutkimukseen ja sisällytettiin aineistoon. Tutkimuksen otokseen kuului yhteensä 102 lasta, joista 94 osallistui sekä ensimmäiseen että toiseen tutkimuskäyntiin. Tähän tutkimukseen asetetun ikäkriteerin (25kk) ylittämisen vuoksi aineistosta poistettiin kahdeksan lasta. Lisäksi neljä lasta jätettiin pois silmänliike- ja sydämensykeaineistojen teknisten ja laadullisten poissulkukriteerien perusteella (ks. tarkemmin alempana). Lopulliseen analyysiaineistoon sisällytettiin 82 tutkittavaa, joiden iät vaihtelivat välillä 13.7–23.8 kuukautta (ka 18.0 kk, kh 1.4 kk). Seulonnan jälkeen tutkittavien autismikirjon piirteiden esiintymistä arvioitiin ammattilaisen tekemän autismikirjon piirteiden havainnointiarviolla (ADOS-2), jossa tutkittavien pisteiden vaihteluväli oli 1–26 pistettä (ka 11.3 p, kh 6.1 p). Tutkimuksessa ADOS-pisteet kuvasivat autismikirjon piirteiden voimakkuutta siten, että korkeammat pistemäärät ilmensivät enemmän havaittuja piirteitä.

Tutkittavien määrän ja iän tasaisen jakautumisen varmistamiseksi tutkittavat jaettiin kolmeen ryhmään ammattilaisten arvioimien autismikirjon piirteiden voimakkuuden mukaan. Jaottelu perustui ADOS-2 taaperomoduulin pisteluokitteluun: vähän autismikirjoon viittavia piirteitä 9 pistettä tai vähemmän, keskinkertaisesti viittavia piirteitä 10–13 pistettä ja vahvat viittaavat piirteet 14 pistettä tai enemmän. Samaa ADOS-pisteisiin perustuvaa jaottelua käytetään myöhemmin tarkasteltaessa, miten hyväksytyt ja hylätyt koekierrokset jakautuvat autismipiirteiden mukaisesti. Päätutkimuskysymyksessä autismikirjon piirteisyyden voimakkuutta tarkastellaan ADOS-pisteiden avulla jatkuvana muuttujana. Tutkittavien taustatiedot on havainnollistettu taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Tutkittavien taustatiedot

		Autismin piirteet		
	kaikki	vähäiset	keskinkertaiset	voimakkaat
n	82	33	21	28
Ikä kk ka (kh)	18.0 (1.4)	18.3 (1.2)	17.5 (1.2)	18.2 (1.8)
Ikä vaihteluväli kk	13.7–23.8	16.8–22.1	14–20.6	13.7–23.8
ADOS-2 pisteet ka (kh)	11.3 (6.1)	5.5 (2.4)	11.5 (1.2)	18.1 (3.7)
ADOS-2 pisteet vaihteluväli	1–26	1–9	10–13	14–26

Tutkimustilanteen kulku

Tutkimus toteutettiin Tampereen yliopistolla Human Information Processing -laboratorion tiloissa. Tutkimuksen ensimmäiseen vaiheeseen kuului kaksi erillistä noin 60 minuutin tutkimuskäyntiä, joista jälkimmäisellä tehtiin HRV-mittaus. Käynnit järjestettiin lapsen normaaliin hereillä oloaikaan, tyypillisimmin aamupäivällä tai joissain tapauksissa myöhemmin iltapäivällä. Ensimmäisellä käynnillä arvioitiin autismikirjon piirteitä Autism Diagnostic Observation Schedule (ADOS-2) -havainnointimenetelmän taaperomoduulin avulla, joka on suunnattu 12-30kk ikäisten lasten arvioimiseen. Ammattilaisen tekemässä arviossa pisteytys tapahtuu leikin ja vuorovaikutustehtävien aikana havainnoimalla taaperon vuorovaikutusta, kommunikointia, leikkitaitoa ja luovuutta sekä rajoittunutta ja toistuvaa käyttäytymistä (Lord ym., 2012). Lisäksi lapsen yleinen kehitystaso arvioitiin Bayley Scales of Infant and Toddler Development (Bayley-III) -menetelmällä (Bayley, 2006). Lapselle esiteltiin ensimmäisen käynnin aikana tutkimustila, jossa lapsi katsoi lyhyen videon ilman sykkeen tai silmänliikkeiden mittaamista.

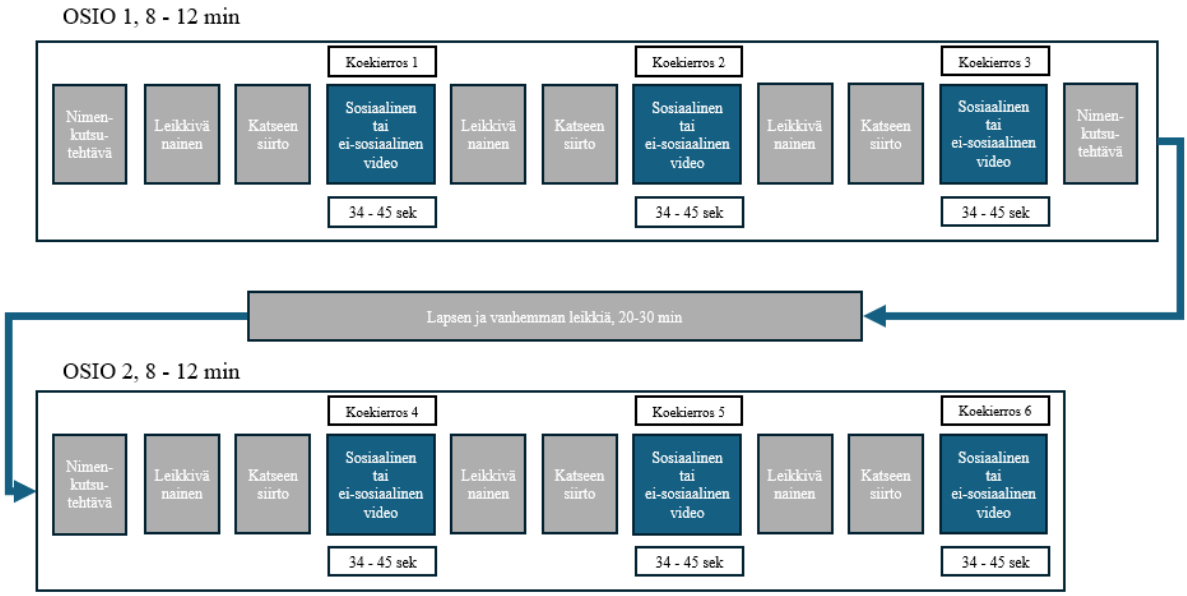
Toinen tutkimuskäynti pyrittiin järjestämään noin viikon kuluttua ensimmäisestä. Toisella käynnillä suoritettiin varsinaiset mittaustehtävät, joiden aikana sydämen sykettä rekisteröitiin ja silmänliikkeet seurattiin samanaikaisesti, kun lapsille esitettiin tietokoneruudulta videoärsykkeitä.

Tutkimustilanteeseen osallistui aina vähintään kaksi tutkijaa. Toinen tutkija ohjasi lasta ja huoltajaa tehtävien aikana, kun taas toinen hallinnoi tutkimuslaitteistoa verhon takana. Vanhempia ohjeistettiin välttämään puhetta lapselle tehtävän aikana. Tehtävien alkaessa tutkimustilan valaistus himmennettiin. Tietokonetehtävät jaettiin kahteen osaan, jotka kestivät

noin 8–12 minuuttia ja niiden aikana pidettiin tarvittaessa lyhyitä taukoja. Lyhyiden taukojen aikana lapsille tarjottiin tarvittaessa pieniä herkkuja syötäväksi. Osien välissä pidettiin pidempi tauko noin 20–30 minuuttia, jonka aikana poistuttiin tutkimustilasta leikkimään lapsen kanssa.

Tutkimuskäynnin alussa tutkittavalle kiinnitettiin sydämen sykettä mittaavat kaksi tarraelektrodia toinen vasempaan kylkeen ja toinen oikean solisluun alle. Sykeaineisto kerättiin EGI Polygraphic Input Box-laitteella ja tallennettiin Macintos-tietokoneella Netstation 4.5.1 ohjelmalla. Tutkimuksessa käytettiin 250 hertsin näytteenottotaajuutta, joka vastaa suosituksia (Kuusela, 2012). Lapsen silmän liikkeitä mitattiin Tobii Pro X3-120 silmänliikekameralla 30 hertsin näytteenottotaajuudella. Silmänliikekameralle suoritettiin kuusipisteinen kalibrointi Tobii, Pro Management – ohjelmalla ennen tutkimustehtävien näyttämistä. Tutkimustilanne videokuvattiin siten, että kamerassa näkyivät tutkittavan kasvot sekä peilin kautta tietokoneen näyttö. Lapsi istui huoltajan sylissä noin 60 senttimetrin päässä 27 tuuman tietokoneen näytöstä. Äänentoisto toteutettiin stereona Sony SRS-PC45-kaiuttimilla, jotka olivat asetettu näytön alapuolelle. Äänenvoimakkuus oli säädetty mukavalle kuunteluvoimakkuudelle.

