

Reaktioaikojen yksilönsisäisen vaihtelun hajontaparametreihin yhdistetyt diagnoosit ja tekijät

Saana Korhonen ja Nora Norrdahl

Kandidaatintutkielma

Ohjaaja: Anna Kautto

Turun yliopisto

Yhteiskuntatieteellinen tiedekunta

Psykologian ja logopedian laitos, logopedia

2.6.2025

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu

Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

TURUN YLIOPISTO

Psykologian ja logopedian laitos / Yhteiskuntatieteellinen tiedekunta

KORHONEN, SAANA & NORRDAHL, NORA: Reaktioaikojen yksilönsisäisen vaihtelun hajontaparametreihin yhdistetyt diagnoosit ja tekijät

Kandidaatintutkielma, 45 s., 1 liites.

Logopedia

Kesäkuu 2026

Reaktioaikojen yksilönsisäinen vaihtelu (RT IIV) on suhteellisen pysyvä yksilön ominaisuus, jonka ajatellaan kuvastavan kognitiivista prosessointia. Kognitiivinen prosessointi vaikuttaa vahvasti kielellisten taitojen kehitykseen, minkä takia RT IIV heijastelee mahdollisesti kielen kehityksen erojen taustamekanismia. Reaktioaikojen vaihtelua tarkastellaan useimmiten keskihajonnoilla, mutta tutkimuksessa käytetään myös muita menetelmiä. Katsauksessamme tarkastelemme näitä analysointikeinoja, koska ne saattavat paljastaa tiedonkäsittelystä asioita, joita pelkkä keskihajonta ei tavoita. Niiden hajontaa kuvaavien parametrien merkitykset ovat kuitenkin vielä epäselviä.

Tämän katsauksen tavoitteena on selvittää RT IIV:n hajontaparametreihin yhdistettyjä diagnooseja ja tekijöitä sekä tarkastella sen yhteyttä kielellisiin häiriöihin. RT IIV:tä on tutkittu paljon liittyen aktiivisuuden ja tarkkaavaisuuden häiriöön, joten keskitymme katsauksessamme muihin diagnooseihin.

Katsaus toteutettiin systemaattisena kirjallisuuskatsauksena, jonka artikkelit haettiin neljästä tietokannasta. Lopulliseen katsaukseen valikoitui 22 artikkelia, joissa vertailtiin diagnoosi- ja kontrolliryhmän RT IIV:tä. Suurin osa artikkeleista käytti analysointikeinona ex-gaussian jakaumasovitusta.

Tulosten mukaan RT IIV erosi useassa diagnoosiryhmässä verrokeista. Ainoastaan yhdessä tutkimuksessa oli tarkasteltu RT IIV:tä kielellisessä häiriössä. Ex-gaussian jakaumasovituksen tutkituin parametri tau oli yhdistetty useimmiten tarkkaavaisuuteen ja toiminnanohjaukseen liittyviin tekijöihin, myy vastaamisen ja kognition nopeuteen ja sigma tulkittiin näiden välimuodoksi. Muista parametreista oli vain yksittäisiä tutkimuksia, joten niistä ei ollut mahdollista tehdä johtopäätöksiä.

Tulosten perusteella voidaan olettaa, että RT IIV on mahdollinen tarkkaavaisuuden biomarkkeri. Se myös selittää RT IIV:n laajaa esiintymistä erilaisissa häiriöissä. RT IIV:n ja tarkkaavaisuuden neuraalinen tausta on kuitenkin vielä epäselvä. Lisäksi RT IIV:n yhteyttä kielellisiin taitoihin tulisi myös tutkia enemmän. Jatkotutkimuksella voisi siis edistää sekä kielellisen kehityksen ongelmien että muiden häiriöiden arviointia ja kuntoutusta.

Asiasanat: reaktioajat, yksilönsisäinen vaihtelu, analysointimenetelmät, ex-gaussian jakaumasovitus, hajontaparametrit

Sisällys

1 Johdanto	4
1.1 Reaktioajat	5
1.2 Reaktioaikojen yksilönsisäinen vaihtelu.....	6
1.2.1 Reaktioaikojen yksilönsisäisen vaihtelun aivotason taustamekanismit.....	6
1.2.2 Reaktioaikojen yksilönsisäisen vaihtelun yhteys diagnooseihin	7
1.3 Reaktioaikojen yksilönsisäisen vaihtelun analysointikeinot.....	8
1.3.1 Datalähtöiset mallit	9
1.3.2 Teoreettiset mallit	11
2 Tutkimuskysymykset.....	13
3 Menetelmät	14
4 Tulokset.....	15
4.1 Reaktioaikojen yksilönsisäinen vaihtelu ja diagnoosit	22
4.2 Reaktioaikojen yksilönsisäinen vaihtelu ja hajontaparametrit.....	23
4.2.1 Ex-gaussian tau	24
4.2.2 Ex-gaussian myy	27
4.2.3 Ex-gaussian sigma	27
4.2.4 Muut hajontaparametrit.....	27
5 Pohdinta	28
5.1 Reaktioaikojen yksilönsisäinen vaihtelu on useassa eri häiriössä suurempaa kuin kontrolliryhmällä.....	28
5.2 Reaktioaikojen yksilönsisäisen vaihtelun ja kielellisten häiriöiden yhteyttä on tutkittu vähäisesti.....	29
5.3 Hajontaparametrien taustatekijöiden yleisimmät selitykset.....	30
5.4 Reaktioaikojen yksilönsisäinen vaihtelu tarkkaavaisuuden biomarkkerina	31
5.5 Katsauksen vahvuudet ja rajoitukset.....	32
5.6 Yhteenveto	33
Lähteet.....	35
Liitteet.....	46
Liite 1. Hakulausekkeet	46

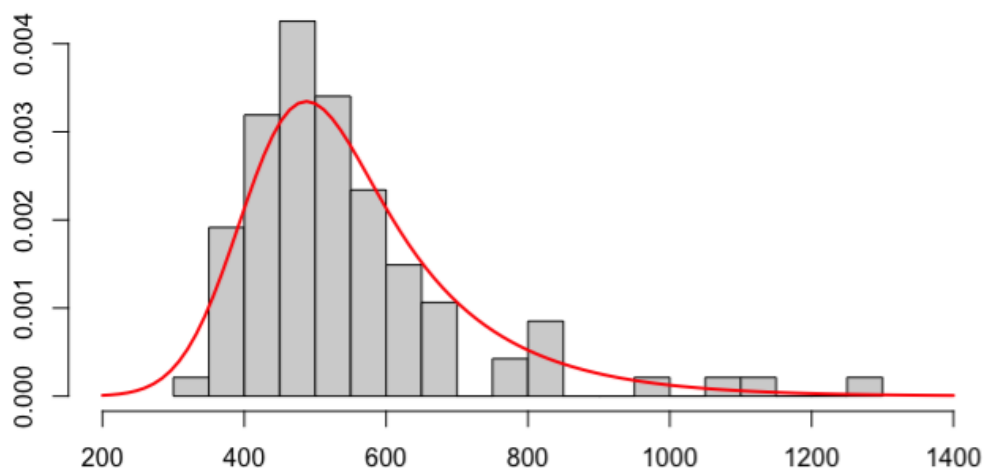
1 Johdanto

Reaktioaikojen mittausta on pitkään käytetty psykologiassa kognitiivisen prosessoinnin ja aivojen toiminnan mallien kehittämiseen ja testaamiseen sekä lääketieteellisten häiriöiden ja diagnoosien arvioimiseen (Van Zandt & Townsend, 2013). Reaktioajoista analysoidaan usein keskiarvo (Balota & Yap, 2011), joka toimii hyvin ryhmätason ilmiöiden tarkasteluun. Yksilöiden ominaisuuksia kuvaa kuitenkin jopa paremmin reaktioaikojen yksilönsisäinen vaihtelu (engl. mm. *intra-individual variability in reaction time*, RT IIV), vaikka sitä pidettiin aikaisemmin reaktioaikamittausten epätoivottuna taustahälynä.

RT IIV on suhteellisen pysyvä yksilön ominaisuus, jonka ajatellaan kuvastavan kognitiivisen prosessoinnin vakautta (Li ym., 2004; Rabbitt ym., 2001). Tavanomaista suuremman RT IIV:n on todettu liittyvän muun muassa aktiivisuuden ja tarkkaavaisuuden häiriöön (engl. *attention-deficit hyperactivity disorder*, ADHD; Kofler ym., 2013), muistisairauksiin (Haynes ym., 2017) ja kielellisen kehityksen yksilöllisiin eroihin (Kautto ym., 2024). Suurin osa tutkimuksesta on kuitenkin keskittynyt ADHD:hen, ja RT IIV:n yhteys muihin häiriöihin on vaihtelevaa, minkä takia aihetta tulisi tutkia lisää RT IIV:n sovellusmahdollisuuksien kehittämiseksi.

Reaktioaikajakaumat eivät noudata normaalijakaumaa, vaan ovat tyypillisesti oikealle vinoja, kuten kuvassa 1 näkyy. Tämän takia RT IIV:n yleisimmin käytetyt analysointitavat, keskihajonta ja variaatiokerroin, menettävät informaatiota reaktioaikajakauman muodosta (Stawski ym., 2019). Käyttämällä analysointikeinoja, jotka ottavat huomioon reaktioaikajakauman muodon, kuten vinouden, saadaan täsmällisemmin mitattua RT IIV:tä. Analysointikeinojen hajontaparametrien tulkinnoissa on kuitenkin vaihtelevuutta, mikä vaikeuttaa niiden käyttämistä tutkimuksessa.

RT IIV:tä on tärkeää tutkia ja mitata tarkemmin, jotta voimme ymmärtää paremmin häiriöitä, joissa tätä ilmiötä esiintyy. Esimerkiksi kielen kehityksen ongelmassa RT IIV:n on ajateltu heijastelevan mahdollista taustamekanismia kielen kehityksen yksilöllisille eroille (Kautto ym., 2024). Täten sen entistä syvempi tunteminen voi auttaa myös ymmärtämään mekanismeja kielellisten erojen taustalla ja tätä kautta kehittää arviointi- ja kuntoutustyötä. Ennen kuin RT IIV:tä voi soveltaa kliinisessä työssä, täytyy ymmärtää paremmin, mitä se kuvastaa.



Kuva 1

Yksilön reaktioaikadataan sovitettu ex-gaussian jakaumasovitus. X-akselilla reaktioajat millisekunteina.

1.1 Reaktioajat

Reaktioaika määritellään aikana, joka kuluu ärsykkeen alkamisesta siihen reagointiin (Van Zandt & Townsend, 2013). Se koostuu kolmesta osasta: tehtävälle relevantin tiedon havainnoinnista, vastauspäätöksestä ja motorisen vastauksen suorittamisesta (Wong ym., 2015). Reaktioaikojen mittausta on pitkään ja laajasti käytetty ihmisen käyttäytymisen tutkimuksessa (Van Zandt & Townsend, 2013). Reaktioajat indikoivat hyvin mentaalisten prosessien nopeutta ja tehokkuutta (Draheim ym., 2019), minkä lisäksi niiden mittaaminen on edullista ja nopeaa.

Yleisin tapa tarkastella reaktioaikoja on laskea keskiarvo, jolloin kaikista vastauskerroista lasketaan yksi suoriutumista kuvaava arvo (Balota & Yap, 2011). Yksittäisten kokoavien arvojen tutkiminen voi toimia hyvin ryhmätason ilmiöitä tarkastellessa, mutta yksilöiden välisten erojen mittaamisessa niillä on reliabiliteetin ongelmia, koska yksilönsisäinen vaihtelu on suurta (Draheim ym., 2019). Tämän lisäksi keskiarvoja käytettäessä katoaa informaatiota niin reaktioaikajakauman muodosta kuin koehenkilöiden välisistä yksilöllisistä eroista.

Yksilön vastaukset reaktioaikatehtävissä muodostavat reaktioaikajakauman, jolla on Van Zandt ja Townsandin (2013) mukaan neljä yleistä piirrettä tutkimuksesta riippumatta. Ensinnäkin reaktioaikajakaumaan vaikuttavat niin tutkimuksen kohdeilmiö kuin häiriötekijät,

kuten laitehäiriöt ja tarkkaavaisuuden herpaantumiset. Toiseksi reaktioaikajakauma on oikealle vino eli pitkät vastaukset muodostavat pitkän “hännän” jakauman oikeaan reunaan. Kolmanneksi yksittäiset reaktioajat ovat riippuvaisia aikaisemmista reaktioajoista. Esimerkiksi edellisen vastauksen virhe pidentää usein seuraavaa vastausta (engl. *post-error slowing*; Laming, 1979). Viimeisenä ja neljäntenä piirteenä reaktioaikoihin vaikuttaa yksilölliset ominaisuudet, minkä takia Van Zandt ja Townsend eivät suosittele usean henkilön reaktioaikojen yhdistämistä yhdeksi luvuksi, kuten keskiarvoksi tai mediaaniksi. Reaktioaikoja mitatessa tulisi ottaa huomioon mahdollisimman kattavasti nämä jakaumille tyypilliset piirteet.

1.2 Reaktioaikojen yksilönsisäinen vaihtelu

Yksilön suoriutuminen samassa reaktioaikatehtävässä vaihtelee eri vastauskerroilla, mitä kutsutaan reaktioaikojen yksilönsisäiseksi vaihteluksi (engl. mm. *intra-individual variability in reaction time*, RT IIV). Käytämme tässä tutkielmassa englanninkielistä lyhennettä, koska aihepiiriin tutkimusta ei ole juuri julkaistu suomeksi eikä tälle siksi ole vakiintunutta suomenkielistä käsitettä. RT IIV voidaan määritellä myös eri tehtävien tai eri ajankohtien väliseksi vaihteluksi suoriutumisessa (MacDonald ym., 2006), mutta tässä katsauksessa keskitymme vastauskertojen väliseen vaihteluun yksittäisessä tehtävässä. Vaihtelun suuruus on kohtalaisen pysyvä yksilön ominaisuus eli toiset vastaavat aina likimain samalla nopeudella, kun taas toisilla vastausnopeus vaihtelee aina nopeasta hitaaseen (Rabbitt ym., 2001). Tavanomaista suuremman RT IIV:n on huomattu olevan yhteydessä muun muassa muistisairauksiin, aivovammoihin, ADHD:hen ja skitsofreniaan (MacDonald ym., 2006). Vaikka RT IIV:lle on esitetty useita selityksiä, sen täsmälliset taustamekanismit ovat vielä epäselviä.