Tutkimustilanne sisälsi useita tehtäviä. Tässä tarkastellaan vain video-osuutta, jossa lapselle näytettiin sosiaalisia ja ei-sosiaalisia lyhyitä videota. Tutkimustilanteessa lapselle tehtiin myös Nimen kutsu -tehtävä sekä näytettiin Leikkivä nainen- ja Katseen siirto -tehtävät, joita ei käsitellä tässä tutkimuksessa enempää. Tutkimuksen toisen käynnin kulku on havainnollistettu kuvassa 1.



KUVA 1. Kuvaus toisen tutkimuskäynnin tehtäväsarjasta.

Sosiaaliset ja ei-sosiaaliset videot -tehtävä

Tutkittaville esitettiin tehtäväsarjojen aikana yhteensä kuusi videota, joista kolme sisälsi sosiaalista ja kolme ei-sosiaalista sisältöä. Videotyyppien erottava tekijänä oli se, että sosiaalisissa videoissa oli kuvattu ihmisiä ja ei-sosiaalisissa videoissa oli kuvattuna eläimiä. Molempien videotyyppien taustoilla oli puhetta ja/tai musiikkia. Videoiden esitysjärjestys oli satunnaistettu niin, että molemmissa osioissa oli vähintään yksi sosiaalinen ja yksi ei-sosiaalinen video. Videoiden kestot vaihtelivat 34–45 sekuntia. Tutkittavalla tuli olla vähintään yksi hyväksytty koekierros molemmissa videokategorioissa, jotta hänet sisällytettiin lopulliseen aineistoon. Tarkemmat kuvaukset yksittäisistä videoista on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Videoärsykkeiden kuvaukset

Kuvakaappaus	Nimi	Kategoria	Lyhyt kuvaus	Puhe	Taustamusiikki	Kesto
	Leipominen	Sosiaalinen	Kaksi lasta leipoo piirakkaa	Videolla ei puhuta	Taustalla soi rauhallinen huuliharppu- ja pianomusiikki sekä kuuluu lintujen laulua	34 s
	Tatu ja Patu	Sosiaalinen	Kohtaus lastenelokuvasta, jossa hahmot imitoivat kanssamatkustajia linja-autossa	Satunnaista puhetta	Iloinen taustamusiikki	45 s
	Koulu	Sosiaalinen	Aikuinen ja lapsi keskustelevat koululuokassa	-	Lyhyt jakso taustamusiikkia	39 s
	Hirvet	Ei-sosiaalinen	Kuvataan hirviä uimassa	-	Pianomusiikki sekä hyräilyä	39 s
	Kissa	Ei-sosiaalinen	Kissa leikkii sisätiloissa	Taustalla lapsen puhetta	Iloinen taustamusiikki	44 s
	Linnut	Ei-sosiaalinen	Lapsille suunnattu luontodokumenttimainen esitys eri lintujen käyttäytymisestä	Taustalla puhetta	Iloinen taustamusiikki	41 s

Aineiston esikäsittely ja analysoiminen

Sykeaineisto esikäsiteltiin MATLAB R2024a ohjelmalla käyttäen ECGtool 31 MATLAB skriptiä (ks. Peltola ym., 2013). ECGtoolin automattisesti EKG-aineistosta tunnistamat R-piikit tarkistettiin manuaalisesti ja korjattiin tarvittaessa arvioituun R-piikin huippuun. Tunnistamatta jääneet R-piikit estimoitiin edellisen ja seuraavan R-piikin matemaattisen keskiarvon mukaisesti. Sykeaineisto katsottiin osin käyttökelvottomaksi, mikäli kahta peräkkäistä R-piikkiä ei voitu luotettavasti tunnistaa. Tutkimukseen hyväksyttiin koekierrokset, joissa oli vähintään 15 sekuntia jatkuvia R-piikkejä. Aineistosta hylättiin 19 koekierrosta puutteellisen EKG-aineiston perusteella. Hyväksyttyihin koekierroksiin estimoitiin yhteensä 131 R-piikkiä 62 koekierrokseen.

Epätyypilliset R-piikkien väliset intervallit (RR-intervallit) suodatettiin pois soveltaen Pukkilan ja kollegoiden (2025) menetelmää. RR-intervalli todettiin epätyypilliseksi, mikäli sen kesto poikkesi yli 25 % sekä edeltävästä että seuraavasta intervallista. Alkuarvona käytettiin ensimmäisen kymmenen kelvollisen RR-intervallin keskiarvoa, mikäli ensimmäinen RR-intervalli ei ollut taaperoille tyypillisissä 300–1000 ms rajoissa (Fleming ym., 2011). Aineistosta suodatettiin pois intervalleja 45 kappaletta 21 koekierroksesta.

Tutkimuksessa käytettiin RMSSD (root mean square of successive differences) HRV-muuttujana. RMSSD perustuu RR-intervallien vaihteluun. Se lasketaan peräkkäisten RR-intervallien erotusten neliöiden keskiarvon neliöjuurena. RMSSD heijastaa erityisesti parasympaattisen hermoston aktiivisuutta (Laborde ym., 2017; Shaffer ym., 2014) ja sitä suositellaan ultralyhyiden (lyhyempi kuin 5 minuuttia) EKG-aineistojen analysoimiseen (Kleiger ym., 2005; Laborde ym., 2017; Shaffer ym., 2014; Thayer & Lane, 2000).

Lapsen katseen tuli olla kohdistettuna ruutuun yli 50 % videon kestosta tai vähintään 20 sekuntia, jotta koekierros hyväksyttiin aineistoon. Mikäli ehto ei täyttynyt, arvio tehtiin manuaalisesti videomateriaalista tai laboratoriomuistiinpanojen perusteella. Puutteellisen katseen kohdistamisen takia hylättiin 9 koekierrosta, joissa oli hyväksytty EKG aineisto.

Aineistosta poistettiin yhteensä 11 koekierrosta laboratorioteknisistä syistä. Kahdelle tutkittavalle oli näytetty yhdeksän koekierrosta, joista poistettiin kolmannen, ylimääräisen, tutkimuskäynnin aikana näytetyt kuusi koekierrosta yhteensä. Lisäksi yhdeltä tutkittavalta kolme koekierrosta, koska nekin oli toteutettu kolmannella käynnillä. Yksi koekierros poistettiin, koska tutkittavalle oli näytetty sama video kahteen kertaan. Aineistoon jätettiin näistä kahdesta näyttökerrasta ensimmäinen. Yksi koekierros poistettiin, koska näytetty video oli epäselvä.

Lopullisesta aineistosta poistettiin vielä neljä tutkittavaa (kuusi koekierrosta), koska heiltä ei saatu vaadittua yhtä hyväksyttyä koekierrosta molemmista videokategorioista.

Koekierrosten hyväksymistä analysoitiin khiin neliö -testillä, jossa oli mukana ADOS-pisteisiin perustuva kolmiluokkainen ryhmäjako, videon sosiaalisuus (sosiaalinen / ei-sosiaalinen) ja koekierroksen hyväksyntä (hyväksytty/hylätty). Khiin neliö -testin tulos osoitti tilastollisesti merkitsevän riippuvuuden muuttujien välillä ($\chi2(11) = 421.03$, $p < .001$). Taulukon (taulukko 3) tarkastelu viittaa siihen, että korkeampien ADOS-pistemäärän ryhmissä hylättyjen koekierrosten osuus on suurempi verrattuna matalamman pistemäärän ryhmiin.

TAULUKKO 3. Hyväksyttyjen koekierrosten osuus (hyväksytyt/kokonaismäärä) jaettuna ADOS-ryhmittäin ja videon sosiaalisuuden mukaisesti

	Video		
ADOS-pisteet	Ei-sosiaalinen	Sosiaalinen	Yhteensä
0–9	99.0 % (97/98)	99.0 % (98/99)	99.0 % (195/197)
10–13	93.7 % (59/63)	92.1 % (58/63)	92.9 % (117/126)
14-	90.2 % (74/82)	89 % (73/82)	89.6 % (147/164)
Yhteensä	94.7 % (230/243)	93.9 % (229/244)	94.3 % (459/487)

Aineistoon luotiin erillinen kategorinen tutkimusosio muuttuja, joka kuvasi koekierroksen sijoittumisesta tutkimuskäynnin ensimmäiseen tai toiseen osioon (ks. kuva 1). Muuttujalla kontrolloitiin tutkimuksen kuormituksen vaikutuksia HRV:hen, aiemman tutkimusnäytön perusteella (Matuz ym., 2021; Melo ym., 2017). Koekierroksen järjestystä ei voitu käyttää ajallisena muuttujana, sillä tauko tutkimusosioiden välillä rikkoi mittausten ajallisen jatkuvuuden.