1.2.1 Reaktioaikojen yksilönsisäisen vaihtelun aivotason taustamekanismit

RT IIV:n aivotason taustamekanismeja on ehdotettu useita. MacDonaldin ja kumppaneiden (2009) katsauksessa RT IIV:n esitetään korreloivan välittäjäaineiden ja geenien sekä aivojen rakenteen ja toiminnan kanssa. Välittäjäaineista katsauksessa mainitaan erityisesti dopaminergisen järjestelmän häiriöt. Lin ja kumppaneiden (2001) hypoteesina on, että dopamiinin heikko toiminta mahdollisesti lisää neuraalista kohinaa ja tätä myöten RT IIV:tä. MacDonaldin ja kumppaneiden katsauksen aikaan geneettisistä tekijöistä oli vain vähän tutkimusta, ja he alustavasti liittivät RT IIV:n dopamiinin toimintaan liittyvään COMT-geeniin. Sen sijaan Woottonin ja työryhmän (2023) laajassa genomilaajuisessa

assosiaatiotutkimuksessa havaittiin seitsemän RT IIV:hen liittyvää geenin paikkaa eli lokusta, joiden geenit osallistuvat synapsien toimintaan ja neuraaliseen kehitykseen.

Aivojen struktuurin tasolla Macdonaldin ja kumppaneiden (2009) katsauksessa RT IIV:n kasvu on liitetty harmaan aineen tiheyden sekä valkean aineen integriteetin eli eheyden muutoksiin. Toiminnan tasolla RT IIV:n todetaan katsauksessa olevan kytköksissä frontaaliseen korteksiin ja aivojen lepoverkoston (engl. *default-mode network*) liittyviin alueisiin. Lepoverkoston alueet kattavat erityisesti tyvitumakkeet, pnenucleuksen, anteriorisen ja posteriorisen cingulate korteksin, sekä lateraaliset parietaaliset inferioriset poimut (Neuner ym., 2014). Neunerin ja kumppaneiden (2014) artikkelin mukaan lepoverkosto on osa aivoverkoston, joka aktivoituu, kun yksilö ei suorita mitään tiettyä tehtävää tai vaativaa kognitiivista prosessia. Lepoverkoston toiminnan oletetaan siis olevan ristiriidassa tavoitteellisen toiminnan kanssa (Sonuga-Barke & Castellanos, 2007). Sonuga-Barken ja Castellanosin (2007) hypoteesina on, että lepoverkoston tilanteeseen sopimattomat aktivaatiot tehtävän aikana voivat lisätä RT IIV:tä häiritsemällä reaktioaikatehtävään tarvittavaa prosessointia. Nämä eri tasojen löydökset liittyvät toisiinsa ja luovat kokonaiskuvaa RT IIV:n neuraalisesta taustasta, sillä geenit ohjaavat aivojen rakenteen muodostumista ja välittäjäaineita, jotka vuorostaan vaikuttavat aivojen toimintaan.

1.2.2 Reaktioaikojen yksilönsisäisen vaihtelun yhteys diagnooseihin

Tavanomaista suuremman RT IIV:n on huomattu liittyvän useaan eri häiriöön, mutta sitä tutkitaan edelleen myös spesifinä yksittäisille häiriöille. Varsinkin ADHD-tutkimuksessa lisääntyneen RT IIV:n on ajateltu olevan ADHD:lle spesifi merkki, jota voisi mahdollisesti käyttää diagnosoinnissa. Esimerkiksi Salum ja kumppanit (2019) pyrkivät selvittämään tutkimuksessaan, onko lisääntynyt RT IIV spesifi ADHD:lle vai yleinen psykopatologian merkki, ja päätyivät siihen, että lisääntynyt RT IIV oli erityisesti kytköksissä ADHD:hen. Toisaalta yhä yleisempää on RT IIV:n tarkastelu transdiagnostisena fenotyypinä tai biomarkkerina. Tämä ajattelutapa tulee esille Karalunasin ja kollegoiden (2014) katsauksessa, jossa arvioidaan, voiko RT IIV olla ADHD:n ja autisismikirjon yhteinen transdiagnostinen fenotyyppi. RT IIV:n on kuitenkin huomattu korreloivan hyvin erilaisiin häiriöihin, jolloin kyseessä ei voi olla ainoastaan komorbidien häiriöiden yhteinen fenotyyppi. RT IIV:n esiintymistä eri häiriöissä tulisi tutkia enemmän, jotta ymmärtäisimme paremmin, mitä RT IIV kuvaa.

Koska RT IIV:n ajatellaan kuvastavan kognitiivisen prosessoinnin vakautta, sillä on myös mahdollisesti yhteys kielellisen kehityksen yksilöllisiin eroihin (Kautto ym., 2024). Kautto ja kumppanit (2024) esittävät hypoteesin, jonka mukaan kielellisiä eroja aiheuttaa kognitiivisen prosessoinnin epävakaas, jota kuvaa lisääntynyt RT IIV. Hypoteesin mukaan kieltä omaksuessaan lapsi muodostaa ympäristöstä saamansa syötteen perusteella mentaalisen mallin kielestä. Jos syötteen prosessointi on epävakaata, mentaalisen mallin luominen ja päivittäminen on hidasta. Prosessoinnin epävakaas vaikuttaa kaikkiin kognitiivisiin taitoihin, mutta erityisesti kieleen, koska kieli on aikaan sidottua ja sen signaali muuttuu nopeasti. Tämän takia pienikin prosessoinnin epävakaas voi vaikeuttaa kielen omaksumista, kun sanojen tarkat muodot jäävät epäselviksi. Lisäksi RT IIV:n ja kielen yhteyttä tukee kehityksellisen kielihäiriön yhteisesiintyminen ADHD:n kanssa (Mueller & Tomblin, 2012), sillä ADHD on vahvasti liitetty tavanomaista suurempaan RT IIV:hen (Bella-Fernández ym., 2024; Kofler ym., 2013).

1.3 Reaktioaikojen yksilönsisäisen vaihtelun analysointikeinot

RT IIV:lle on useita erilaisia analysointikeinoja, jotka voidaan jakaa datalähtöisiin ja teoreettisiin malleihin, joiden hajontaparametrien avulla on mahdollista tutkia reaktioaikojen hajontaa. Tässä katsauksessa datalähtöisillä malleilla viittaamme analysointikeinoihin, joissa tulkinnat reaktioaikoihin vaikuttavista tekijöistä tehdään reaktioaikadatan löydösten pohjalta. Katsauksessamme esiintyviä datalähtöisiä malleja ovat ex-gaussian jakaumasovitus, vinsentiilianalyysi (engl. *vincentile analysis*), kvantiilianalyysi sekä spektrianalyysi. Datalähtöisiin malleihin voidaan lukea kuuluvaksi myös keskihajonta ja variaatiokerroin. Teoreettisilla malleilla taas viittaamme analysointikeinoihin, jotka on kehitetty reaktioaikatehtävien vastausprosessin osa-alueita kuvaavista teorioista. Näissä analysointikeinoissa voi siis olettaa kyseisen analysointikeinon parametrien liittyvän taustateorian esittämiin tekijöihin. Katsauksessa mukana olevia teoreettisia malleja ovat informaation karttumismalleihin (engl. *evidence accumulation model*) kuuluvat karttumisen diffuusiomalli (engl. *drift diffusion model*) ja kaksivaihemalli (engl. *two-stage model*).

Jokaisella analysointikeinolla on omat vahvuutensa ja rajoituksensa, sillä eri analysointikeinot mittaavat tiettyjä reaktioaikadatan piirteitä, kuten jakauman vinoutta tai reaktioaikojen sarjallista vaihtelua. Näin ollen analysointikeinot valitaan tutkimuskohteen ja -kysymyksen mukaan. On kuitenkin myös selvinnyt, että joidenkin analysointikeinojen parametrien välillä on korrelaatioita. Esimerkiksi ex-gaussian jakaumasovituksen parametrien

on huomattu korreloivan diffuusiomallin sovellusten parametrien kanssa (Rieger & Miller, 2020).

1.3.1 Datalähtöiset mallit

RT IIV:n yleisimmät analysointikeinot ovat keskihajonta ja variaatiokerroin. Keskihajonta on keskiarvon tavoin yksittäinen suoriutumista kuvaava arvo, ja se on helppo laskea, mikä tekee sen tutkimisesta yksinkertaista. Keskihajonnan käyttämisessä haasteena on kuitenkin se, että se korreloi positiivisesti keskiarvon kanssa eikä ota huomioon reaktioaikajakaumien vinoutta (Stawski ym., 2019). Keskiarvon vaikutuksen vähentämiseksi useat tutkijat ovat käyttäneet variaatiokerrointa (engl. *coefficient of variation*), jossa yksilön keskihajonta jaetaan hänen keskiarvoltaan. Variaatiokertoimessa jää kuitenkin epäselväksi, johtuuko havaittu efekti lisääntyneestä vaihtelusta, keskiarvon pienenemisestä vai molemmista. Lisäksi ongelmana on edelleen jakauman vinous, jonka sisältämä informaatio jää hyödyntämättä.

Jakauman vinouden tutkimiseen soveltuu kuitenkin hyvin ex-gaussian jakaumasovitus. Ex-gaussian jakaumasovitus on yhdistelmä Gaussin jakaumasta ja eksponenttijakaumasta, jotka sovitetaan kuvastamaan mahdollisimman tarkasti alkuperäisen reaktioaikajakauman muotoa (Schmiedek ym., 2007). Esimerkki reaktioaikadataan sovitetusta ex-gaussian jakaumasta on kuvassa 1. Schmiedekin ja työryhmän (2007) mukaan jakaumasovituksen Gaussin-osaan voi liittää parametrin μ , joka kuvastaa Gaussin jakauman keskiarvoa ja σ sen keskihajontaa. μ ei siis ole hajontaa kuvaava parametri, mutta sen arvoihin liitetyistä taustatekijöistä saa myös lisäinformaatiota vastausprosessista. Jakaumasovituksen eksponentiaalisen osan keskiarvosta kertova parametri τ kuvastaa Schmiedekin ja kumppaneiden mukaan reaktioaikamittausten erityisen hitaita vastauksia, jotka aiheuttavat jakauman vinouden. Koko jakauman keskiarvon voi laskea μ ja τ summalla ja hajonnan σ ja τ neliöiden summalla (Schmiedek ym., 2007). Ex-gaussian jakaumasovituksen vahvuutena on se, että sen avulla on mahdollista tutkia reaktioaikamittausten hitaimpia vastauksia. Tämä on erityisen tärkeää, sillä hitaimmat reaktioajat korreloivat vahvemmin joidenkin kognitiivisten osataitojen kanssa kuin nopeimmat reaktioajat (Unsworth & Robison, 2017).

Matzke ja Wagenmakers (2009) muistuttavat, että ex-gaussianin parametrien arvoja selittäviä tarkkoja kognitiivisia taustamekanismeja ei ole vielä selvitetty. Heidän mukaansa parametrien taustaprosessien selvittämistä hankaloittaa se, että jakaumasovitukselle ei ole sille ominaista taustateoriaa. Tämän vuoksi parametrien kognitiivisille taustaprosesseille on useita erilaisia,

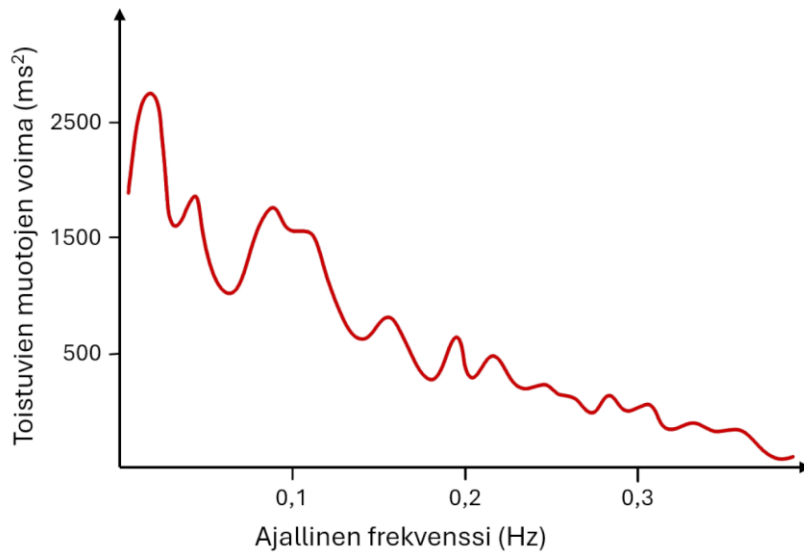
jopa ristiriitaisia teorioita. Samoin Rieger ja Miller (2020) jopa huomasivat tutkimuksessaan, että ex-gaussian parametrit eivät sopineet hyvin tunnistamaan tiettyjen vastausprosessin osien eroja. Yleisesti korkeamman tason kognitiiviset prosessit on kuitenkin liitetty useimmiten tauhun ja alemman tason kognitiiviset prosessit myyhyyn. Schmiedek ja kumppanit (2007) esittävät yhden tällaisen teorian, jossa Gaussin jakauman komponentit kuvaavat ääreishermoston sensorimotorista ja automaattista prosessointia. Eksponenttijakauman komponentin he olettivat kuvaavan keskushermoston prosessointia sekä tahdonalaisuuteen ja päätöksiin liittyvää prosessointia erityisesti tehtävissä, joissa vaaditaan tarkkaavaisuutta. Useimmissa tutkimuksissa sigmaan liittyvät kognitiiviset taustatekijät varioivat silti enemmän tauhun ja myyhyyn verrattuna tai sille ei ole määritelty tarkempaa taustatekijää. Uudessa tutkimuksessa Chiang ja kumppanit (2022) ovat kuitenkin esittäneet sigman kuvaavan sensorimotorisen informaation prosessoinnin sujuvuutta.

Spektrianalyysin avulla pystyy tarkastelemaan reaktioaikojen ajallisen vaihtelun muodostaman kuvaajan muotoa. Muodon tutkiminen on mielenkiintoista, sillä reaktioajoissa voi olla sarjallista säännönmukaisuutta. Esimerkiksi virheellisen vastauksen jälkeen koehenkilöt vastaavat usein seuraavaan tehtävään hitaammin (Laming, 1979). Reaktioaikadatassa saattaa myös esiintyä jaksottaista reaktioaikojen hidastumista ja nopeutumista (Castellanos ym., 2005). Kuvaajasta voi siis havaita, miten koehenkilön reaktioajat vaihtelevat tietyssä hetkessä, ja vertailla reaktioaikojen vaihtelua muihin henkilöihin.