Tilastolliset analyysit

Tilastollinen analyysi suoritettiin R-ohjelmistolla v. 4.2.2 (R Core Team, 2024) käyttäen RStudio-ympäristöä v. 2024.12.0+467 (Posit team, 2024). RMSSD-muuttuja logaritmi muunnettiin (luonnollinen logaritmi), jotta lineaarisen sekamallin (linear mixed model, LMM) jäännösten normaaliusoletus täyttyisi paremmin. Mallin jäännösten normaaliusoletusta arvioitiin

visuaalisesti histogrammin ja QQ-kuvion avulla. Arvioinnin perusteella jäännökset jakautuivat riittävän normaalisti logaritmimuunnoksen jälkeen.

Pääanalyysissa tarkasteltiin autismikirjon piirteiden (ADOS-pisteet) ja ärsykkeen sosiaalisuuden välistä vuorovaikutusta RMSSD-arvoon, kontrolloiden tutkittavan ikää ja tutkimusosiota. Analyysi toteutettiin lineaarisella sekamallilla (LMM) käyttäen lme4- (Bates et al., 2015) ja lmerTest-paketteja (Kuznetsova et al., 2017). Mallivertailuun ja analyysin interaktion merkitsevyyden tarkasteluun käytettiin R:n anova()-funktiota.

Mallien rakentamisessa käytettiin suurimman uskottavuuden menetelmää (maximum likelihoodia, ML) mallien vertailun mahdollistamiseksi ja lopulliset tulokset raportoitiin käyttämällä rajoitetun suurimman uskottavuuden menetelmää (restricted maximum likelihood, REML) ja Satterthwaiten vapausasteapproksimaatiota.

Mallinnus perustui Meteyardin ja Daviesin (2020) LMM-suosituksiin psykologisessa tutkimuksessa. Lähtökohtana oli nollamalli, jossa hyödynnettiin maksimaalista satunnaisvaikutusrakennetta (Barr, 2013). Satunnaisvaikutukset mallinnettiin yksilötasolla sekä sallittiin yksilökohtainen regressiokulma (slope) videon sosiaalisuudelle ja tutkimusosio -muuttujalle. Yksittäisten videoiden satunnaisvaihtelua testattiin, se jätettiin pois lopullisesta mallista, koska sen selitysosuus oli pieni ja sen sisällyttäminen johti singulariteettiongelmaan. Tämä voi olla seurausta siitä, että mallin selittäjien välillä oli liian korkea lineaarinen riippuvuus tai liian vähän variaatiota, mikä estää mallin parametriestimaatioiden luotettavan laskemisen.

Lopulliseen malliin kiinteiksi tekijöiksi valittiin ADOS-pisteet, videon sosiaalisuus, ikä (kk), koekierroksen osio sekä ADOS x sosiaalisuus -interaktio. Kaikki kiinteät vaikutukset lisättiin malliin samanaikaisesti tutkimuksen kokeellisen luonteen takia (Meteyard & Davies, 2020). ADOS x sosiaalisuus -interaktiota tarkasteltiin vertaamalla interaktiomallia päävaikutusmalliin (liite 1), joka oli muuten identtinen mutta ilman ADOS x sosiaalisuus interaktiota. Vertailu tehtiin tietokriteereillä (Akaike Information Criterion, AIC ja Bayesian Information Criterion, BIC) ja likelihood ratio -testillä (LRT) (Meteyard & Davies, 2020).

Lopullinen interaktio malli: lmer(log_rmssd ~ ADOS x sosiaalisuus + ikä + tutkimusosio + (1 + sosiaalisuus + tutkimusosio | subj_id)

Mallin sisäkorrelaatiokerroin (intraclass correlation coefficient, ICC) oli 0.783, mikä tarkoittaa, että suurin osa RMSSD-arvojen kokonaisvaihtelusta selittyy yksilöiden välisillä eroilla. Korkea ICC vahvistaa käytetyn LMM-lähestymistavan sopivuutta aineistoon.

Tulokset

Tutkimuksen keskeinen kysymys oli, ovatko ADOS-pisteet yhteydessä RMSSD eroon sosiaalisten ja ei-sosiaalisten videoiden aikana. Mallivertailu antoi ristiriitaista näyttöä interaktion lisäämisen hyödyllisyydestä. AIC tuki interaktiomallia (336.2 vs. 337.2), mutta BIC suosi päävaikutusmallia (389.9 vs 386.7). LRT-testi jäi niukasti tilastollisen merkitsevyyden ulkopuolelle ($\chi 2(1)=2.95$, p=.086). Kokonaisuutena mallivertailu tarjosi vain rajallista ja epäyhtenäistä näyttöä ADOS x sosiaalisuus -interaktion lisäämisen hyödyllisyydestä.

Kiinteiden vaikutusten tarkastelu (taulukko 4) osoitti, että ADOS x sosiaalisuus -interaktio jäi juuri tilastollisen merkitsevyyden ulkopuolelle ($F(1, 76.8) = 3.19$, $p = 0.078$), mutta sen suunta ($b = -0.01$) oli hypoteesin mukainen: autismipiirteisyyden lisääntyessä RMSSD:n ero sosiaalisten ja ei-sosiaalisten videoiden välillä pieneni (kuvio 2). Lisäksi ADOS-pisteet olivat positiivisesti yhteydessä RMSSD-arvoihin ei-sosiaalisten videoiden aikana ($b = 0.02$, $p = .020$). Sosiaaliset videot olivat yhteydessä korkeampaan RMSSD:hen (b = 0.19, SE = 0.054, p < .001). Myös vanhempi ikä oli positiivisessa yhteydessä korkeampaan HRV:n ($b = 0.08$, $p = 0.015$), kun taas tutkimuksen toisessa osiossa mitatut RMSSD-arvot olivat alhaisempia ($b = -0.12$, $p = 0.002$).

TAULUKKO 4: Päätutkimuskysymyksen mukainen LMM interaktiomalli sisälsi seuraavat kiinteät tekijät: ADOS-pisteet, videon sosiaalisuus, ikä (kk) ja koekierroksen tutkimusosio sekä ADOS x sosiaalisuus -interaktio. Yksilötasolla mallinnettiin satunnaiset leikkauspisteet (intercept) sekä yksilökohtaiset regressiokulmat (slope) videon sosiaalisuudelle ja tutkimusosio muuttujalle.

Kiinteät vaikutukset (Fixes effect)

	ß	SE[a]	95% CI[b]	*df*	*t*	*p*
Leikkauspiste (intercept)	1.23	0.62	0.01 - 2.45	85.53	1.98	.051 .
ADOS	0.02	0.01	0.00 - 0.03	78.68	2.37	.020 *
Sosiaalisuus sosiaalinen	0.19	0.05	0.09 - 0.30	68.87	3.58	< .001 ***
Ikä	0.08	0.03	0.02 - 0.15	85.04	2.47	.015 *
Tutkimusosio 2	-0.12	0.04	-0.20 - -0.05	78.92	-3.16	.002 **
ADOS * Sosiaalisuus	-0.01	0.00	-0.02 - 0.00	76.84	-1.79	.078.

Satunnaisvaikutukset (Random Effects):

		σ^2	*kh*	*r*
subj_id (n = 82)				
intercept	leikkaus	0.2	0.45	
Sosiaalisuus	slope	0.00	0.06	Intercept, Sosiaalisuus = .71
Tutkimusosio	slope	0.08	0.28	Intercept, Tutkimusosio = –.47
				Sosiaalisuus, Tutkimusosio = –.39
Jäännösvirhe (residual)		0.06	0.24	

[a] Keskivirhe (Standard error), [b] Luottamusväli (confident interval)

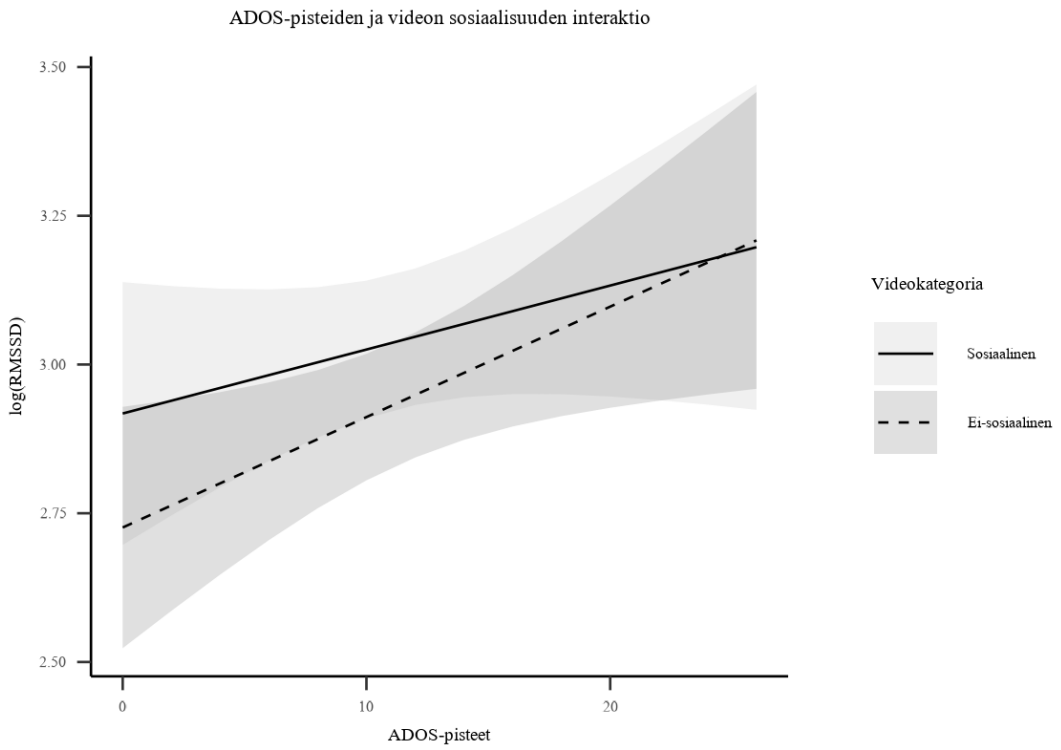
. $p < .1$, * $p < .05$, ** $p < .010$, *** $p < .001$