Spektrianalyysi on mahdollista tehdä nopealla Fourier-analyysillä (engl. *fast fourier transform*; Johnson ym., 2007). Nopea Fourier-analyysi muuttaa reaktioaikadatan taajuusmuotoon, josta muodostuu kuva 2:n kaltainen kuvaaja. Kuvaajan alla olevasta pinta-alasta saadaan laskettua yksilön reaktioaikojen varianssin määrä. Pinta-ala on mahdollista laskea myös vain tietyille taajuuksille laskemalla pinta-ala kyseisellä taajuusvälillä. Tällaisia taajuusvälejä kutsutaan taajuuskaistoiksi. Nopean Fourier-analyysin avulla voi myös tutkia, muuttuuko yksilön RT IIV esimerkiksi ensimmäisen tehtäväpuoliskon jälkeen tekemällä analyysit erikseen halutuille aikaväleille.

Kvantiili- ja vinsentiilianalyysissä ei tehdä minkäänlaisia oletuksia reaktioaikajakauman muodosta vaan ainoastaan kuvataan jakauman eri osia (Balota & Yap, 2011).

Kvantiilianalyysissä koehenkilön reaktioajat asetetaan järjestykseen pienimmästä suurimpaan ja niitä mallinnetaan tasavälein tietyillä väleillä. Esimerkiksi kvintiileissä reaktioaikajakauma



Kuva 2

Havainnollistava kuvaaja reaktioaikojen analysoimisesta nopealla Fourier-analyysillä.

jaetaan viiteen yhtä suureen osaan, joita voi verrata eri ryhmien välillä. Ottamalla jokaisesta kvantiilivälistä keskiarvo saadaan vinsentiilejä (Jiang ym., 2004). Vinsentiilianalyysiä käytetään usein kognitiivisessa psykologiassa, koska sitä pystyy käyttämään, vaikka jokaiselta koehenkilöltä olisi vain pari havaintoa. Kvantiili- ja vinsentiilianalyysissä ei varsinaisesti ole parametreja, mutta niiden avulla voi tarkastella ryhmien eroja vertaamalla jakauman tiettyä osaa, kuten hitaimpia tai nopeimpia vastauksia, toisen ryhmän vastaavaan osaan.

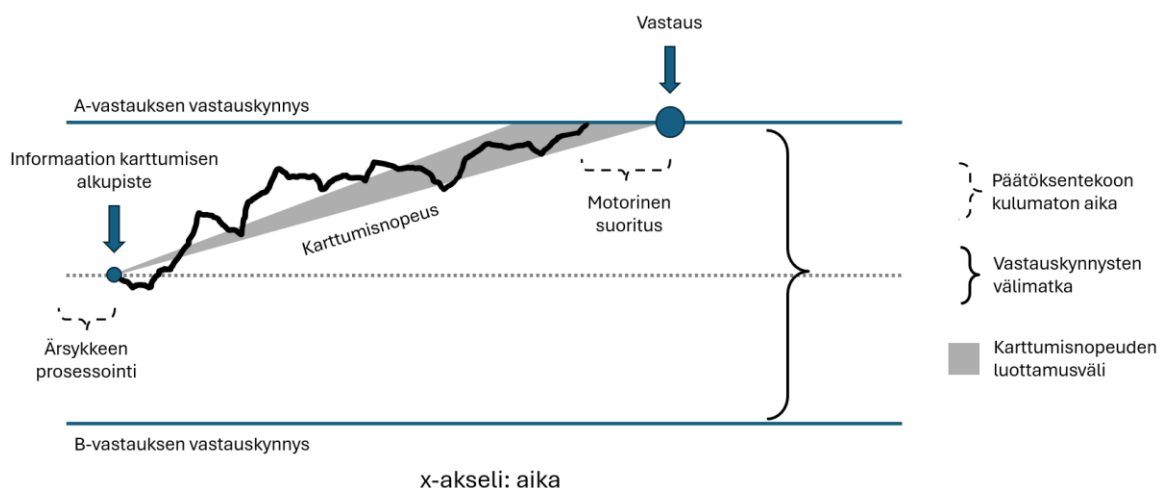
1.3.2 Teoreettiset mallit

Ratcliffin ja McKoonin (2008) mukaan diffuusiomalli perustuu mentaaliseen prosessiin, joka käynnistyy vastatessa tehtävään, jolla on ainakin kaksi vastausvaihtoehtoa. Heidän mukaansa ennen kuin yksilö pystyy saavuttamaan päätöksen vastauksesta, hänen täytyy kerätä informaatiota kustakin vaihtoehdosta. Reaktioaikaa mitatessa koko prosessin pituus vaikuttaa vastausajan pituuteen. Vastausprosessiin on siis mahdollista liittää parametreja, jotka kuvaavat erilaisia vastaukseen vaikuttavia tekijöitä. Koska jokainen vastaus on yksittäinen prosessinsa, näitä parametreja voi tutkia myös yksittäisissä vastauksissa. Näin saadaan otettua huomioon sekä oikeisiin että väärin vastauksiin liittyvät tekijät.

Schmiedekin ja kumppaneiden (2007) artikkelin mukaan diffuusiomallin pääparametreja on kaksi, mutta niiden lisäksi malliin on mahdollista liittää muitakin parametreja.

Katsauksessamme esiintyviä parametreja on havainnollistettu kuvassa 3. Pääparametreista ensimmäinen on vastauksen kriteerit (engl. *response criterion*), jota kutsutaan myös vastauskynnykseksi (engl. *response threshold*). Kun yhdistetään vastauskynnykset kummallekin vastausvaihtoehdolle, saadaan vastauskynnysten välimatka (engl. *boundary separation*). Schmiedekin ja kumppaneiden mukaan vastauskynnys kuvaa, kuinka paljon informaatiota täytyy olla kerääntynyt, jotta henkilön on mahdollista muodostaa vastaus. Vastauskynnys kuvastaa siis myös vastaamisen varovaisuutta, sillä kun vastaukseen vaaditaan tarkkuutta, vastaaja käyttää enemmän aikaa informaation keräämiseen ennen lopullista valintaa.

Toinen pääparametreista on Schmiedekin ja kumppaneiden (2007) mukaan informaation karttumisnopeus (engl. *drift rate*), joka kuvaa vastauksen päätösprosessin nopeuden keskiarvoa. Karttumisnopeus kertoo, miten nopeasti vastaaja prosessoi vastaukseen tarvittavan informaation. Kun karttumisnopeus on suuri, päätösprosessi on nopea, jolloin vastausaika lyhenee (Ratcliff & McKoon, 2008). Pääparametrien lisäksi yksi malleihin usein liitetty parametri on päätöksentekoon kulumaton aika (engl. *non-decision time*) eli aika, jolloin vastaaja ei prosessoi vastauksen ratkaisua (Ratcliff & McKoon, 2008).



Kuva 3

Diffuusiomallin parametreja havainnollistava kuva yksittäisestä reaktioaikavastauksesta. Kuvaaja mukailee Ratcliffin ja kumppaneiden (2004) tekemiä mallinnuksia.

Päätöksentekoon kulumattomaan aikaan kuuluu siis esimerkiksi aika, joka kuluu vastauksen motoriseen suunnitteluun ja toteutukseen.

Kaksivaihemalli on Shaharin ja kumppaneiden (2016) laatima informaation karttumismalli, jonka avulla on mahdollista tutkia kahden erilaisen vastauksen valikointiprosessin vaikutusta tehtävän reaktioaikaan. Ensimmäisessä prosessissa reaktioaikaan oletetaan vaikuttavan valmiiksi tunnetut informaation karttumismallin parametrit, kuten informaation karttumisnopeus, vastauksen kriteerit ja päätöksentekoon kulumaton aika. Toisessa prosessissa reaktioaikaan oletetaan vaikuttavan aika, joka kuluu etsiessä työmuistista kyseisen tehtävän oikea vastaustapa. Toisen prosessin vaikutusta vastausprosessiin kuvataan lambda-parametrilla. Kummankin vastausprosessin parametreille on siis omat teoreettiset selitykset niitä selittävistä taustatekijöistä. Tätä hyödynnetään tutkimuksessa luomalla jokaiselle parametrille erillinen hypoteettinen malli siitä, miten tietyn parametrin vaikutus näkyy reaktioaikadatassa. Tämän jälkeen kutakin mallia verrataan tutkimuksessa saatuun reaktioaikadataan ja testataan, mikä malleista on sopivin selittämään tutkimuksen dataa. Sopivimman mallin perusteella on siis mahdollista selvittää mallin taustalla olevat parametrit ja niiden selitykset, jolloin saadaan tietoon vastausprosessiin vaikuttavat tekijät.

Teoreettisia malleja on kuitenkin myös kritisoitu. Esimerkiksi Jones ja Dzhafarov (2014) kritisoivat useimpia informaation karttumista kuvaavia malleja. Mallit sisältävät teoreettisia oletuksia reaktioaikajakaumien muodoista ja niihin liitetyistä parametreista, joiden mukaan on mahdollista tutkia yksilön vastausprosessia. Teorioiden mukaan on tehty matemaattiset kaavat, joiden avulla kuvannetaan teorian mukaiset reaktioaikajakaumat. Jones ja Dzhafarov kuitenkin kritisoivat näitä kaavoja siitä, että ne sisältävät oletuksia, jotka on lisätty vain matemaattisesti helpottavista syistä. Jos kaavoista poistetaan nämä oletukset, kaavojen perusteella voisi lopulta kuvata mitä tahansa reaktioaikajakaumaa, jolloin alkuperäisestä mallia ei ole mahdollista falsifioida eli osoittaa vääräksi.

2 Tutkimuskysymykset

Tämän katsauksen tarkoituksena on ymmärtää RT IIV:tä aikaisempaa paremmin tutkimalla, mihin tekijöihin sitä mittaavia hajontaparametreja on yhdistetty. Tarkastelemme katsauksessa analysointikeinoja, jotka huomioivat reaktioajoille tyypillisen jakauman muodon. Aikaisemman tutkimuksen perusteella hajontaparametreja on yhdistetty laajasti erilaisiin tekijöihin, kuten kognitiiviseen prosessointiin, tarkkaavaisuuteen ja eri aivoalueisiin.

Aiheesta ei kuitenkaan ole tietääksemme aikaisempaa katsausta lukuun ottamatta ADHD:tä tarkastelleita katsauksia (Bella-Fernández ym., 2024; Kofler ym., 2013).

Lisäksi tutkimme RT IIV:n yhteyttä erilaisiin diagnooseihin ja selvitämme, onko RT IIV:tä tutkittu kielellisissä häiriöissä. RT IIV:n yhteyttä eri häiriöihin on tutkittu yksittäisissä tutkimuksissa ja yhtä tai kahta häiriötä samaan aikaan tarkastelevissa katsauksissa, mutta useita eri häiriöitä ei aikaisemmin ole tarkasteltu samassa katsauksessa. Usean eri häiriön tarkasteleminen samaan aikaan auttaa ymmärtämään RT IIV:tä yksittäisen häiriön näkökulmaa laajemmin. RT IIV:n tarkempi ymmärtäminen on tärkeää, jotta sitä voisi tulevaisuudessa hyödyntää kielen kehityksen erojen arvioinnin ja kuntoutuksen kehittämisessä. Näin ollen tutkimuskysymyksemme ovat:

- 1) Miten RT IIV eroaa diagnooseittain kontrolliryhmästä?
- 2) Onko RT IIV:n hajontaparametrejä yhdistetty kielellisiin häiriöihin?
- 3) Mihin muihin yksilöllisiin tekijöihin RT IIV:tä mittaavat hajontaparametrit on yhdistetty?

3 Menetelmät

Toteutimme tutkimuksen systemaattisena kirjallisuuskatsauksena. Haimme aineiston 9.2.2026 neljästä tietokannasta, jotka olivat PubMed, Scopus, PsycArticles (EBSCO) ja PsycInfo (EBSCO). Valitsimme psykologian ja logopedian alojen keskeisimmät tietokannat ja Scopusen monitieteisenä tietokantana. EBSCOssa rajasimme haun vertaisarvioituihin aikakausjulkaisuihin ja Scopusessa artikkeleihin, jotta tuloksissa olisi ainoastaan vertaisarvioituja tutkimuksia. Tietokantakohtaiset tarkat hakulausekkeet ovat liitteessä 1. Hakulausekkeessa käytimme reaktioaikoihin, yksilönsisäiseen vaihteluun ja näiden tunnetuimpiin analysointimenetelmiin viittaavia hakutermejä:

("reaction time*" OR "response time*" OR "response latenc*")

AND

((("within participant*" OR "withinparticipant*" OR "intra individual" OR "intraindividual" OR "within individual" OR "withinindividual" OR "within person" OR "withinperson*") AND varia*) OR "reaction time variability")

AND

("diffusion model" OR "drift diffusion"

OR "ex-gaussian" OR "exponentially modified gaussian" OR "non-gaussian"

OR "linear ballistic accumulator" OR "race model*" OR "parallel channel"

OR "evidence accumulation"

OR "linear approach to threshold with ergodic rate" OR "LATER model"

OR "time series"

OR "distribution analy*")

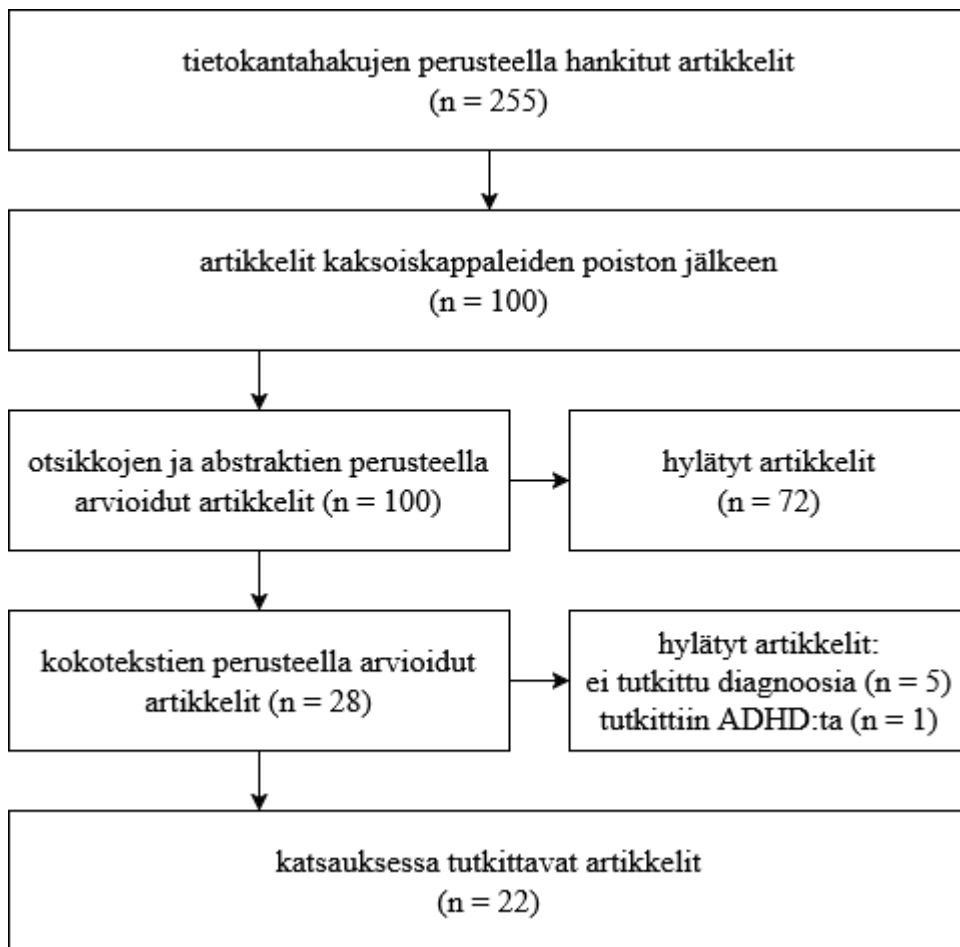
Artikkelien sisäänottokriteereinä olivat: 1) artikkeli on vertaisarvioitu, 2) tutkimuksessa on tutkittu RT IIV:tä yksilön ominaisuutena ja 3) tutkimushenkilöillä on lääketieteellinen häiriö tai diagnoosi. Poissuljimme tutkimukset, joissa 1) RT IIV on mitattu eri ajankohtina tai eri testausmenetelmillä, 2) RT IIV on analysoitu ainoastaan keskihajonnalla tai variaatiokertoimella, 3) on tutkittu ADHD:tä tai 4) on tutkittu jonkin aineen vaikutusta RT IIV:hen. ADHD suljettiin pois, koska ADHD:stä on jo tehty useita katsauksia (Bella-Fernández ym., 2024; Kofler ym., 2013). Lisäksi poissuljimme katsausartikkelit.