Interaktio mallin yhtälö:

log_rmssd ~ ADOS x sosiaalisuus + ikä + tutkimusosio + (1 + sosiaalisuus + tutkimusosio | subj_id)

Satunnaisvaikutukset toivat esiin yksilöllisiä eroja (taulukko 4). Lähtötason RMSSD korreloi positiivisesti sosiaalisuuteen liittyvän vaihtelun kanssa ($r = .71$), mikä viittaa siihen, että korkeamman lähtötason RMSSD omaavilla lapsilla oli myös sosiaalisten ärsykkeiden aikana keskimäärin korkeampi RMSSD. Sen sijaan lähtötason RMSSD korreloi negatiivisesti tutkimusosion kanssa ($r = -.47$), eli korkeampi lähtötaso oli yhteydessä pienempään RMSSD:n

laskuun tutkimusosion edetessä. Lisäksi sosiaalisten ja ei-sosiaalisten ärsykkeiden välisen eron sekä tutkimusosion välillä havaittiin negatiivinen korrelaatio (*r* =- .39), mikä viittaa siihen, että suurempi ero videokategorioiden välillä oli yhteydessä vähäisempään muutokseen RMSSD:ssä tutkimusosioin vaihtuessa.



KUVIO 1. Autismikirjon piirteiden yhteys HRV:n sosiaalisten ja ei-sosiaalisten videoärsykkeiden katsomisen aikana. Viivat esittävät kiinteiden vaikutuksien mukaisia regressioviivoja ja tummennetut alueet edustavat 95 % luottamusväliä.

Pohdinta

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella, miten autismikirjon piirteet ovat yhteydessä taaperoiden sydämen sykevälivaihteluun sosiaalisia ja ei-sosiaalisia videoärsykkeitä katsellessa. Tulokset viittaavat siihen, että autismikirjon piirteet saattavat liittyä eroihin HRV:ssä ärsykkeen sosiaalisuuden mukaan, vaikka yhteys ei saavuttanut tilastollista merkitsevyyttä. Efektin suunta

oli kuitenkin hypoteesin mukainen: mitä enemmän autismikirjon piirteitä, sitä pienempi ero HRV:ssä sosiaalisten ja ei-sosiaalisten ärsykkeiden välillä.

Vaikka yhteys jäi suuntaa-antavaksi, havaittu suunta on linjassa aiempien vanhemmilla lapsilla sekä nuorilla tehtyjen tutkimuksien kanssa, joissa HRV-ero sosiaalisten ja ei-sosiaalisten ärsykkeiden välillä on ollut vähäisempi autismipiirteisillä (Cheng ym., 2020; Patriquin ym., 2019). Tässä tutkimuksessa vähäisten autismipiirteiden lapsilla HRV oli korkeampi sosiaalisten kuin ei-sosiaalisten ärsykkeiden aikana, mikä on linjassa tutkimuksen teoreettisen viitekehyksen, polyvagaalisen teorian (Porges, 2007, 2022), kanssa. Teorian mukaan korkea HRV sosiaalisten ärsykkeiden yhteydessä heijastaa parasympaattisen hermoston aktivoitumista, mikä voi liittyä sosiaalisen liittymisen järjestelmän toimintaan ja mahdollisesti koettuun turvallisuuden tunteeseen. Tämä saattaa kuvastaa parempaa emotionaalista säätelyä ja autonomisen hermoston tasapainoista toimintaa. Vastaavasti autismipiirteiden voimistuessa HRV:n ero sosiaalisten ja ei-sosiaalisten ärsykkeiden välillä pieneni, mikä voi viitata mahdollisesti heikompaan fysiologiseen joustavuuteen ja vähäisempään tilannekohtaiseen säätelyyn, vaikka tulos ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Aiemmissa varhaislapsuudessa tehdyissä tutkimuksissa ei myöskään ole havaittu merkitsevää yhteyttä autismipiirteiden ja HRV erojen välillä (Bazelmans ym., 2021; Watson ym., 2012). Watsonin ja kollegoiden (2012) tutkimuksessa suunta oli kuitenkin samankaltainen kuin tässä tutkimuksessa: autismikirjon häiriöisillä lapsilla HRV:n ero sosiaalisten ja ei-sosiaalisten videoiden välillä oli pienempi kuin tyypillisesti kehittyneillä. Kyseisen tutkimuksen pieni otoskoko saattoi osin selittää tulosten ei-merkitsevyyttä. Watsonin ja kollegoiden (2012) tutkimuksessa käytettiin, tämän tutkimuksen tapaan, silmänliikekameraa varmistamaan videoärsykkeen seuraaminen. Silmänliikekameran puuttuminen on yksi mahdollinen selittävätekijä sille, miksi Bazelmansin ja kollegoiden (2021) tutkimuksessa ei löydetty samansuuntaisia tuloksia. Käsillä olevassa tutkimuksessa havaittiin, että silmänliikeaineiston perusteella hylätyt lapset olivat voimakkaasti autismikirjon piirteisiä (ADOS > 14 p). Tämä voi viitata siihen, että korkeampi autismipiirteisyys liittyy tarkkaavuuden ja itsesäätelyn haasteisiin, jotka saattavat vaikuttaa myös fysiologisten vasteiden luotettavuuteen. Näin ollen ärsykkeen katsomisen varmistaminen voi parantaa HRV-mittausten luotettavuutta erityisesti voimakkaasti autismipiirteisillä.

Tutkimuksen ärsykkeiden valinta saattoi osaltaan selittää eroja aiempien tutkimuksien ja tämän tutkimuksen välillä. Tässä tutkimuksessa videot erosivat toisistaan vain siinä, esitettiinkö niissä ihmisiä vai eläimiä. Taustamusiikki ja- puhe sekä videoiden tyylit pyrittiin pitämään mahdollisimman samankaltaisina. Aiemmissa tutkimuksissa ärsyketyypit erosivat selkeämmin toisistaan. Esimerkiksi Watson ja kollegat (2012) käyttivät sosiaalisina ärsykkeinä lapselle suunnattua puhetta (child directed speech) ja ei-sosiaalisena ärsykkeinä liikkuvia leluja ja kuvioita klassisen musiikin soidessa taustalla, kun taas Bazelmans ja kollegat (2021) käyttivät sosiaalisena ärsykkeenä tuutulauluja laulavaa miestä ja ei-sosiaalisena ärsykkeenä liikkuvia ja vilkkuvia äänileluja. Tässä tutkimuksessa ärsykkeiden puhtaampi sosiaalisuuden kontrasti saattoi tuoda esiin selvemmän yhteyden. Lisäksi ADOS-pisteiden käsittely jatkuvana muuttujana saattoi tarjota herkemmän menetelmän yhteyksien havaitsemiseen kuin ryhmävertailu.

Tässä tutkimuksessa havaittiin, että voimakkaasti autismipiirteisillä lapsilla HRV oli korkeampi ei-sosiaalisten ärsykkeiden aikana verrattuna vähäisesti autismipiirteisiin lapsiin. Samansuuntaisia havaintoja on tehty aiemmissa varhaislapsuuden tutkimuksissa. Esimerkiksi Billecin ja kollegoiden (2018) tutkimuksessa autismikirjon taaperoilla HRV oli korkeampi passiivisen istumisen aikana kuin tyypillisesti kehittyneillä, kun taas Bazelmans ja kollegat (2019) eivät löytäneet ryhmäeroja HRV:ssä luontovideoita katsellessa. Nämä tulokset viittaavat siihen, että autonomisen hermoston ylivirittyneisyyttä ei välttämättä esiinny varhaislapsuudessa. Tämä havainto eroaa vanhemmilla lapsilla ja nuorilla tehdyistä tutkimuksista, joissa HRV:n on havaittu olevan alentunut autismikirjon lapsilla vastaavan kaltaisia ei-sosiaalisia ärsykkeitä katsellessa (Cheng ym., 2020; Patriquin ym., 2019). Tämän tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että autonomisen hermoston ylivireys ei välttämättä ole varhaiskehityksessä keskeinen autismikirjon oireisiin liittyvä tekijä, vaan saattaa heijastaa kehityksellisiä tekijöitä autonomisen hermoston säätelyssä.

Varhaislapsuudessa tehdyt havainnot viittaavat siihen, että autismikirjon poikkeava autonomisen hermoston säätely liittyy kehityksellisiin tekijöihin pikemmin kuin suoraan ylivireyteen. Sekä tämä tutkimus että Watsonin ja kollegoiden (2012) tutkimus viittaavat siihen, että autismipiirteet ja ärsykkeen sosiaalisuus voivat olla yhteydessä autonomisen hermoston toimintaan jo varhaisessa kehitysvaiheessa. Yhteydet ovat kuitenkin heikkoja, viitaten siihen, että hermoston säätelyn erot tulevat selkeämmin esiin vasta myöhemmässä kehityksessä. Esimerkiksi sosiaalisten vaatimuksien kasvaessa tai kehityspolkujen eriytyessä siinä määrin, että

autismikirjon diagnoosi voidaan asettaa. Onkin mahdollista, että osalle tämän tutkimuksen taaperoista ilmenee jokin muu kehityshäiriö tai varhaisvaiheen sosiaalisten taitojen kehitysviivästymä, joka ei enää näy myöhemmässä lapsuudessa. Tämä tulkinta tukee käsitystä kehityksellisestä jatkuvuudesta ja yksilöllisten erojen merkityksestä varhaisessa hermoston kehityksessä.

Kehityksellistä näkökulmaa vahvistaa myös Patriquinin ja kollegoiden (2014) havainto HRV:n kehityspoluista. Tyypillisesti HRV kasvaa vähitellen 5–48 kuukauden iässä, kun mittaukset tehtiin paikallaan istuessa ja videota katsellen. Poikkeavalla kehityspolulla HRV:n kasvu oli aluksi nopeampaa 5–24 kuukauden iässä, mutta pysähtyi tämän jälkeen, mikä johti ainakin tilapäisesti korkeampaan HRV:hen 24 kuukauden iässä. Tämä poikkeava kehityspolku oli yhteydessä heikompaan raportoituun sosiaaliseen kompetenssiin neljän vuoden iässä (Patriquin ym., 2014), jonka puolestaan on todettu olevan yhteydessä autismikirjon häiriöön (Thabtah & Peebles, 2019). Näin ollen autonomisen hermoston kehityksellisten tekijöiden ja sosiaalisten haasteiden välistä yhteyttä autismikirjon lapsuudessa tulisi jatkossa tutkia myös pitkittäisasetelmilla.

Tuloksia voidaan vaihtoehtoisesti tarkastella neuroviskeraalisen integraatioteorian näkökulmasta, jonka ytimessä on keskushermoston ja autonomisen hermoston välinen integraatio (Thayer & Lane, 2000). Teorian mukaan korkea HRV kuvastaa joustavaa itsesäätelyä, erityisesti prefrontaalisen aivokuoren alueilta lähtevää säätelyä, joka mahdollistaa mm. tarkkaavaisuuden, tunnetilojen ja käyttäytymisen sopeutumisen ympäristön vaatimuksiin (Thayer ym., 2009). HRV:tä onkin ehdotettu käyttökelpoiseksi biomarkkeriksi ylhäältä-alaspäin suuntautuvalle itsesäätelylle, vaikka se ei yksinään mahdollista eri osa-alueiden tarkkaa erottelua (Holzman & Bridgett, 2017). Tässä tutkimuksessa havaittu ero sosiaalisten ja ei-sosiaalisten ärsykkeiden välillä vähäisten autismipiirteiden lapsilla voi kuvastaa joustavaa itsesäätelyä, jossa hermoston toiminta tukee sosiaalisiin ärsykkeisiin orientoitumista. Autismipiirteisillä pienempi ero voi viitata siihen, että itsesäätelyprosessien suuntautuminen ei eriydy sosiaalisten ja ei-sosiaalisten ärsykkeiden välillä samalla tavalla. Neuroviskeraalinen integraatioteoria (Thayer & Lane, 2000) tarjoaa näin polyvagaaliselle teorialle (Porges, 2007) vaihtoehtoisen, mutta samalla täydentävän viitekehyksen, jonka kautta voidaan tarkastella autismipiirteisten HRV:n kehitystä ja sen yhteyttä sosiaalisiin haasteisiin hermoston kehityksen näkökulmasta.

Tutkimuksessa havaittiin myös, että HRV oli keskimäärin alhaisempaa tutkimuksen toisella osiolla verrattuna ensimmäiseen. Tämä voi viitata kuormittumiseen tai vireystilan laskuun, sillä kognitiivinen kuormitus on aiemmin yhdistetty HRV:n alenemiseen (Matuz ym., 2021; Suess ym., 1994). Havainto nousi esiin huolimatta siitä, että tutkimusosiot olivat lyhyitä ja niiden aikana pidettiin tarvittaessa lyhyitä taukoja, myös osioiden välillä oli pidempi tauko. Tauot ovat voineet vaikuttaa tuloksiin. Tutkimus toi uutta tietoa tutkimustilanteiden kuormittavuudesta, jota ei ole tiedettävästi aiemmin kontrolloitu vastaavissa varhaislapsuuden tutkimuksissa. Se korosti kuormituksen kontrolloinnin tärkeyttä tutkimusasetelmissa. Lisätutkimusta kuitenkin tarvitaan kuormittuneisuuden yhteydestä autismipiirteisiin. Ajan käsittely jatkuvana muuttuja tai hienojakoisempana kategorisena muuttujana voisi tarjota lisätietoa kuormittavuudesta ja itsesäätelyn muutoksista tutkimuksen edetessä.

Metodologiset tekijät voivat osaltaan vaikuttaa tuloksiin ja vaikeuttaa vertailua aiempiin tutkimuksiin. HRV-mittaukseen vaikuttavat esimerkiksi lapsen asento (Young, 2011), ruokailu (Lu ym., 1999) sekä edeltävien päivien unen määrä (Stein & Pu, 2012). Lisäksi tutkimusasetelma ei perustunut tyypilliseen HRV-reaktiomittaukseen, jossa ärsykettä verrataan perustasoon (Laborde ym., 2017; Smith ym., 2020). Käytetyt ei-sosiaaliset eläinvideot vastasivat osittain perustason mittauksen suosituksia (Laborde ym., 2017), mutta taaperoilla jopa hiljainen istuminen voi vaatia aktiivista itsesäätelyä (Holzman & Bridgett, 2017; Thayer ym., 2009). Tästä syystä tutkimuksessa keskityttiin vertaamaan HRV:tä ärsyketyyppien välillä.

Hylätyissä ja aineistosta poistetuissa koekierroksissa korostuivat voimakkaasti autismipiirteiset lapset. Aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että autismikirjon lapset liikkuvat enemmän ja kohdistavat vähemmän katsettaan sosiaalisiin ärsykkeisiin audiovisuaalisissa tehtävissä (Klin ym., 2009; Krishnappa Babu ym., 2023). Liikkuminen ja vähäisempi katseen kohdistaminen videoärsykkeeseen saattavat kuvastaa itsesäätelyn ja sopeutumisen haasteita, jotka voivat näkyä alhaisempana HRV:n tasona ja vähäisempänä HRV-erona ärsyketyyppien välillä. Ominaisuuksien korostuessa hylätyissä ja poistetuissa koekierroksissa, jäljelle jäänyt aineisto ei välttämättä edusta koko kohderyhmää. Tällainen vinouma voi rajoittaa tulosten yleistettävyyttä.

Vinouman vaikutusta pyrittiin minimiomaan huomioimalla esikäsittelyssä liikkumisesta aiheutuneet liikeartefaktit EKG-aineistossa. EKG:hen estimoitiin manuaalisesti havaitsematta jääneitä ja epäselviä R-piikkejä. Lisäksi hyväksytyn aineiston ajallinen kesto pidettiin lyhyenä.

Nämä tekijät laajensivat analysoitavaa aineistoa, mutta saattoivat lisätä samalla tuloksiin liittyvää epävarmuutta.

On mahdollista, että HRV-vasteet heijastavat yleistä reaktiota tutkimusasetelmaan. Autismipiirteiset lapset saattavat reagoida tutkimustilanteeseen eri tavoin kuin tyypillisesti kehittyneet, esimerkiksi siinä, kuinka häiritseväksi EKG-anturit koetaan tai kuinka motivoivina tehtävät näyttäytyvät. Nämä tekijät voivat vaikuttaa HRV:n.

Lapset istuivat vanhempiensa sylissä turvallisuuden tunteen lisäämiseksi, mutta tämä saattoi vaikuttaa mittauksiin esimerkiksi psykofysiologisen synkronian kautta (Carozza & Leong, 2021). Tällöin mitattu HRV voi heijastaa enemmän vanhemman ja lapsen välistä synkroniaa kuin yksinomaan tutkittavan omaa vastetta ärsykkeisiin. On mahdollista, että vanhemman läsnäolo vaikuttaa autismipiirteisiin lapsiin eri tavoin kuin tyypillisesti kehittyneisiin.