Poistimme kaksoiskappaleet ja seuloimme artikkelit Rayyan-ohjelmassa sisäänotto- ja poissulkukriteerien perusteella. Ensimmäisellä seulontakierroksella arvioimme itsenäisesti jokaisen artikkelin otsikon ja tiivistelmän perusteella sokkoutetusti toisiltamme. Olimme enimmäkseen yksimielisiä ja kierroksen loputtua ratkaisimme muutamat erimielisyydet keskustelemalla. Suurin osa artikkeleista rajautui pois, koska ne tutkivat ADHD:tä, niissä ei tutkittu yksilön ominaisuuksia tai tutkimushenkilöillä ei ollut diagnoosia. Toisella seulontakierroksella arvioimme jäljelle jääneet artikkelit samalla menetelmällä koko tekstin perusteella. Lisäksi teimme 12.3.2026 täydentävän haun alkuperäisestä hausta puuttuneilla menetelmillä (*sequential sampling model*, *leaky competing accumulator model* ja *Poisson counter model*), mutta tässä haussa emme saaneet uusia artikkeleja. Artikkelien sisällyttäminen tutkimukseen on eroteltu vuokaaviossa kuvassa 4.

Taulukoimme ja tarkastelimme seuraavia tietoja artikkeleista: artikkelin nimi, kirjoittajat, julkaisuvuosi, koe- sekä kontrolliryhmän otoskoko, tutkimushenkilöiden iät ja sukupuolijakauma, koeryhmän diagnoosit, reaktioaikatehtävät, datan analysointikeinot, tutkimuksen päätulokset, tulosten efektikoot, mihin RT IIV oli liitetty sekä oliko RT IIV liitetty kieleen.

4 Tulokset

Katsauksemme tavoitteena on selvittää, missä diagnooseissa RT IIV eroaa terveistä verrokeista, onko RT IIV:n hajontaparametreja yhdistetty kielellisiin häiriöihin sekä mitä selityksiä RT IIV:tä mittaaville hajontaparametreille on annettu. Artikkeleita valikoitui



Kuva 4

Katsaukseen sopivien artikkelien valintaprosessi vuokaaviona.

katsaukseen 22, ja ne oli julkaistu vuosina 2008–2022. Koehenkilöiden määrä vaihteli 28:sta 398:aan. Artikkelit on esitelty tarkemmin taulukossa 1. Katsauksemme artikkeleista suurin osa käytti RT IIV:n analysointikeinona ex-gaussian jakaumasovitus, jonka lisäksi yksittäiset tutkimukset käyttivät vinsentiilianalyysiä, kvantiilianalyysiä, spektrianalyysiä, hidasta ja nopeaa yksilönsisäistä keskihajontaa (engl. *slow and fast ISD*), karttumisen diffuusiomallia ja kaksivaihemallia. Reaktioaikatehtävät vaihtelivat hyvin yksinkertaisista monimutkaisiin työmuistia kuormittaviin ja inhibitiota vaativiin tehtäviin.

Taulukko 1

Katsauksen aineisto ja tulokset

Tekijät ja vuosiluvut	Koehenkilöt	Analysointikeinot	Päätulos	Parametrien tulkinta ja niihin liitetyt tekijät
Burgess ym., 2022	BD:n oireeton vaihe n = 46, verrokkit n = 42	ex-gaussian (tau)	Ei eroa ryhmien parametreissa	tau: Tarkkaavaisuuden ylläpito; ANT-testissä BD-ryhmällä korreloi negatiivisesti BMI:n kanssa; PVT-testissä korreloi negatiivisesti vuorokausirytmien relatiivisen amplitudin ja QoL BD-tuloksien kanssa, jotka kertoivat huonosta toimintakyvystä BD-ryhmässä; PVT-testissä pieni, kun elämänlaatu oli hyvä
Duschek ym., 2022	fibromyalgia n = 52, verrokkit n = 28	ex-gaussian	tau: Fibromyalgiaryhmällä suurempi kuin kontrolliryhmällä	tau: Hetkelliset keskittymisen katkokset; toiminnanohjauksen hetkelliset häiriöt
Gallagher ym., 2015	BD:n oireeton vaihe n = 86, BD:n masennusvaihe n = 33, masennus n = 39, verrokkit n = 138	ex-gaussian, vintiilit	tau: BD:n molempien vaiheiden ryhmillä suurempi kuin verrokeilla sigma: BD:n masennusvaiheen ryhmällä suurempi kuin verrokeilla vintiilit: BD- ja masennusryhmällä hitain V8 suurempi kuin verrokeilla; BD:n masennusvaiheen ryhmällä nopein V1 pienempi kuin verrokeilla	tau: Yksilölliset erot tarkkaavaisuuden tai toiminnanohjauksen kontrollissa; aivojen valkean aineen rakenteellinen eheys

Tekijät ja vuosiluvut	Koehenkilöt	Analysointikeinot	Päätulos	Parametrien tulkinta ja niihin liitetyt tekijät
Geurts ym., 2008	korkean toimintakyvyn ASD n = 25, ASD+ADHD n = 32, Tourette n = 21, verrokit n = 85	ex-gaussian, hidas ja nopea ISD, spektrianalyysi	tau & hidas ISD: ASD+ADHD- ja korkean toimintakyvyn ASD -ryhmällä suurempi kuin kontrolliryhmällä sigma & frekvenssipantojen voima: ASD+ADHD-ryhmällä suurempi kuin kontrolliryhmällä	-
Gooch ym., 2012	dysleksia n = 17, dysleksia+ADHD n = 25, verrokit n = 38	ex-gaussian	Ei eroa ryhmien parametreissa	tau: Tarkkaavaisuuden ylläpidon vaihtelu; näkyy suurempana pidemmissä tehtävissä tai tehtävissä, joissa ei tarvita inhibitiota sigma: Motorisen ajoituksen tai vastauksen valmistelun puutteet
Haynes ym., 2015	NPSLE n = 14, pelkkä SLE n = 20, verrokit n = 27	ex-gaussian	sigma: NPSLE-ryhmällä suurempi kuin pelkkä SLE -ryhmällä ja kontrolliryhmällä	tau: Korkeamman tason prosessit, kuten päätöksenteko; tarkkaavaisuuden ylläpidon vaihtelu myy: Alemman tason prosessit, kuten sensoriset vaikutukset sigma: Vähemmän ilmeinen tarkkaavaisuuden ylläpidon vaihtelu
Jackson ym., 2012	varhaisen vaiheen Alzheimer n = 33, verrokit n = 133	ex-gaussian	tau: Varhaisen vaiheen Alzheimer -ryhmällä suurempi kuin verrokeilla	tau: Toiminnanohjauksen romahdukset; lepoverkosto-hypoteesi; negatiivinen korrelaatio valkean aineen tilavuuteen myy: Ikääntymisen aiheuttama yleinen hidastuminen; negatiivinen korrelaatio valkean aineen tilavuuteen varsinkin alemmassa parietaalipoimussa

Tekijät ja vuosiluvut	Koehenkilöt	Analysointikeinot	Päätulos	Parametrien tulkinta ja niihin liitetyt tekijät
Kang ym., 2019	skitsofrenia n = 60, verrokkit n = 51	ex-gaussian	tau ja myy: Skitsofreniaryhmällä suurempi kuin kontrolliryhmällä	tau: Tarkkaavaisuuden ylläpito; lepoverkosto-hypoteesi; puutteellinen prefrontaalinen reaktiivinen kontrolli myy: Henkilölle ominainen motorinen nopeus sigma: Motorisen valmistelun yleiset puutteet
Karalunas ym., 2018	ASD n = 97, verrokkit n = 301	karttumisen diffuusiomalli	informaation karttumisnopeus: ASD-ryhmällä pienempi kuin verrokeilla vastauskynnys: ASD-ryhmällä suurempi kuin verrokeilla	informaation karttumisnopeus: Informaation prosessoinnin tehokkuus vastauskynnys: Vastaamisen varovaisuus pääöksentekoon kulumaton aika: Prosessit, jotka eivät liity suoraan vastauksen valintaan; saattaa liittyä motoriseen impulsiivisuuteen
Karantinos ym., 2014	skitsofrenia n = 23, verrokkit n = 23	ex-gaussian	tau ja sigma: Skitsofreniaryhmällä suurempi kuin kontrolliryhmällä	tau: Pääöksentekoprosessi myy: Sensorimotorinen prosessointi sigma: Sensorimotorinen prosessointi; noradrenergisen ja dopaminergisen järjestelmän häiriö, joka aiheuttaa tarkkaavaisuuden ylläpidon ongelmaa
Moss ym., 2016	BD n = 22, verrokkit n = 17	ex-gaussian, vinsentiilit	sigma: BD-ryhmällä suurempi kuin kontrolliryhmällä	-
Ortelli ym., 2022	pitkittynyt korona n = 74, verrokkit n = 29	ex-gaussian	tau, sigma ja myy: Pitkittynyt korona -ryhmällä suurempi kuin kontrolliryhmällä	tau: Tarkkaavaisuuden ylläpito; korreloi positiivisesti fatiikkiin ja masennukseen myy: Yleinen hidastuminen sigma: Tarkkaavaisuuden ylläpito

Tekijät ja vuosiluvut	Koehenkilöt	Analysointikeinot	Päätulos	Parametrien tulkinta ja niihin liitetyt tekijät
Panagiotaropoulou ym., 2019	skitsofrenia n = 30, verrokkit n = 30	ex-gaussian	tau: Skitsofreniaryhmällä suurempi kuin kontrolliryhmällä sigma: Skitsofreniaryhmällä suurempi kuin kontrolliryhmällä	tau: Kognitiivinen ja sensorimotorinen prosessointi; yhteys tiettyihin aivoalueisiin (oikea prefrontaalinen alue, oikea insula, vasen supplementaarinen frontaalinen ja motorinen alue); korreloi negatiivisesti oikean keskeisen frontaalialueen ROI:n kanssa
Rentrop ym., 2010	korkean toimintakyvyn skitsofrenia n = 28, verrokkit n = 28	ex-gaussian	tau: Korkean toimintakyvyn skitsofreniaryhmällä suurempi kuin kontrolliryhmällä	tau: Skitsofreniassa vastausjärjestelmän epävakaus myy: Korreloi positiivisesti sairauden keston kanssa
Schiff ym., 2014	MHE+maksakirroosi n = 14, maksakirroosi n = 15, verrokkit n = 14	kvantiilianalyysi	Hitaiden ja nopeiden kvintiilien välinen ero suurempi MHE-ryhmällä kuin verrokeilla; reaktioajat olivat enemmän hajautuneita MHE-ryhmällä kuin verrokeilla 2. ja 5. kvintiilin välillä	-
Schumacher ym., 2019	DLB n = 23, PDD n = 16, Alzheimerin tauti n = 28, verrokkit n = 22	ex-gaussian	tau: DLB, PDD ja Alzheimer-ryhmillä suurempi kuin kontrolliryhmällä myy & sigma: DLB ja PDD-ryhmillä suurempi kuin Alzheimer- ja kontrolliryhmällä	tau: Hetkelliset keskittymisen katkokset liitettynä keskittymisen vaikeuksiin; LBD:ssä positiivinen korrelaatio vasemman pikkuaivon crus I -lohkon kanssa, joka liittyy tarkkaavaisuuden dorsaaliseen järjestelmään myy & sigma: PDD:ssä motoriset ongelmat; Alzheimerissa korreloi negatiivisesti harmaan aineen määrän kanssa tietyillä aivoalueilla (lepoverkoston alueet, temporaalialue, kielialue ja vasen frontaalinen alue); Alzheimerissa korreloi negatiivisesti MMSE-tulosten kanssa myy: Korreloi negatiivisesti muistisairauden vaikeusasteen kanssa MMSE:llä mitattuna sigma: Valkean aineen kato temporaalialueilla