Tutkimuksessa käytetty tilastollinen malli ei välttämättä selitä kaikkia yksilöllisiä eroja vasteissa. Tämä näkyi siinä, että sosiaalisuuden ja tutkimusosioiden satunnaisvaikutukset vaihtelivat systemaattisesti yhdessä. Korkea HRV ero sosiaalisuudessa oli yhteydessä pienempään eroon tutkimusosioiden välillä. Lisäksi kognitiivisten kykyjen kontrollointi voisi olla perusteltua aiempien tutkimusten perusteella (Patriquin ym., 2019). Tulevissa tutkimuksissa HRV:n rinnalla voitaisiin hyödyntää myös muita autonomisen hermoston mittareita, kuten syketasoa, joka heijastaa sekä parasympaattista että sympaattista sääntelyä (Laborde ym., 2017; Shaffer ym., 2014).

Tämä tutkimus toi esiin viitteitä autismipiirteisten lasten autonomisen hermoston toiminnan poikkeavuuksista varhaislapsuudessa. Tulokset eivät kuitenkaan olleet niin vahvoja, että HRV soveltuisi tässä muodossa autismikirjon varhaiseen tunnistamiseen yksilötasolla. HRV:n ja muiden autonomisen hermoston mittareiden käyttö itsesäätelyn mittarina ansaitsee kuitenkin jatkotutkimusta. Teknologisen kehityksen myötä, esimerkiksi älykellojen avulla tapahtuva HRV-seuranta voi tulevaisuudessa tarjota keinoja yksilöllisten säätelystrategioiden tukemiseen (Torrado ym., 2017).

Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa löydettiin viitteitä siitä, että autismipiirteet voivat jo ennen diagnoosia liittyä varhaiseen autonomisen hermoston säätelyn eriytymiseen, mikä tuli esiin HRV:n eroina sosiaalisten ja ei-sosiaalisten ärsykkeiden aikana. Yhteydet olivat kuitenkin heikkoja ja osin ei-

merkitseviä, mutta niiden suunta oli johdonmukainen sekä aiempien tutkimusten että polyvagaalisen teorian (Porges, 2007) ja neuroviskeraalisen integraatioteorian (Thayer & Lane, 2000) kanssa.

Yhteydet korostivat kehityksellistä näkökulmaa, vaikka ne olivat heikkoja. Varhaislapsuudessa ei ollut havaittavissa autismikirjon piirteisillä samanlaista autonomisen hermoston ylivireyttä kuin on myöhemmissä ikävaiheissa liitetty autismikirjon häiriöön. Tämä ero ikävaiheiden välillä korostaa kehityksellisten tekijöiden merkitystä autonomisen hermoston säätelyn ja sosiaalisten haasteiden välisessä suhteessa. On mahdollista, että osa tutkimuksen lapsista edustaa muuta kehityksellistä poikkeamaa tai viivettä, kuin autismikirjon häiriötä. Tämä voi osaltaan selittää haivattujen yhteyksien heikkoutta ja sitä, että erot autonomisen hermoston säätelyssä tulevat esiin selkeämmin myöhemmässä lapsuudessa. Tulokset korostavat pitkittäistutkimusten tarvetta autonomisen hermoston kehityksen ja autismikirjon välisen suhteen ymmärtämiseksi.

Tulokset toivat esiin myös tutkimusasetelman kuormittavuuden, sillä HRV laski tutkimuksen edetessä toiselle osiolle. Tämä osoittaa, että mittaustilanteen rasittavuus tulisi huomioida erityisesti varhaislapsuuden tutkimuksissa. Kuormituksen yhteydestä autismipiirteisiin tarvitaan lisätutkimusta.

Vaikka HRV ei sellaisenaan sovellu varhaisen tunnistamisen työkaluksi yksilötasolla, se tarjoaa keinon tarkastella autismipiirteisiin liittyviä fysiologisia mekanismeja ja niiden kehityksellistä taustaa. Tulevaisuudessa esimerkiksi älylaitteisiin perustuva HRV-seuranta saattaa tarjota uusia keinoja tunnistaa ja tukea yksilöllisiä säätelystrategioita jo kehityksen varhaisvaiheissa.

Lähteet

American Psychiatric Association (Toim.). (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5* (5th ed). American Psychiatric Association.

Arvidsson, O., Gillberg, C., Lichtenstein, P., & Lundström, S. (2018). Secular changes in the symptom level of clinically diagnosed autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *59*(7), 744–751. https://doi.org/10.1111/jcpp.12864

Bal, E., Harden, E., Lamb, D., Van Hecke, A. V., Denver, J. W., & Porges, S. W. (2010). Emotion recognition in children with autism spectrum disorders: Relations to eye gaze and autonomic state. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *40*(3), 358–370. https://doi.org/10.1007/s10803-009-0884-3

Barbaro, J., & Dissanayake, C. (2009). Autism apectrum disorders in infancy and toddlerhood: A review of the evidence on early signs, early identification tools, and early diagnosis. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, *30*(5), 447–459. https://doi.org/10.1097/DBP.0b013e3181ba0f9f

Bar-Haim, Y., Marshall, P. J., & Fox, N. A. (2000). Developmental changes in heart period and high-frequency heart period variability from 4 months to 4 years of age. *Developmental Psychobiology*, *37*(1), 44–56. https://doi.org/10.1002/1098-2302(200007)37:1<44::aid-dev6>3.0.co;2-7

Barr, D. J. (2013). Random effects structure for testing interactions in linear mixed-effects models. *Frontiers in Psychology*, *4*, 328. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00328

Bayley, N. (2006). *Bayley Scales of Infant and Toddler Development* (3. painos). Harcourt Assessment.

Bazelmans, T., Jones, E. J. H., Ghods, S., Corrigan, S., Toth, K., Charman, T., & Webb, S. J. (2019). Heart rate mean and variability as a biomarker for phenotypic variation in preschoolers with autism spectrum disorder. *Autism Research*, *12*(1), 39–52. https://doi.org/10.1002/aur.1982

Bazelmans, T., Jones, E. J. H., Ghods, S., Corrigan, S., Toth, K., Charman, T., & Webb, S. J. (2021). Identifying phenotypic and physiological subgroups of preschoolers with autism spectrum disorder. *Psychological Medicine*, *53*(4), 1592–1602. https://doi.org/10.1017/S0033291721003172

Benevides, T. W., & Lane, S. J. (2015). A review of cardiac autonomic measures: Considerations for examination of physiological response in children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *45*(2), 560–575. https://doi.org/10.1007/s10803-013-1971-z

Billeci, L., Tonacci, A., Narzisi, A., Manigrasso, Z., Varanini, M., Fulceri, F., Lattarulo, C., Calderoni, S., & Muratori, F. (2018). Heart rate variability during a joint attention task in toddlers with autism spectrum disorders. *Frontiers in Physiology*, *9*, 467. https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00467

Billman, G. E. (2013). The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Frontiers in Physiology*, *4*. https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00026

Blair, C., & Peters, R. (2003). An investigation into age and gender differences in human kamin blocking, using a computerized task. *Developmental Neuropsychology*, *24*(1), 479–497.

Bradshaw, J., Fu, X., & Richards, J. E. (2024). Infant sustained attention differs by context and social content in the first 2 years of life. *Developmental Science*, *27*(4), e13500. https://doi.org/10.1111/desc.13500

Calkins, S. D., & Keane, S. P. (2004). Cardiac vagal regulation across the preschool period: Stability, continuity, and implications for childhood adjustment. *Developmental Psychobiology*, *45*(3), 101–112. https://doi.org/10.1002/dev.20020

Carozza, S., & Leong, V. (2021). The role of affectionate caregiver touch in early neurodevelopment and parent–infant interactional synchrony. *Frontiers in Neuroscience*, *14*. https://doi.org/10.3389/fnins.2020.613378

Chamberlain, B., Kasari, C., & Rotheram-Fuller, E. (2007). Involvement or isolation? The social networks of children with autism in regular classrooms. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *37*(2), 230–242. https://doi.org/10.1007/s10803-006-0164-4

Cheng, Y.-C., Huang, Y.-C., & Huang, W.-L. (2020). Heart rate variability in individuals with autism spectrum disorders: A meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *118*, 463–471. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.08.007

Dawson, G. (2008). Early behavioral intervention, brain plasticity, and the prevention of autism spectrum disorder. *Development and Psychopathology*, *20*(3), 775–803. https://doi.org/10.1017/S0954579408000370

De Witte, N. A. J., Sütterlin, S., Braet, C., & Mueller, S. C. (2016). Getting to the heart of emotion regulation in youth: The role of interoceptive sensitivity, heart rate variability and parental psychopathology. *PLOS ONE*, *11*(10), e0164615. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164615

Fabes, R. A., Eisenberg, N., & Eisenbud, L. (1993). Behavioral and physiological correlates of children's reactions to others in distress. *Developmental Psychology*, *29*(4), 655–663. https://doi.org/10.1037/0012-1649.29.4.655

Fleming, S., Thompson, M., Stevens, R., Heneghan, C., Plüddemann, A., Maconochie, I., Tarassenko, L., & Mant, D. (2011). Normal ranges of heart rate and respiratory rate in children from birth to 18 years of age: A systematic review of observational studies. *The Lancet*, *377*(9770), 1011–1018. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)62226-X