Tekijät ja vuosiluvut	Koehenkilöt	Analysointikeinot	Päätulos	Parametrien tulkinta ja niihin liitetyt tekijät
Shahar ym., 2017	OCD n = 14, verrokit n = 14	ex-gaussian, kaksivaihemalli	päätöksentekoon kulumaton aika: OCD-ryhmällä pienempi kuin kontrolliryhmällä	tau: Työmuistin kuormitus informaation karttumisnopeus: Havaitsemisen tarkkuus vastauskynnys: Vastaamisen varovaisuus tai nopeus lambda: Muistisäännön hakemisen nopeus
Silvia ym., 2020	masennus n = 17, verrokit n = 59	ex-gaussian	tau: Masennusryhmällä suurempi kuin kontrolliryhmällä	tau: Masennus; hetkelliset keskittymisen katkokset toiminnanohjausta vaativissa tehtävissä
Swick ym., 2013	PTSD n = 11, PTSD+mTBI n = 34, verrokit n = 34	ex-gaussian	Ei eroa ryhmien parametreissa	tau: Tarkkaavaisuuden ylläpidon puutteet; inhibition ja keskittymisen top-down kontrollin puutteet
Tye ym., 2016	ASD n = 19, ASD+AHDH n = 29, verrokit n = 26	ex-gaussian	Ei eroa ryhmien parametreissa	tau: ADHD
Vainieri ym., 2020	BD n = 20, verrokit n = 20	ex-gaussian	tau: BD-ryhmällä suurempi kuin verrokeilla myy: BD-ryhmällä nopea kannustin -osiossa suurempi kuin verrokeilla sigma: BD-ryhmällä suurempi kuin verrokeilla Eriksen Flanker-tehtävässä	tau: Hetkelliset keskittymisen katkokset sigma: BD-ryhmälle spesifi keskittymisen säätelyn häiriö, kun tarvitaan vahvaa kognitiivista kontrollia
van Belle ym., 2015	ASD n = 98, verrokit n = 74	ex-gaussian	Ei eroa ryhmien parametreissa	-

Huom. Käytetyt lyhennykset: BD = kaksisuuntainen mielialahäiriö, ASD = autismikirjon häiriö, ISD = yksilönsisäinen keskijajonta, RT IIV = reaktioaikojen yksilönsisäinen vaihtelu, ADHD = aktiivisuuden ja tarkkaavuuden häiriö, NPSLE = systeemisen lupus erytematosuksen neuropsykiatriset muodot, ROI = *region of interest* (mielenkiinnon kohde), MHE = minimaalinen hepaattinen enkefalopatia, DLB = muistisairaus, jossa Lewyn kappaleita, PDD = Parkinsonintaudin muistisairaus, LBD = Lewyn kappale - taudin muistisairaus, OCD = pakko-oireinen häiriö, PTSD = traumaperäinen stressihäiriö, mTBI = lievä aivovamma

4.1 Reaktioaikojen yksilönsisäinen vaihtelu ja diagnoosit

Artikkeleissa tutkittiin laaja-alaisesti erilaisia häiriöitä, eikä yhdestäkään yksittäisestä häiriöstä ollut yli neljää tutkimusta. Tutkimuksissa tarkastellut häiriöt ja koehenkilöiden määrät ovat tarkemmin eriteltynä taulukossa 1. Kehityksellisistä häiriöistä tutkittiin autismikirjoa (n=4) ja Touretten oireyhtymää (n=1). Mielenterveyden häiriöistä tarkasteltiin kaksisuuntaista mielialahäiriötä (n=4), skitsofreniaa (n=4), masennusta (n=2), pakko-oireista häiriötä eli OCD:tä (n=1) ja traumaperäistä stressihäiriötä eli PTSD:tä (n=1). Somaattisista sairauksista tutkittiin Alzheimerin tautia (n=2), Parkinsonin ja Lewyn kappale -taudin muistisairautta (n=1), fibromyalgiaa (n=1), systeemisen lupus erytematosusen neuropsykiatrisia muotoja eli NPSLE:tä (n=1), pitkittynyttä koronaa (n=1) ja minimaalista hepaattista enkefalopatiaa eli MHE:tä (n=1). Kielellisistä häiriöistä mukana oli ainoastaan dysleksia (n=1).

Kehityksellisistä häiriöistä RT IIV oli suurempi kuin verrokeilla ainoastaan autismikirjossa. Touretessa koe- ja kontrolliryhmä eivät eronneet toisistaan ex-gaussianin parametreilla mitattuna (Geurts ym., 2008). Autismikirjossakin tulokset olivat ristiriitaisia, sillä kahdessa tutkimuksessa RT IIV oli suurempi autismikirjon ryhmällä kuin verrokkiryhmällä (Geurts ym., 2008; Karalunas ym., 2018), mutta toisessa kahdessa eroa ei havaittu (Tye ym., 2016; van Belle ym., 2015).

Sen sijaan mielenterveyden häiriöissä RT IIV erosi verrokeista useammassa häiriössä. Kaksisuuntaisen mielialahäiriön neljästä tutkimuksesta kahdessa parametrit tau ja sigma olivat suurempia kaksisuuntaisessa mielialahäiriössä kuin verrokeilla (Gallagher ym., 2015; Vainieri ym., 2020), yhdessä tutkimuksessa ainoastaan sigma oli suurempi kuin verrokkiryhmällä (Moss ym., 2016) ja yhdessä ei havaittu eroa ex-gaussianin parametreissa ryhmien välillä (Burgess ym., 2022). Skitsofreniaa tutkineet kaikki neljä tutkimusta totesivat eron taussa, jonka lisäksi niistä kaksi totesi eron myös sigmassa (Karantinos ym., 2014; Panagiotaropoulou ym., 2019) ja yksi myyssä (Kang ym., 2019). Masennusta tutkittiin kahdessa tutkimuksessa, joista toisessa havaittiin ero taussa (Silvia ym., 2020), kun taas toisessa ex-gaussianin parametreissa ei ollut eroa, mutta vinsentiiliallyysissä nopein V_1 ja hitain V_8 poikkesivat verrokeista (Gallagher ym., 2015). OCD:ssä ja PTSD:ssä ei havaittu eroa verrokkeihin ex-gaussianin parametreissa, mutta päätöksentekoon kulumaton aika oli pienempi OCD- kuin kontrolliryhmällä (Shahar ym., 2017; Swick ym., 2013).

Myös useissa somaattisissa sairauksissa potilaat ja kontrolliryhmä erosivat toisistaan, vaikka somaattiset sairaudet ovatkin keskenään erilaisia. Alzheimerin taudissa tau oli suurempi kuin verrokeilla niin varhaisessa kuin myöhemmässäkin vaiheessa ja Parkinsonin ja Lewyn kappale -taudin muistisairauksissa sama ero todettiin kaikissa ex-gaussianin parametreissa (Jackson ym., 2012; Schumacher ym., 2019). Fibromyalgiassa ero havaittiin taussa, NPSLE:ssä sigmassa ja pitkittyneessä koronassa kaikissa ex-gaussianin parametreissa (Duschek ym., 2022; Haynes ym., 2015; Ortelli ym., 2022). MHE:ssä hitaiden ja nopeiden kvintiilien välinen ero oli suurempi kuin verrokeilla, mikä viittasi myös suurempaan RT IIV:hen (Schiff ym., 2014).

RT IIV:n ja kielen yhteyttä on tutkittu meidän katsauksemme artikkeleista ainoastaan yhdessä, jossa Gooch ja kumppanit (2012) tutkivat RT IIV:n yhteyttä dysleksiaan ex-gaussian jakaumasovituksella. He eivät kuitenkaan havainneet kontrolliryhmän ja dysleksiaryhmän eroavan toisistaan. Yhteenvetona voikin todeta, että useassa häiriössä huomattiin RT IIV:n poikkeavan verrokeista, mutta tulokset olivat osin vaihtelevia.

4.2 Reaktioaikojen yksilönsisäinen vaihtelu ja hajontaparametrit

RT IIV:n hajontaparametreja oli yhdistetty laajasti moniin eri tekijöihin, jotka luokittelimme kognitiivisiin toimintoihin, aivorakenteisiin, diagnoosiin tai tilaan liittyviin tekijöihin ja muihin sekalaisiin tekijöihin. Lisäksi jokainen ex-gaussian parametri oli liitetty lepoverkko-hypoteesiin, jonka kuvasimme 1.2.1 luvussa. Ex-gaussianin parametrit olivat selvästi tutkituin aihe, mikä näkyi siinä, että 16 tutkimuksessa oli tauhun, seitsemässä myyhyn ja viidessä sigman liitettyjä tekijöitä. Ex-gaussianin parametreihin liitetyt tekijät on listattu taulukkoon 2. Myy ei varsinaisesti ole hajontaparametri, mutta otimme sen mukaan tarkasteluun saadaksemme mahdollisimman kattavan kuvan parametreista. Muiden menetelmien parametreihin liitettyjä tekijöitä oli käsitelty vain kahdessa tutkimuksessa. Näitä olivat kaksivaihemallin parametrit informaation karttumisnopeus, vastauskynnys sekä lambda (Shahar ym., 2017) ja karttumisen diffuusiomallin parametrit informaation karttumisnopeus, vastauskynnys ja päätöksentekoon kulunut aika (Karalunas ym., 2018).

Vinsentiilianalyysin, kvantiilianalyysin, spektrianalyysin sekä hitaan ja nopean yksilönsisäisen keskihajonnan parametreihin ei liitetty mitään tekijöitä.

4.2.1 Ex-gaussian tau

Useiden tutkimusten mukaan ex-gaussian jakaumasovituksen taun oletettiin liittyvän tarkkaavaisuuteen ja toiminnanohjaukseen. Taun selitettiin ilmentävän tarkkaavaisuuden ylläpidon vaihtelua ja sen kasvun ajateltiin johtuvan hetkellisistä tarkkaavaisuuden ylläpidon katkoksista tai toiminnanohjauksen kontrollin ongelmista. Tämä ajattelutapa näkyi myös taustalla tutkimuksissa, jotka eivät olleet konkreettisesti esittäneet taun liittyvän mainittuihin tekijöihin. Samoin monessa tutkimuksessa taun kasvun ajateltiin kertovan RT IIV:n kasvusta. Esimerkiksi Geurts ja kumppanit (2008) yhdistivät taun RT IIV:hen ja RT IIV:n tarkkaavuuden ylläpidon puutteisiin. Tarkkaavuuden ja toiminnanohjauksen lisäksi tutkimuksissa mainittiin muita niitä tukevia prosessoinnin tasoja, kuten päätöksenteko, kognitiivinen ja sensorimotorinen prosessointi, vastausjärjestelmän epävakaus, inhibitio ja top-down kontrollin puutteet.

Tämän lisäksi tautia oli yhdistetty eri aivorakenteisiin sekä diagnooseihin, jotka on eritelty taulukossa 2. Tauhun yhdistettiin valkean aineen rakenteellinen eheys (Gallagher ym., 2015) ja tilavuus (Jackson ym., 2012) sekä aivoaktivaatio erityisesti aivojen frontaali- tai prefrontaalialueilla (Kang ym., 2019; Panagiotaropoulou ym., 2019). Tau yhdistettiin myös lepoverkko-hypoteesiin (Jackson ym., 2012; Kang ym., 2019), johon liitetyt aivorakenteet selvensimme luvussa 1.2.1. Tauhun liitettyjä diagnooseja olivat masennus (Ortelli ym., 2022; Silvia ym., 2020), ADHD (Tye ym., 2016) ja kaksisuuntainen mielialahäiriö (Vainieri ym., 2020). Masennuksessa ja ADHD:ssä taun ajateltiin olevan jopa mahdollinen diagnoosin endofenotyyppi (Silvia ym., 2020; Tye ym., 2016). Muita tekijöitä olivat fatiikki (Ortelli ym., 2022) sekä elämäntapoihin ja -tilanteisiin liittyvät tekijät (Burgess ym., 2022).

Taulukko 2

Ex-gaussianin parametreihin liitetyt tekijät

	Kognitiiviset toiminnot (n)	Aivorakenteet	Diagnoosi/tila (n)	Teoriat (n)	Muut tekijät
tau	Tarkkaavaisuus (7), keskittyminen (4), toiminnanohjaus (4), työmuistin kuormitus, inhibition määrä (2), päätöksenteko (2), kognitiivinen prosessointi, sensorimotorinen prosessointi, vastausjärjestelmän epävakaas, top-down kontrollin puutteet	Valkean aineen rakenteellinen eheys, valkean aineen tilavuus, tarkkaavaisuuden dorsaalinen järjestelmä, oikean prefrontaalisen alueen puutteellinen reaktiivinen kontrolli, oikea insula, vasen supplementaarinen frontaalinen ja motorinen alue, keskeisen frontaalialueen ROI	Masennus (2), fatiikki, ADHD, LBD:ssä vasemman pikkuaivon crus I -lohko, BD:ssä BMI ja huono toimintakyky	Lepoverkko-hypoteesi (2)	Tehtävän pituus, vuorokausirytmien relatiivinen amplitudi, elämänlaatu
myy	Alemman tason prosessit, kuten sensoriset vaikutukset, sensorimotorinen prosessointi	Valkean aineen tilavuus erityisesti alemmassa parietaalipoimussa	Skitsofrenian kesto, Parkinsonin motoriset ongelmat, Alzheimerissa harmaan aineen määrä eri aivoalueilla (temporaalialue, kielialue ja vasen frontaalinen alue), Alzheimerissa MMSE-tulokset, muistisairauden vaikeusaste MMSE:lla mitattuna	Lepoverkko-hypoteesi erityisesti Alzheimerissa	Ikääntymisen aiheuttama yleinen hidastuminen, henkilölle ominainen motorinen nopeus, yleinen hidastuminen

	Kognitiiviset toiminnot (n)	Aivorakenteet	Diagnoosi/tila (n)	Teoriat (n)	Muut tekijät
sigma	Tarkkaavaisuus (2), sensorimotorinen prosessointi, noradrenergisen ja dopaminergisen järjestelmän häiriö, joka aiheuttaa tarkkaavaisuuden ylläpidon ongelmaa	Valkean aineen kato temporaalialueilla	Parkinsonin motoriset ongelmat, Alzheimerissa harmaan aineen määrä eri aivoalueilla (temporaalialue, kielialue ja vasen frontaalinen alue), Alzheimerissa MMSE-tulokset, BD- ryhmälle spesifi häiriö tarvittaessa vahvaa kognitiivista kontrollia, joka johtuu keskittymisen säätelyn häiriöstä	Lepoverkko- hypoteesi erityisesti Alzheimerissa	Motorinen valmistelu, motorinen ajoitus, vastauksen valmistelu

Huom. Käytetyt lyhennykset: ROI = *region of interest* (mielenkiinnon kohde), ADHD = aktiivisuuden ja tarkkaavaisuuden häiriö, LBD = Lewyn kappale -taudin muistisairaus, BD = kaksisuuntainen mielialahäiriö, BMI = painoindeksi, MMSE = *mini-mental state examination*, OCD = pakko-oireinen häiriö

Numerot: Kuvaavat tutkimusten määrää, jossa kyseinen asia on liitetty kyseiseen hajontaparametriin.

4.2.2 Ex-gaussian myy

Ex-gaussian jakaumasovituksen myy liitettiin useimmiten tutkimushenkilölle ominaisen motorisen tai kognitiivisen toiminnan nopeuteen (Jackson ym., 2012; Kang ym., 2019; Ortelli ym., 2022). Tämä sama ajatus näkyi siinä, että myyn arvojen oletettiin liittyvän kognitiivisiin prosesseihin, jotka olivat sensorimotorisia. Samoin alempi parietaalipoimu, jonka valkean aineen tilavuus korreloi negatiivisesti myyn kanssa (Jackson ym., 2012), on mukana sensorisen informaation prosessoinnissa. Sensorimotoristen prosessien lisäksi myyn havaittiin korreloivan eri diagnoosien vaikeusasteen (Schumacher ym., 2019) tai keston (Rentrop ym., 2010) sekä erilaisten aivoalueiden kanssa diagnoosin saaneilla henkilöillä (Jackson ym., 2012; Schumacher ym., 2019). Tarkemmat diagnoosikohtaiset tiedot voi tarkistaa taulukosta 2.

4.2.3 Ex-gaussian sigma

Sigmaan oli liitetty vähiten tekijöitä ex-gaussianin parametreista. Tekijät, joihin se oli liitetty, vastasivat usein sekä tauhun että myyhyn liitettyjä tekijöitä. Sigma oli taun lailla yhdistetty tarkkaavaisuuteen (Haynes ym., 2015; Karantinos ym., 2014; Ortelli ym., 2022; Vainieri ym., 2020) ja myyn lailla motoriseen sekä kognitiivisen toimintaan liittyviin tekijöihin (Gooch ym., 2012; Kang ym., 2019; Karantinos ym., 2014; Schumacher ym., 2019). Sigmaan oli kuitenkin liitetty uutta tietoa siihen vaikuttavista aivotoiminnan tekijöistä. Näitä tekijöitä olivat valkean aineen kato temporaalialueilla (Schumacher ym., 2019) sekä häiriöt noradrenergisessä ja dopaminergisessä järjestelmässä (Karantinos ym., 2014).

Sigma oli liitetty suurimmaksi osaksi samoihin diagnoosispesifeihin tekijöihin myyn kanssa. Sigman ja myyn diagnoosispesifeinä eroina oli vain myylle ominainen positiivinen korrelaatio skitsofrenian keston (Rentrop ym., 2010) sekä negatiivinen korrelaatio muistisairauden vaikeusasteeseen (Schumacher ym., 2019) ja sigmalle ominainen kaksisuuntaiseen mielialahäiriöön liittyvä toiminnanohjauksen häiriö (Vainieri ym., 2020).

4.2.4 Muut hajontaparametrit

Muihin hajontaparametreihin oli liitetty taustatekijöitä vain kahdessa artikkelissa, ja kummassakin artikkelissa RT IIV:tä mitattiin informaation karttumismallin sovellusten avulla. Shahar ja kumppanit (2017) käyttivät kaksivaihemallia, jossa parametreina oli informaation karttumisnopeus, vastauskynnys ja lambda. He liittivät karttumisnopeuden

havaitsemisen tarkkuuteen, vastauskynnyksen vastaamisen varovaisuuteen tai sen nopeuteen ja lambdan muistisäännön hakemisen nopeuteen. Karalunas ja kumppanit (2018) käyttivät karttumisen diffuusiomallia, jossa parametreina olivat informaation karttumisnopeus, vastauskynnys ja päätöksentekoon kulumaton aika. He liittivät karttumisnopeuden informaation prosessoinnin tehokkuuteen, vastauskynnykseen vastaamisen varovaisuuteen ja päätöksentekoon kulumattoman ajan motoriseen impulsiivisuuteen.

5 Pohdinta

Katsauksemme tarkoituksena oli kerätä tietoa RT IIV:n tutkimuksesta erilaisissa diagnoosiryhmissä ja erityisesti kielellisissä häiriöissä. Rajasimme ADHD:n pois katsauksesta, koska sitä on jo tarkasteltu useassa katsauksessa (Bella-Fernández ym., 2024; Kofler ym., 2013). Selvitimme myös, millaisiin tekijöihin eri analysointikeinojen hajontaparametreja on yhdistetty. Katsauksemme perusteella RT IIV erosi kontrolliryhmistä monissa eri diagnooseissa. Dysleksia oli ainoa katsauksessa tutkittu kielellinen häiriö, mutta sitä tutkineessa tutkimuksessa dysleksiaryhmä ei eronnut kontrolliryhmästä (Gooch ym., 2012). RT IIV:n analysointikeinojen hajontaparametreja oli yhdistetty pääosin kognitiivisiin toimintoihin ja niihin liittyviin aivorakenteisiin, sekä motoriseen prosessointiin vaikuttaviin tekijöihin. Suurin osa katsauksen datasta oli analysoitu ex-gaussian jakaumasovituksilla, joten ex-gaussian parametreihin yhdistetyistä tekijöistä oli kattavammin tietoa kuin yksittäisistä muista analysointikeinoista.

5.1 Reaktioaikojen yksilönsisäinen vaihtelu on useassa eri häiriössä suurempaa kuin kontrolliryhmällä

RT IIV poikkesi kontrolliryhmästä niin kehityksellisissä, mielenterveys- kuin somaattisissa häiriöissä. Tulosten perusteella voi päätellä, että RT IIV ei ole yksittäiselle häiriölle spesifi merkki, vaikka ADHD-tutkimuksessa on joskus näin ajateltu (esim. Salum ym., 2019; Sonuga-Barke & Castellanos, 2007). RT IIV ei myöskään voi olla ainoastaan geneettistä taustaa jakavien häiriöiden transdiagnostinen endofenotyyppi, sillä kaikilla häiriöillä, joilla havaittiin RT IIV:n kasvua, ei ollut yhteistä geneettistä taustaa. RT IIV:n kasvu voi kuitenkin johtua eri häiriöissä eri tekijöistä, joten tämä ei poissulje sitä, että RT IIV olisi joidenkin häiriöiden transdiagnostinen endofenotyyppi (esim. ADHD ja autismikirjo Karalunas ym., 2018). Tuloksemme on saman suuntainen kuin Koflerin ja kumppaneiden (2013) katsauksessa ADHD:n ja RT IIV:n yhteydestä, jossa pääteltiin RT IIV:n mahdollisesti olevan

yleinen psykopatologian merkki tai eri häiriöiden jaettu riskitekijä eikä ADHD:lle spesifi. Meidän katsauksemme antaa tukea tulokselle myös ADHD-kontekstin ulkopuolella ja reaktioaikajakauman ominaisuudet paremmin huomioon ottavilla malleilla.

Kehityksellisissä häiriöissä yhteyttä RT IIV:hen ei havaittu tai se oli vaihteleva. Tämä saattaa viitata siihen, että kehityksellisistä häiriöistä selvin yhteys RT IIV:hen on ADHD:llä, mikä oli rajattu pois, koska siitä on jo useita katsauksia ja ADHD:n yhteys tavanomaista suurempaan RT IIV:hen on vahva. Tulosten varmuutta heikentää kuitenkin tutkimusten vähäinen määrä: kehityksellisistä häiriöistä katsaukseen valikoituivat vain kolme autismikirjoa tarkastellutta tutkimusta ja yksi Touretten oireyhtymää ja autismikirjoa tarkastellut tutkimus.

Kiinnostavasti näistä pelkkää ex-gaussian jakaumasovitususta käyttäneet tutkimukset (Tye ym., 2016; van Belle ym., 2015) eivät havainneet autismikirjo- ja kontrolliryhmän eroavan toisistaan, mutta karttumisen diffuusiomallia (Karalunas ym., 2018) ja spektrianalyysiä sekä hidasta ja nopeaa yksilönsisäistä keskihajontaa (Geurts ym., 2008) käyttäneet tutkimukset havaitsivat eron. Eri analysointitavoilla voi siis olla vaikutusta tulokseen.

5.2 Reaktioaikojen yksilönsisäisen vaihtelun ja kielellisten häiriöiden yhteyttä on tutkittu vähäisesti

Katsauksemme valikoitui ainoastaan yksi kielellisiä häiriöitä tarkastellut tutkimus, eikä siinäkään havaittu eroa dysleksia- ja kontrolliryhmän RT IIV:ssä (Gooch ym., 2012).

Reaktioaikojen keskiarvoja on tutkittu aikaisemmin kielellisten häiriöiden yhteydessä (Miller ym., 2001), mutta hajonta on jäänyt huomioimatta. Kielellisten taitojen yksilöerojen yhteyttä RT IIV:hen tulisi tutkia enemmän, koska Kauton ja kumppaneiden (2024) IIV-hypoteesin mukaisesti RT IIV:n kuvaama kognitiivisen prosessoinnin epävakaus on yksi mahdollinen kielen kehityksen erojen taustamekanismi. Jos kielen kehityksen vielä epäselviä taustamekanismeja selvitetään lisää, voidaan mahdollisesti tulevaisuudessa tehostaa arviointia ja kuntoutusta kohdentamalla ne suoraan kielellisen kehityksen erojen syihin.

Kauton ja kumppaneiden (2024) tutkimus ei kuitenkaan valikoitunut katsauksemme, sillä siinä ei tutkittu mitään tiettyä lääketieteellistä häiriötä tai diagnoosia ja sen tiivistelmässä ei mainittu heidän käyttämäänsä ex-gaussian jakaumasovitususta. Samoin jotkin toiset kielellisiä häiriöitä tutkineet tutkimukset ovat saattaneet jäädä katsauksemme ulkopuolelle vastaavista syistä.

5.3 Hajontaparametrien taustatekijöiden yleisimmät selitykset

Katsauksemme perusteella ainoastaan ex-gaussian jakaumasovituksen parametreja oli tutkittu sen verran, että niihin vaikuttavista tekijöistä sai yleisen käsityksen. Tau oli liitetty useimmiten tarkkaavaisuuteen ja keskittymiseen. Myös useat muut siihen liitetyt kognitiiviset prosessit, kuten päätöksenteko, ovat riippuvaisia tarkkaavaisuudesta ja keskittymisestä. Tämän lisäksi tau oli yhdistetty erilaisiin aivoverkostoihin ja -rakenteisiin, mutta huomattut yhteydet eivät toistuneet jokaisessa aivorakenteita tarkastelleessa tutkimuksessa. Tutkittujen aivoalueiden joukossa oli kuitenkin alueita, joita on liitetty taas kognitiivisiin toimintoihin tai toiminnanohjaukseen. Tämän lisäksi tauhun liitettyjen diagnoosien, kuten masennuksen (Rock ym., 2014), ja fyysisten tilojen, kuten fatiikin (Boksem & Tops, 2008), oirekuvaan kuuluu tarkkaavaisuuden hankaluuksia. Tuloksemme siis tukee aiempien tutkimusten oletusta siitä, että tau voisi kuvastaa tarkkaavaisuutta vaativia keskushermoston prosesseja (Schmiedek ym., 2007).

Myy oli yhdistetty katsauksessamme suurimmaksi osaksi ihmisen ominaiseen suoriutumisenopeuteen ja sensorimotorisen toiminnan tasoon. Tulosten mukaan myy yhdistettiin myös muistisairauden vaikeusasteeseen ja Parkinsonin taudin motorisiin ongelmiin. Tämä tukee havaintoa, jonka mukaan myyn arvot vaihtelevat suoriutumisenopeudesta ja sensorimotorisesta toiminnasta riippuen, sillä yleinen kognition hidastuminen on tavallista sekä muistisairauksissa että Parkinsonin taudissa. Muistisairauksissa sensorimotoriikka saattaa olla myös häiriintynyttä (Bekena ym., 2025), ja samoin sen ongelmia on havaittu Parkinsonin taudissa (Bologna & Paparella, 2020). Tulokset tukevat siis myös tuloksia, joissa myy on liitetty alemman tason kognitiivisiin toimintoihin (Matzke & Wagenmakers, 2009).

Katsauksessamme sigmaan havaittiin vaikuttavan sekä myyhyn että tauhun liitetyt tekijät. Sigmaan liitetyissä tekijöissä esiintyi kuitenkin enemmän motoriseen ajoitukseen ja vastauksen valmisteluun liittyviä tekijöitä kuin muissa ex-gaussianin parametreissa. Tutkimuksien perusteella ei siis saanut tarkempaa kuvaa sigmaan vaikuttavista taustatekijöistä. Havaitsemamme tulokset eivät kuitenkaan kumoa Chiangin ja kumppaneiden (2022) teoriaa, jonka mukaan sigman taustatekijänä voisi olla sensorimotorisen informaation prosessointi ja tähän liittyvien aivoalueiden toiminta.

Muut tutkimuksessa käytetyt hajontaparametrit olivat sen verran vähän mainittuja, että niiden perusteella ei ole mielekäästä tehdä tarkkoja oletuksia. Samoin parametrien taustatekijät olivat suurimmaksi osaksi vain tekijöitä, jotka oletettiin jo analysointitavan taustateoriassa.

Katsauksessa oli kuitenkin mukana useampi reaktioaikojen analysointikeino, joiden parametreihin ei ollut liitetty mitään taustaoletusta. Mukana olevat vinsentiilianalyysit (Gallagher ym., 2015; Moss ym., 2016), hidas ja nopea yksilönsisäinen keskiahajonta (Geurts ym., 2008), spektrianalyysi (Geurts ym., 2008) sekä kvantiilianalyysi (Schiff ym., 2014) vaativat siis paljon lisätutkimusta, jotta niitä voitaisiin käyttää vastausprosessin tutkintaan.

5.4 Reaktioaikojen yksilönsisäinen vaihtelu tarkkaavaisuuden biomarkkerina

Tuloksistamme ilmenee, että RT IIV on yhteydessä hyvin erilaisiin häiriöihin, joita yhdistävät kognitiiviset ongelmat ja erityisesti tarkkaavaisuuden ylläpidon vaikeudet. RT IIV:tä kuvaaviin hajontaparametreihin tauhun ja sigmaan oli myös useimmiten yhdistetty tarkkaavaisuus. Tulosten perusteella voi esittää RT IIV:n olevan tarkkaavaisuuden ylläpidon biomarkkeri, jolloin sen suurempi taso kertoisi tarkkaavaisuuden ylläpidon ongelmista. Tätä ajatusta tukee RT IIV:n neuraalisen taustan löydökset (MacDonald ym., 2009), sillä RT IIV:hen yhdistetyt aivotason mekanismit liittyvät myös tarkkaavaisuuden säätelyyn. Esimerkiksi RT IIV:hen yhdistetyn lepoverkoston tilanteeseen sopimaton aktivoituminen tehtävän aikana voi häiritä prosessointia ja aiheuttaa tarkkaavaisuuden ylläpidon vaikeuksia (Sonuga-Barke & Castellanos, 2007). Se selittäisi myös, miksi RT IIV:llä ja ADHD:llä on niin vahva yhteys (Bella-Fernández ym., 2024; Kofler ym., 2013).