Graziano, P. A., Keane, S. P., & Calkins, S. D. (2007). Cardiac vagal regulation and early peer status. *Child Development*, *78*(1), 264–278. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.00996.x

Holzman, J. B., & Bridgett, D. J. (2017). Heart rate variability indices as bio-markers of top-down self-regulatory mechanisms: A meta-analytic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *74*, 233–255. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.12.032

Huffman, L. C., Bryan, Y. E., del Carmen, R., Pedersen, F. A., Doussard-Roosevelt, J. A., & Porges, S. W. (1998). Infant temperament and cardiac vagal tone: Assessments at twelve weeks of age. *Child Development*, *69*(3), 624. https://doi.org/10.2307/1132194

Jones, W., & Klin, A. (2013). Attention to eyes is present but in decline in 2–6-month-old infants later diagnosed with autism. *Nature*, *504*(7480), 427–431. https://doi.org/10.1038/nature12715

Kleiger, R. E., Stein, P. K., & Bigger, J. T. (2005). Heart rate variability: Measurement and clinical utility. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, *10*(1), 88–101. https://doi.org/10.1111/j.1542-474X.2005.10101.x

Klin, A., Lin, D. J., Gorrindo, P., Ramsay, G., & Jones, W. (2009). Two-year-olds with autism orient to non-social contingencies rather than biological motion. *Nature*, *459*(7244), 257–261. https://doi.org/10.1038/nature07868

Krishnappa Babu, P. R., Di Martino, J. M., Chang, Z., Perochon, S., Aiello, R., Carpenter, K. L. H., Compton, S., Davis, N., Franz, L., Espinosa, S., Flowers, J., Dawson, G., & Sapiro, G.

(2023). Complexity analysis of head movements in autistic toddlers. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *64*(1), 156–166. https://doi.org/10.1111/jcpp.13681

Kuusela, T. (2012). Methodological aspects of heart rate variability analysis. Teoksessa M. V. Kamath, M. Watanabe, & A. Upton, *Heart Rate Variability (HRV) Signal Analysis: Clinical Applications* (ss. 27–60). Taylor & Francis Group. http://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=1447662

Kylliäinen, A., & Hietanen, J. (2006). Skin conductance responses to another person's gaze in children with autism. *Journal of Autism & Developmental Disorders*, *36*(4), 517–525. https://doi.org/10.1007/s10803-006-0091-4

Kylliäinen, A., Wallace, S., Coutanche, M. N., Leppänen, J. M., Cusack, J., Bailey, A. J., & Hietanen, J. K. (2012). Affective–motivational brain responses to direct gaze in children with autism spectrum disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *53*(7), 790–797. https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2011.02522.x

Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research – recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in Psychology*, *8*. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2017.00213

Lord, C., Elsabbagh, M., Baird, G., & Veenstra-Vanderweele, J. (2018). Autism spectrum disorder. *The Lancet*, *392*(10146), 508–520. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31129-2

Lord, C., Rutter, M., DiLavore, P. C., Risi, S., Gotham, K., & Bishop, S. (2012). *Autism diagnostic observation schedule: ADOS-2*. Western Psychological Services.

Lu, C.-L., Zou, X., Orr, W. C., & Chen, J. D. Z. (1999). Postprandial changes of sympathovagal balance measured by heart rate variability. *Digestive Diseases and Sciences*, *44*(4), 857–861. https://doi.org/10.1023/A:1026698800742

Lundstrom, S., Reichenberg, A., Anckarsater, H., Lichtenstein, P., & Gillberg, C. (2015). Autism phenotype versus registered diagnosis in Swedish children: Prevalence trends over 10 years in general population samples. *BMJ*, *350*(apr28 2), h1961–h1961. https://doi.org/10.1136/bmj.h1961

Lydon, S., Healy, O., Reed, P., Mulhern, T., Hughes, B. M., & Goodwin, M. S. (2016). A systematic review of physiological reactivity to stimuli in autism. *Developmental Neurorehabilitation*, *19*(6), 335–355. https://doi.org/10.3109/17518423.2014.971975

Marcovitch, S., Leigh, J., Calkins, S. D., Leerks, E. M., O'Brien, M., & Blankson, A. N. (2010). Moderate vagal withdrawal in 3.5-year-old children is associated with optimal performance on executive function tasks. *Developmental Psychobiology*, *52*(6), 603–608. https://doi.org/10.1002/dev.20462

Matson, J. L., & Kozlowski, A. M. (2011). The increasing prevalence of autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*, *5*(1), 418–425. https://doi.org/10.1016/j.rasd.2010.06.004

Matuz, A., van der Linden, D., Kisander, Z., Hernádi, I., Kázmér, K., & Csathó, Á. (2021). Enhanced cardiac vagal tone in mental fatigue: Analysis of heart rate variability in Time-on-Task, recovery, and reactivity. *PLoS ONE*, *16*(3), 1–22. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238670

McCraty, R., & Childre, D. (2010). Coherence: Bridging personal, social and global health. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, *16*(4), 10–24.

Melo, H. M., Nascimento, L. M., & Takase, E. (2017). Mental fatigue and heart rate variability (HRV): The time-on-task effect. *Psychology & Neuroscience*, *10*(4), 428–436. https://doi.org/10.1037/pne0000110

Meteyard, L., & Davies, R. A. I. (2020). Best practice guidance for linear mixed-effects models in psychological science. *Journal of Memory and Language*, *112*, 104092. https://doi.org/10.1016/j.jml.2020.104092

Mottron, L., & Bzdok, D. (2020). Autism spectrum heterogeneity: Fact or artifact? *Molecular Psychiatry*, *25*(12), 3178–3185. https://doi.org/10.1038/s41380-020-0748-y

Mundy, P., & Neal, R. (2000). Neural plasticity, joint attention, and a transactional social-orienting model of autism. Teoksessa *International Review of Research in Mental Retardation* (Vsk. 23, ss. 139–168). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0074-7750(00)80009-9

Neuhaus, E., Bernier, R., & Beauchaine, T. (2014). Brief report: Social skills, internalizing and externalizing symptoms, and respiratory sinus arrhythmia in autism. *Journal of Autism & Developmental Disorders*, *44*(3), 730–737. https://doi.org/10.1007/s10803-013-1923-7

Nunan, D., Sandercock, G. R. H., & Brodie, D. A. (2010). A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing & Clinical Electrophysiology*, *33*(11), 1407–1417. https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x

Patriquin, M. A., Hartwig, E. M., Friedman, B. H., Porges, S. W., & Scarpa, A. (2019). Autonomic response in autism spectrum disorder: Relationship to social and cognitive functioning. *Biological Psychology*, *145*, 185–197. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2019.05.004

Patriquin, M. A., Lorenzi, J., Scarpa, A., & Bell, M. A. (2014). Developmental trajectories of respiratory sinus arrhythmia: Associations with social responsiveness. *Developmental Psychobiology*, *56*(3), 317–326. https://doi.org/10.1002/dev.21100

Patriquin, M. A., Lorenzi, J., Scarpa, A., Calkins, S. D., & Bell, M. A. (2015). Broad implications for respiratory sinus arrhythmia development: Associations with childhood symptoms of psychopathology in a community sample. *Developmental Psychobiology*, *57*(1), 120–130. https://doi.org/10.1002/dev.21269

Patriquin, M. A., Scarpa, A., Friedman, B. H., & Porges, S. W. (2011). Respiratory sinus arrhythmia: A marker for positive social functioning and receptive language skills in children with autism spectrum disorders. *Developmental Psychobiology*, *55*(2), 101–112. https://doi.org/10.1002/dev.21002

Peltola, M. J., Hietanen, J. K., Forssman, L., & Leppänen, J. M. (2013). The Emergence and Stability of the Attentional Bias to Fearful Faces in Infancy. *Infancy*, *18*(6), 905–926. https://doi.org/10.1111/infa.12013

Pierce, K., Conant, D., Hazin, R., Stoner, R., & Desmond, J. (2011). Preference for Geometric Patterns Early in Life as a Risk Factor for Autism. *Archives of General Psychiatry*, *68*(1), 101. https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2010.113

Porges, S. W. (2007). The polyvagal perspective. *Biological Psychology*, *74*(2), 116–143. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.06.009

Porges, S. W. (2021). Cardiac vagal tone: A neurophysiological mechanism that evolved in mammals to dampen threat reactions and promote sociality. *World Psychiatry*, *20*(2), 296–298. https://doi.org/10.1002/wps.20871

Porges, S. W. (2022). Polyvagal theory: A science of safety. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *16*. https://doi.org/10.3389/fnint.2022.871227

Porges, S. W., Doussard-Roosevelt, J. A., Lourdes Portales, A., & Suess, P. E. (1994). Cardiac vagal tone: Stability and relation to difficultness in infants and 3-year-Olds. *Developmental Psychobiology*, *27*(5), 289–300. https://doi.org/10.1002/dev.420270504