Tarkkaavaisuuden ylläpito kuvaa kykyä säilyttää tarkkaavaisuus halutussa kohteessa pitkäkestoisesti. Siihen vaikuttaa Estermanin ja Rothleinin (2019) viitekehyksen mukaan ajatusten harhailu, motivaatio ja fysiologinen vireystila. Ajatusten harhailua tapahtuu, kun aivojen lepoverkosto on aktiivisena (Mason ym., 2007). Tämän takia lepoverkoston aktivoituminen tehtävän aikana on yhdistetty tarkkaavaisuuden ylläpidon vaikeuksiin. Tahatonta ajatusten harhailua esiintyy varsinkin vaikeissa tehtävissä, kun taas tahallista ajatusten harhailua on enemmän helpoissa tehtävissä (Seli ym., 2016). Ajatusten harhailun määrään ja näin ollen tarkkaavaisuuden ylläpitoon vaikuttaakin myös motivaatio (Esterman ym., 2016). Unsworthin ja Robinsonin (2017) mukaan fysiologista vireystilaa taas kontrolloi aivojen noradrenaliinin vapautumista kontrolloivan sinitumakkeen (engl. *locus coeruleus*) aktivaatio. Kun sinitumakkeen hermosolujen tooninen aktivaatio on vähäistä, yksilö on

tarkkaamaton. Kun tooninen aktivaatio on suurta, yksilö on hajamielinen eikä siis pysty pitämään ajatuksiaan halutussa kohteessa. Kummatkin tilat aiheuttavat tarkkaavaisuuden ongelmia, mutta niillä on kaksi eri vaikuttavaa taustamekanismia.

Unsworthin ja Robinsonin (2017) mukaan katsauksessamme mainituissa häiriöissä, kuten Alzheimerin taudissa, Parkinsonin taudissa, ADHD:ssä, autismin kirjossa, skitsofreniassa ja PTSD:ssä, on huomattu sinitumake-noradrenaliinijärjestelmän säätelyhäiriötä. On kuitenkin mahdollista, että eri häiriöissä ja eri yksilöillä tarkkaavaisuuden ylläpidon haasteet johtuvat eri tekijöistä. Esimerkiksi ADHD:ssä tarkkaavaisuuden ylläpidon vaikeuksien ajatellaan johtuvan fysiologisen vireystilan ja motivaation puutteista sekä ajatusten harhailusta, kun taas ikääntymiseen kuuluvat tarkkaavaisuuden haasteet saattavat liittyä ainoastaan fysiologisen vireystilan puutteisiin (Esterman & Rothlein, 2019). Jos RT IIV on tarkkaavaisuuden ylläpidon biomarkkeri, sitä voisi käyttää eri häiriöiden mahdollisten taustamekanismien selvittämiseen, ja näin kehittää diagnosointia ja kuntoutusta. Unsworth ja Robinson mainitsevatkin tutkimuksessaan lääkkeitä, jotka vaikuttavat sinitumake-noradrenaliinijärjestelmän toimintaan.

Toisaalta RT IIV ei välttämättä kuvasta ainoastaan tarkkaavaisuuden ylläpitoa vaan tarkkaavaisuuden ylläpitoon vaikuttavaa kognitiivisen prosessoinnin vakautta, kuten esimerkiksi Li ja kumppanit (2004) ovat esittäneet. Katsauksessamme RT IIV:n hajontaparametrit liitettiin usein tarkkaavaisuuden ylläpidon vaihteluun, sen hetkellisiin katkoksiin tai muiden kognitiivisten kykyjen vaihteluun, kuten toiminnanohjauksen romahduksiin tai vastausjärjestelmän epävakauteen. Nämä kaikki viittaavat kognitiivisen prosessoinnin epävakauteen. Epävakauteen saattaa vain esiintyä selvimminkin tarkkaavaisuuden ylläpidossa, sillä siinä vaaditaan pitkäkestoista ja tasaista suoriutumista. Näin ollen kognitiivisen prosessoinnin epävakauteen voisi vaikuttaa erityisesti myös kielellisiä taitoja vaativiin tehtäviin, sillä kielellinen prosessointi vaatii myös tasaista ja vakaata prosessointia.

5.5 Katsauksen vahvuudet ja rajoitukset

Katsauksemme vahvuutena on eri alojen tutkimusta kokoava näkökulma, sillä aikaisemmat katsaukset ovat keskittyneet vain yhteen tai kahteen häiriöön kerrallaan. Kun kaikkia häiriöitä tarkastellaan samanaikaisesti, saadaan laaja-alaisempi käsitys RT IIV:stä. Tällöin tutkijoiden tutkitun häiriön perusteelta syntyneet ennakko-oletukset eivät myöskään vaikuta yhtä paljon tulokseen, sillä eri häiriöissä tutkijoilla on erilaisia ennakko-oletuksia.

Tutkimusten rajaaminen diagnoosia tutkiviin tuo tietoa RT IIV:n yhteydestä eri häiriöihin, mutta samalla se rajaa pois tutkimuksia, jotka tutkivat ilmiöitä jatkumona. Todellisuudessa diagnoosien rajat ovat häilyviä ja tiettyyn diagnoosiin kuuluvia oireita esiintyy kaikilla jossain määrin, minkä takia rajanveto tiettyyn diagnoosiin ei täysin vastaa todellisuutta. Samoin diagnosirajaus rajaa muita yksilön ominaisuuksia, kuten motivaatiota tai fyysistä aktiivisuutta, tutkivat tutkimukset pois, jolloin hajontaparametrien tulkinnat ovat vain diagnoosien kontekstissa. Tulevaisuudessa olisikin hyvä tutkia RT IIV:hen liitettyjä tekijöitä myös diagnosikontekstin ulkopuolella.

Katsauksemme vahvuutena on myös erilaisten RT IIV:n analysointikeinojen kokoaminen yhteen tutkimukseen. RT IIV:tä useimmiten analysoidaan keskihajonnalla tai variaatiokertoimella (Stawski ym., 2019), mutta katsauksessamme keskityimme reaktioaikajakauman piirteitä paremmin huomioiviin analysointikeinoihin. Eri analysointikeinojen sisällyttäminen samaan katsaukseen mahdollistaa tulosten vertailun eri keinojen välillä ja auttaa kartoittamaan, mitä analysointikeinoja käytetään yleisimmin.

Hakustrategiamme ei kuitenkaan tavoittanut kaikkia kriteereihimme sopivia artikkeleita. Yhtenä syynä tälle on menetelmien nimien käyttäminen hakulausekkeessa, minkä takia saatoimme menettää meille tuntemattomia menetelmiä käyttäneitä tutkimuksia. Toisaalta pyrimme sisällyttämään hakulausekkeeseen kattavasti eri menetelmiä ja niiden ylänimikkeitä, sekä teimme täydentävän haun, kun tutustuimme uusiin menetelmiin. Toisena syynä on se, että kaikki tutkimukset eivät mainitse menetelmän nimeä tiivistelmässä tai asiasanoissa. Esimerkiksi Kauton ja kumppaneiden (2024) tutkimus jäi tämän takia pois katsauksestamme. Kolmantena syynä on vielä RT IIV:n termistön hajanaisuus. Pyrimme ottamaan kaikki RT IIV:n eri kirjoitusasut ja nimitykset mukaan hakulausekkeeseen, mutta jotkin meille tuntemattomat nimitykset saattoivat jäädä haun ulkopuolelle.

5.6 Yhteenveto

RT IIV:n analysointimenetelmät kehittyvät jatkuvasti huomioimaan reaktioaikajakauman ominaisuudet paremmin. Näiden analysointimenetelmien parametrien avulla on suuri potentiaali saada täsmällisempää tietoa RT IIV:n taustalla olevista tekijöistä, kuten diagnooseista tai kognitiivisista toiminnoista. Tutkimus on kuitenkin vielä hajanaista, joten selvitimme katsauksessamme RT IIV:n esiintyvyyttä eri diagnooseissa ja RT IIV:n analysointikeinojen parametreihin liitettyjä tekijöitä.

Katsauksemme tulokset viittaavat siihen, että RT IIV:tä ja sen hajontaparametreja on yhdistetty useisiin diagnooseihin sekä kognitiivisiin, neurologisiin ja sensorimotorisiin toimintoihin. RT IIV:n yhteyttä kielellisiin häiriöihin on tutkittu vielä vähän katsaukseen valitsemillamme analysointimenetelmillä. RT IIV:n analysointimenetelmistä ex-gaussian jakaumasovitus on yleisin menetelmä keskihajonnan ja variaatiokertoimen lisäksi, joten ainoastaan siitä pystyi keräämään luotettavasti yleisimpiä parametreihin liitettyjä tekijöitä. Jakaumasovituksen parametreista tau oli liitetty vahvasti tarkkaavaisuuteen ja keskittymiseen, myy ihmisen ominaiseen suoriutumisenopeuteen sekä sigma edellisten parametrien tekijöiden lisäksi motoriseen ajoitukseen ja valmisteluun sekä vastauksen valmisteluun.

Katsauksemme perusteella on mahdollista, että RT IIV:tä voi tulevaisuudessa käyttää diagnostiikan kehittämisessä sekä kognitiivisten, neurologisten ja sensorimotoristen toimintojen tutkimuksessa. RT IIV voi mahdollisesti auttaa erityisesti tarkkaavaisuuteen liittyvissä häiriöissä, sillä katsauksemme viittaa RT IIV:n olevan yksi mahdollinen tarkkaavaisuuden biomarkkeri. Esimerkiksi ADHD:n diagnosoinnissa on jo alettu hyödyntämään RT IIV:tä mittaavia CPT-testejä (engl. *continous performance test*) osana arviota (Puustjärvi, 2025). Samoin RT IIV:n avulla voi mahdollisesti selvittää kielen kehityksen taustatekijöitä. Tätä ennen tarvitaan kuitenkin lisätutkimusta erityisesti RT IIV:n sovelluksista diagnostiikassa ja sen yhteydestä kielellisiin häiriöihin sekä tarkempaa tuntemusta hajontaparametrien taustatekijöistä myös muissa menetelmissä kuin keskihajonnassa, variaatiokertoimessa ja ex-gaussian jakaumasovituksessa.

Lähteet

*-merkintä lähdeviitteen alussa tarkoittaa tässä katsauksessa mukana olevaa artikkelia

Balota, D. A., & Yap, M. J. (2011). Moving beyond the mean in studies of mental chronometry: The power of response time distributional analyses. *Current Directions in Psychological Science*, 20(3), 160–166. <https://doi.org/10.1177/0963721411408885>

Bekena, S., Singh, R. K., Zhu, Y., Carr, D. B., & Babulal, G. M. (2025). Sensorimotor function as an early marker of cognitive decline and alzheimer’s biomarker burden. *GeroScience*. <https://doi.org/10.1007/s11357-025-02055-0>

Bella-Fernández, M., Martin-Moratinos, M., Li, C., Wang, P., & Blasco-Fontecilla, H. (2024). Differences in ex-gaussian parameters from response time distributions between individuals with and without attention deficit/hyperactivity disorder: A meta-analysis. *Neuropsychology Review*, 34(1), 320–337. <https://doi.org/10.1007/s11065-023-09587-2>

Boksem, M. A. S., & Tops, M. (2008). Mental fatigue: Costs and benefits. *Brain Research Reviews*, 59(1), 125–139. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.07.001>

Bologna, M., & Paparella, G. (2020). Neurodegeneration and sensorimotor function. *Brain Sciences*, 10(11), 808. <https://doi.org/10.3390/brainsci10110808>

*Burgess, J. L., Bradley, A. J., Anderson, K. N., Gallagher, P., & McAllister-Williams, R. H. (2022). The relationship between physical activity, BMI, circadian rhythm, and sleep with cognition in bipolar disorder. *Psychological Medicine*, 52(3), 467–475. <https://doi.org/10.1017/S003329172000210X>

Castellanos, F. X., Sonuga-Barke, E. J. S., 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>

- Chiang, H.-L., Lin, H.-Y., Tseng, W.-Y. I., Hwang-Gu, S.-L., Shang, C.-Y., & Gau, S. S.-F. (2022). Neural substrates underpinning intra-individual variability in children with ADHD: A voxel-based morphometry study. *Journal of the Formosan Medical Association, 121*(2), 546–556. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2021.06.003>
- Draheim, C., Mashburn, C. A., Martin, J. D., & Engle, R. W. (2019). Reaction time in differential and developmental research: A review and commentary on the problems and alternatives. *Psychological Bulletin, 145*(5), 508–535. <https://doi.org/10.1037/bul0000192>
- *Duschek, S., de Guevara, C. M. L., Serrano, M. J. F., Montoro, C. I., López, S. P., & Reyes Del Paso, G. A. (2022). Variability of reaction time as a marker of executive function impairments in fibromyalgia. *Behavioural Neurology, 2022*, 1821684. <https://doi.org/10.1155/2022/1821684>
- Esterman, M., Grosso, M., Liu, G., Mitko, A., Morris, R., & DeGutis, J. (2016). Anticipation of monetary reward can attenuate the vigilance decrement. *PLOS ONE, 11*(7), e0159741. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159741>
- Esterman, M., & Rothlein, D. (2019). Models of sustained attention. *Current Opinion in Psychology, 29*, 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2019.03.005>
- *Gallagher, P., Nilsson, J., Finkelmeyer, A., Goshawk, M., Macritchie, K. A., Lloyd, A. J., Thompson, J. M., Porter, R. J., Young, A. H., Ferrier, I. N., McAllister-Williams, R. H., & Watson, S. (2015). Neurocognitive intra-individual variability in mood disorders: Effects on attentional response time distributions. *Psychological Medicine, 45*(14), 2985–2997. <https://doi.org/10.1017/S0033291715000926>
- *Geurts, H. M., Grasman, R. P. P. P., Verté, S., Oosterlaan, J., Roeyers, H., van Kammen, S. M., & Sergeant, J. A. (2008). Intra-individual variability in ADHD, autism spectrum

disorders and Tourette's syndrome. *Neuropsychologia*, 46(13), 3030–3041.

<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.06.013>

*Gooch, D., Snowling, M. J., & Hulme, C. (2012). Reaction time variability in children with ADHD symptoms and/or dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 37(5), 453–472.