Porges, S. W., Macellaio, M., Stanfill, S. D., McCue, K., Lewis, G. F., Harden, E. R., Handelman, M., Denver, J., Bazhenova, O. V., & Heilman, K. J. (2013). Respiratory sinus arrhythmia and auditory processing in autism: Modifiable deficits of an integrated social engagement system? *International Journal of Psychophysiology*, *88*(3), 261–270. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.11.009

Posit team. (2024). *RStudio: Integrated Development Environment for R*. Posit Software, PBC, Boston, MA. http://www.posit.co/

Pukkila, T., Rankinen, J., Lyytikäinen, L.-P., Oksala, N., Nikus, K., Räsänen, E., & Hernesniemi, J. (2025). Repeated heart rate variability monitoring after myocardial infraction—Cohort profile of the MI-ECG study. *International Journal of Cardiology. Heart & Vasculature*, *57*, 101619. https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2025.101619

R Core Team. (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Robins, D. L., Casagrande, K., Barton, M., Chen, C.-M. A., & Fein, D. (2014). Validation of the modified checklist for autism in toddlers, revised with follow-up (M-CHAT-R/F). *Pediatrics*, *133*(1), 37–45. https://doi.org/10.1542/peds.2013-1813

Russell, G., Stapley, S., Newlove-Delgado, T., Salmon, A., White, R., Warren, F., Pearson, A., & Ford, T. (2022). Time trends in autism diagnosis over 20 years: A UK population-based cohort study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *63*(6), 674–682. https://doi.org/10.1111/jcpp.13505

Sánchez-García, A. B., Galindo-Villardón, P., Nieto-Librero, A. B., Martín-Rodero, H., & Robins, D. L. (2019). Toddler screening for autism spectrum disorder: A meta-analysis of diagnostic accuracy. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *49*(5), 1837–1852. https://doi.org/10.1007/s10803-018-03865-2

Sasson, N. J., & Touchstone, E. W. (2014). Visual attention to competing social and object images by preschool children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *44*(3), 584–592. https://doi.org/10.1007/s10803-013-1910-z

Shaffer, F., McCraty, R., & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: An integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology*, *5*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01040

Shahrestani, S., Stewart, E., Quintana, D., Hickie, I., & Guastella, A. (2014). Heart rate variability during social interactions in children with and without psychopathology: A meta-analysis. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, *55 9*, 981–989. https://doi.org/10.1111/jcpp.12226

Sheinkopf, S. J., Neal-Beevers, A. R., Levine, T. P., Miller-Loncar, C., & Lester, B. (2013). Parasympathetic response profiles related to social functioning in young children with autistic disorder. *Autism Research and Treatment*, *2013*(1), 868396. https://doi.org/10.1155/2013/868396

Smith, T. W., Deits-Lebehn, C., Williams, P. G., Baucom, B. R. W., & Uchino, B. N. (2020). Toward a social psychophysiology of vagally mediated heart rate variability: Concepts and methods in self-regulation, emotion, and interpersonal processes. *Social and Personality Psychology Compass*, *14*(3), e12516. https://doi.org/10.1111/spc3.12516

Stein, P. K., & Pu, Y. (2012). Heart rate variability, sleep and sleep disorders. *Sleep Medicine Reviews*, *16*(1), 47–66. https://doi.org/10.1016/j.smrv.2011.02.005

Suess, P. E., Porges, S. W., & Plude, D. J. (1994). Cardiac vagal tone and sustained attention in school-age children. *Psychophysiology*, *31*(1), 17–22. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1994.tb01020.x

Swettenham, J., Baron-Cohen, S., Charman, T., Cox, A., Baird, G., Drew, A., Rees, L., & Wheelwright, S. (2003). The frequency and distribution of spontaneous attention shifts between social and nonsocial stimuli in autistic, typically developing, and nonautistic developmentally delayed infants. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *39*(5), 747–753. https://doi.org/10.1111/1469-7610.00373

Thabtah, F., & Peebles, D. (2019). Early autism screening: A comprehensive review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(18), 3502. https://doi.org/10.3390/ijerph16183502

Thayer, J. F., Hansen, A. L., Saus-Rose, E., & Johnsen, B. H. (2009). Heart rate variability, prefrontal neural function and cognitive performance: The neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation and health. *Annals of Behavioral Medicine*, *37*(2), 141–153. https://doi.org/10.1007/s12160-009-9101-z

Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of Affective Disorders*, *61*(3), 201–216. https://doi.org/10.1016/S0165-0327(00)00338-4

Tirri, R., Lehtonen, J., Lemmentyinen, R., Pihakaski, S., & Portin, P. (2001). *Biologian sanakirja* (1. uud. laitos). Kustannusosakeyhtiö Otava.

Toichi, M., & Kamio, Y. (2003). Paradoxical autonomic response to mental tasks in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *33*(4), 417–426. https://doi.org/10.1023/A:1025062812374

Torrado, J. C., Gomez, J., & Montoro, G. (2017). Emotional self-regulation of individuals with autism spectrum disorders: Smartwatches for monitoring and interaction. *Sensors*, *17*(6), 1359. https://doi.org/10.3390/s17061359

Van Hecke, A. V., Lebow, J., Bal, E., Lamb, D., Harden, E., Kramer, A., Denver, J., Bazhenova, O., & Porges, S. W. (2009). Electroencephalogram and heart rate regulation to familiar and unfamiliar people in children with autism spectrum disorders. *Child Development*, *80*(4), 1118–1133. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2009.01320.x

Watson, L., Roberts, J., Baranek, G., Mandulak, K., & Dalton, J. (2012). Behavioral and physiological responses to child-directed speech of children with autism spectrum disorders or typical development. *Journal of Autism & Developmental Disorders*, *42*(8), 1616–1629. https://doi.org/10.1007/s10803-011-1401-z

Yliherva, A., Rantala, L., Ebeling, H., Gissler, M., Parviainen, T., Tani, P., & Moilanen, I. (2018). Autismikirjon häiriön varhainen tunnistaminen ja diagnosointi Suomessa – perheiden näkemys. *Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim*, *134*(20), 2047–2054.

Young, F. L. S. (2011). Short-term stability of resting heart rate variability: Influence of position and gender. *Applied Physiology, Nutrition & Metabolism*, *36*(2), 210–218. https://doi.org/10.1139/h10-103

Zeidan, J., Fombonne, E., Scorah, J., Ibrahim, A., Durkin, M. S., Saxena, S., Yusuf, A., Shih, A., & Elsabbagh, M. (2022). Global prevalence of autism: A systematic review update. *Autism Research*, *15*(5), 778–790. https://doi.org/10.1002/aur.2696

Zwaigenbaum, L., Bauman, M. L., Choueiri, R., Kasari, C., Carter, A., Granpeesheh, D., Mailloux, Z., Smith Roley, S., Wagner, S., Fein, D., Pierce, K., Buie, T., Davis, P. A., Newschaffer, C., Robins, D., Wetherby, A., Stone, W. L., Yirmiya, N., Estes, A., … Natowicz, M. R. (2015). Early intervention for children with autism spectrum disorder under 3 years of age: Recommendations for practice and research. *Pediatrics*, *136*(Suppl 1), S60–S81. https://doi.org/10.1542/peds.2014-3667E

Liite 1

TAULUKKO: Mallivertailussa käytetty LMM päävaikutusmalli sisälsi seuraavat kiinteät tekijät: ADOS-pisteet, videon sosiaalisuus, ikä (kk) ja koekierroksen tutkimusosio. Yksilötasolla mallinnettiin satunnaiset leikkauspisteet (intercept) sekä yksilökohtaiset regressiokulmat (slope) videon sosiaalisuudelle ja tutkimusosio muuttujalle.

Kiinteätvaikutukset (Fixes effect)

	ß	SE[a]	95% CI[b]	*df*	*t*	*p*
Leikkauspiste (intercept)	1.23	0.62	0.02 - 2.45	85.87	1.99	.050 .
ADOS pisteet	0.02	0.01	0.00 - 0.03	78.98	2.22	.029 *
Sosiaalisuus sosiaalinen	0.11	0.03	0.06 - 0.16	71.96	4.11	< .001 ***
Ikä	0.08	0.03	0.02 - 0.15	85.37	2.50	.014 *
Tutkimusosio 2	-0.13	0.03	-0.20 - -0.05	85.37	-3.22	.002 **

Satunnaisvaikutukset (Random Effects):

		σ^2	*kh*	*r*
subj_id (n = 82)				
intercept	leikkaus	0.2	0.45	
Sosiaalisuus	slope	0.01	0.08	Intercept, Sosiaalisuus = .66
Tutkimusosio	slope	0.08	0.28	Intercept, Tutkimusosio = –.48
				Sosiaalisuus, Tutkimusosio = –.51
Jäännösvirhe (residual)		0.06	0.24	

[a] Keskivirhe (Standard error), [b] Luottamusväli (confident interval)

. $p < .1$, * $p < .05$, ** $p < .010$, *** $p < .001$

Päävaikutusmallin yhtälö:

log_rmssd ~ ADOS + sosiaalisuus + ikä + tutkimusosio + (1 + sosiaalisuus + tutkimusosio | subj_id)