<https://doi.org/10.1080/87565641.2011.650809>

Haynes, B. I., Bauermeister, S., & Bunce, D. (2017). A systematic review of longitudinal associations between reaction time intraindividual variability and age-related cognitive decline or impairment, dementia, and mortality. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 23(5), 431–445.

<https://doi.org/10.1017/S1355617717000236>

*Haynes, B. I., Bunce, D., Davies, K. A., & Rusted, J. M. (2015). Increased intraindividual reaction time variability in persons with neuropsychiatric manifestations of systemic lupus erythematosus. *Archives of Clinical Neuropsychology : The Official Journal of the National Academy of Neuropsychologists*, 30(3), 271–279.

<https://doi.org/10.1093/arclin/acv006>

*Jackson, J. D., Balota, D. A., Duchek, J. M., & Head, D. (2012). White matter integrity and reaction time intraindividual variability in healthy aging and early-stage Alzheimer disease. *Neuropsychologia*, 50(3), 357–366.

<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.11.024>

Jiang, Y., Rouder, J. N., & Speckman, P. L. (2004). A note on the sampling properties of the Vincentizing (quantile averaging) procedure. *Journal of Mathematical Psychology*, 48(3), 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2004.01.002>

Johnson, K. A., Kelly, S. P., Bellgrove, M. A., Barry, E., Cox, M., Gill, M., & Robertson, I. H. (2007). Response variability in attention deficit hyperactivity disorder: Evidence

- for neuropsychological heterogeneity. *Neuropsychologia*, 45(4), 630–638.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.03.034>
- Jones, M., & Dzhafarov, E. N. (2014). Unfalsifiability and mutual translatability of major modeling schemes for choice reaction time. *Psychological Review*, 121(1), 1–32.
<https://doi.org/10.1037/a0034190>
- *Kang, S. S., MacDonald, A. W., & Sponheim, S. R. (2019). Dysfunctional neural processes underlying context processing deficits in schizophrenia. *Biological Psychiatry. Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 4(7), 644–654.
<https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2019.03.012>
- 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>
- *Karalunas, S. L., Hawkey, E., Gustafsson, H., Miller, M., Langhorst, M., Cordova, M., Fair, D., & Nigg, J. T. (2018). Overlapping and distinct cognitive impairments in attention-deficit/hyperactivity and autism spectrum disorder without intellectual disability. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 46(8), 1705–1716.
<https://doi.org/10.1007/s10802-017-0394-2>
- *Karantinos, T., Tsoukas, E., Mantas, A., Kattoulas, E., Stefanis, N. C., Evdokimidis, I., & Smyrnis, N. (2014). Increased intra-subject reaction time variability in the volitional control of movement in schizophrenia. *Psychiatry Research*, 215(1), 26–32.
<https://doi.org/10.1016/j.psychres.2013.10.031>
- Kautto, A., Railo, H., & Mainela-Arnold, E. (2024). Introducing the intra-individual variability hypothesis in explaining individual differences in language development.

Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 67(8), 2698–2707.

https://doi.org/10.1044/2024_JSLHR-23-00527

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>

Laming, D. (1979). Autocorrelation of choice-reaction times. *Acta Psychologica*, 43(5), 381–412. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(79\)90032-5](https://doi.org/10.1016/0001-6918(79)90032-5)

Li, S.-C., Huxhold, O., & Schmiedek, F. (2004). Aging and attenuated processing robustness. *Gerontology*, 50(1), 28–34. <https://doi.org/10.1159/000074386>

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>

MacDonald, S. W. S., Li, S.-C., & Bäckman, L. (2009). Neural underpinnings of within-person variability in cognitive functioning. *Psychology and Aging*, 24(4), 792–808.

<https://doi.org/10.1037/a0017798>

MacDonald, S. W. S., Nyberg, L., & Bäckman, L. (2006). Intra-individual variability in behavior: Links to brain structure, neurotransmission and neuronal activity. *Trends in Neurosciences*, 29(8), 474–480. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2006.06.011>

Mason, M. F., Norton, M. I., Van Horn, J. D., Wegner, D. M., Grafton, S. T., & Macrae, C. N. (2007). Wandering minds: The default network and stimulus-independent thought. *Science*, 315(5810), 393–395. <https://doi.org/10.1126/science.1131295>

- 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>
- Miller, C. A., Kail, R., Leonard, L. B., & Tomblin, J. B. (2001). Speed of processing in children with specific language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *44*(2), 416–433. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2001/034\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2001/034))
- *Moss, R. A., Finkelmeyer, A., Robinson, L. J., Thompson, J. M., Watson, S., Ferrier, I. N., & Gallagher, P. (2016). The impact of target frequency on intra-individual variability in euthymic bipolar disorder: A comparison of two sustained attention tasks. *Frontiers in Psychiatry*, *7*, 106. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2016.00106>
- Mueller, K. L., & Tomblin, J. B. (2012). Examining the comorbidity of language impairment and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Topics in Language Disorders*, *32*(3), 228–246. <https://doi.org/10.1097/TLD.0b013e318262010d>
- Neuner, I., Arrubla, J., Werner, C. J., Hitz, K., Boers, F., Kawohl, W., & Shah, N. J. (2014). The default mode network and EEG regional spectral power: A simultaneous fMRI-EEG study. *PLoS ONE*, *9*(2), e88214. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088214>
- *Ortelli, P., Benso, F., Ferrazzoli, D., Scarano, I., Saltuari, L., Sebastianelli, L., Versace, V., & Maestri, R. (2022). Global slowness and increased intra-individual variability are key features of attentional deficits and cognitive fluctuations in post COVID-19 patients. *Scientific Reports*, *12*(1), 13123. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17463-x>
- *Panagiotaropoulou, G., Thrapsanioti, E., Pappa, E., Grigoras, C., Mylonas, D., Karavasilis, E., Velonakis, G., Kelekis, N., & Smyrnis, N. (2019). Hypo-activity of the dorsolateral prefrontal cortex relates to increased reaction time variability in patients

with schizophrenia. *NeuroImage. Clinical*, 23, 101853.

<https://doi.org/10.1016/j.nicl.2019.101853>

Puustjärvi, A. (2025). ADHD-oireiden arvioinnin muut menetelmät (Lisätietomateriaali, artikkelin tunnus: nix03548). Käypä hoito -suosituksessa: ADHD (aktiivisuuden ja tarkkaavuuden häiriö. Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin, Suomen Lastenneurologinen yhdistys ry:n, Suomen Nuorisopsykiatrisen yhdistyksen ja Suomen Lastenpsykiatryhdistyksen asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen Lääkäriseura Duodecim, 2025 (viitattu 2.6.2026). Saatavilla internetissä: <https://www.kaypahoito.fi/nix03548>

Rabbitt, P., Osman, P., Moore, B., & Stollery, B. (2001). There are stable individual differences in performance variability, both from moment to moment and from day to day. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 54(4), 981–1003. <https://doi.org/10.1080/713756013>

Ratcliff, R., & McKoon, G. (2008). The diffusion decision model: Theory and data for two-choice decision tasks. *Neural Computation*, 20(4), 873–922. <https://doi.org/10.1162/neco.2008.12-06-420>

*Rentrop, M., Rodewald, K., Roth, A., Simon, J., Walther, S., Fiedler, P., Weisbrod, M., & Kaiser, S. (2010). Intra-individual variability in high-functioning patients with schizophrenia. *Psychiatry Research*, 178(1), 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2010.04.009>

Rieger, T., & Miller, J. (2020). Are model parameters linked to processing stages? An empirical investigation for the ex-Gaussian, ex-Wald, and EZ diffusion models. *Psychological Research*, 84(6), 1683–1699. <https://doi.org/10.1007/s00426-019-01176-4>

Rock, P. L., Roiser, J. P., Riedel, W. J., & Blackwell, A. D. (2014). Cognitive impairment in depression: A systematic review and meta-analysis. *Psychological Medicine, 44*(10), 2029–2040. <https://doi.org/10.1017/S0033291713002535>

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. *ADHD Attention Deficit and Hyperactivity Disorders, 11*(1), 47–58. <https://doi.org/10.1007/s12402-018-0257-x>

*Schiff, S., D’Avanzo, C., Cona, G., Goljahani, A., Montagnese, S., Volpato, C., Gatta, A., Sparacino, G., Amodio, P., & Bisiacchi, P. (2014). Insight into the relationship between brain/behavioral speed and variability in patients with minimal hepatic encephalopathy. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology, 125*(2), 287–297. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.08.004>

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>

*Schumacher, J., Cromarty, R., Gallagher, P., Firbank, M. J., Thomas, A. J., Kaiser, M., Blamire, A. M., O’Brien, J. T., Peraza, L. R., & Taylor, J.-P. (2019). Structural correlates of attention dysfunction in Lewy body dementia and Alzheimer’s disease: An ex-Gaussian analysis. *Journal of Neurology, 266*(7), 1716–1726. <https://doi.org/10.1007/s00415-019-09323-y>

- Seli, P., Risko, E. F., & Smilek, D. (2016). On the necessity of distinguishing between unintentional and intentional mind wandering. *Psychological Science, 27*(5), 685–691. <https://doi.org/10.1177/0956797616634068>
- *Shahar, N., Teodorescu, A. R., Anholt, G. E., Karmon-Presser, A., & Meiran, N. (2017). Examining procedural working memory processing in obsessive-compulsive disorder. *Psychiatry Research, 253*, 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2017.03.048>
- Shahar, N., Teodorescu, A. R., Karmon-Presser, A., Anholt, G. E., & Meiran, N. (2016). Memory for action rules and reaction time variability in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging, 1*(2), 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2016.01.003>
- *Silvia, P. J., Eddington, K. M., Harper, K. L., Burgin, C. J., & Kwapil, T. R. (2020). Reward-seeking deficits in major depression: Unpacking appetitive task performance with ex-Gaussian response time variability analysis. *Motivation Science, 7*(2), 219–224. <https://doi.org/10.1037/mot0000208>
- Sonuga-Barke, E. J. S., & Castellanos, F. X. (2007). Spontaneous attentional fluctuations in impaired states and pathological conditions: A neurobiological hypothesis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 31*(7), 977–986. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2007.02.005>
- Stawski, R. S., MacDonald, S. W. S., Brewster, P. W. H., Munoz, E., Cerino, E. S., & Halliday, D. W. R. (2019). A comprehensive comparison of quantifications of intraindividual variability in response times: A measurement burst approach. *The Journals of Gerontology: Series B, 74*(3), 397–408. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbx115>
- *Swick, D., Honzel, N., Larsen, J., & Ashley, V. (2013). Increased response variability as a marker of executive dysfunction in veterans with post-traumatic stress disorder.

Neuropsychologia, 51(14), 3033–3040.

<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.10.008>

*Tye, C., Johnson, K. A., Kelly, S. P., Asherson, P., Kuntsi, J., Ashwood, K. L., Azadi, B., Bolton, P., & McLoughlin, G. (2016). Response time variability under slow and fast-incentive conditions in children with ASD, ADHD and ASD+ADHD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 57(12), 1414–1423.
<https://doi.org/10.1111/jcpp.12608>

Unsworth, N., & Robison, M. K. (2017). A locus coeruleus-norepinephrine account of individual differences in working memory capacity and attention control. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24(4), 1282–1311. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1220-5>

*Vainieri, I., Adamo, N., Michelini, G., Kitsune, V., Asherson, P., & Kuntsi, J. (2020). Attention regulation in women with ADHD and women with bipolar disorder: An ex-Gaussian approach. *Psychiatry Research*, 285, 112729.
<https://doi.org/10.1016/j.psychres.2019.112729>

*van Belle, J., van Hulst, B. M., & Durston, S. (2015). Developmental differences in intra-individual variability in children with ADHD and ASD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 56(12), 1316–1326.
<https://doi.org/10.1111/jcpp.12417>

Van Zandt, T., & Townsend, J. T. (2013). *Designs for and Analyses of Response Time Experiments*. Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199934874.013.0014>

Wong, A. L., Haith, A. M., & Krakauer, J. W. (2015). Motor planning. *The Neuroscientist*, 21(4), 385–398. <https://doi.org/10.1177/1073858414541484>

Wootton, O., Shadrin, A. A., Mohn, C., Susser, E., Ramesar, R., Gur, R. C., Andreassen, O. A., Stein, D. J., & Dalvie, S. (2023). Genome-wide association study in 404,302 individuals identifies 7 significant loci for reaction time variability. *Molecular Psychiatry*, 28(9), 4011–4019. <https://doi.org/10.1038/s41380-023-02292-9>

Liitteet

Liite 1. Hakulausekkeet

PubMed (87 artikkelia):

("reaction time*" OR "response time*" OR "response latenc*" OR "Reaction Time"[Mesh]) AND (((("withinparticipant*" OR "within participant*" OR "intra individual" OR "intraindividual" OR "within individual" OR "withinindividual" OR "withperson*" OR "within person") AND varia*) OR "reaction time variability" OR "Biological Variation, Individual"[Mesh]) AND ("diffusion model" OR "drift diffusion" OR "ex-gaussian" OR "exponentially modified gaussian" OR "non-gaussian" OR "linear ballistic accumulator*" OR "race model*" OR "parallel channel" OR "evidence accumulation*" OR "linear approach to threshold with ergodic rate" OR "LATER model" OR "distribution analy*" OR "time series"

EBSCO On PsycInfo & PsycArticles (74 artikkelia):

"reaction time*" OR "response time*" OR "response latenc*" OR DE "Reaction Time" OR DE "Response Latency") AND (((("withinparticipant*" OR "within participant*" OR "intra individual" OR "intraindividual" OR "within individual" OR "withinindividual" OR "withperson*" OR "within person") AND varia*) OR "reaction time variability" OR DE "Intraindividual Variability")) AND ("diffusion model" OR "drift diffusion" OR "ex-gaussian" OR "exponentially modified gaussian" OR "non-gaussian" OR "linear ballistic accumulator*" OR "race model*" OR "parallel channel" OR "evidence accumulation*" OR "linear approach to threshold with ergodic rate" OR "LATER model" OR "distribution analy*" OR "time series"

Scopus (94 artikkelia):

("reaction time*" OR "response time*" OR "response latenc*") AND (((("withinparticipant*" OR "within participant*" OR "intra individual" OR "intraindividual" OR "within individual" OR "withinindividual" OR "withperson*" OR "within person") AND varia*) OR "reaction time variability") AND ("diffusion model" OR "drift diffusion" OR "ex-gaussian" OR "exponentially modified gaussian" OR "non-gaussian" OR "linear ballistic accumulator*" OR "race model*" OR "parallel channel" OR "evidence accumulation*" OR "linear approach to threshold with ergodic rate" OR "LATER model" OR "distribution analy*" OR "time series")