



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Revalidatiewetenschappen

master in de revalidatiewetenschappen en de kinesitherapie

Masterthesis

Effecten van leeftijd en complexiteit van taken op de reactiesnelheid en accuraatheid bij inter-lidmaat taken: een observationele studie

Wiet Bertels

Bram Buydens

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de revalidatiewetenschappen en de kinesitherapie, afstudeerrichting revalidatiewetenschappen en kinesitherapie bij musculoskeletale aandoeningen

PROMOTOR :

Prof. dr. Raf MEESEN

BEGELEIDER :

De heer Sybren VAN HOORNWEDER



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be
Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2020

2021



Faculteit Revalidatiewetenschappen

master in de revalidatiewetenschappen en de kinesitherapie

Masterthesis

Effecten van leeftijd en complexiteit van taken op de reactiesnelheid en accuraatheid bij inter-lidmaat taken: een observationele studie

Wiet Bertels

Bram Buydens

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de revalidatiewetenschappen en de kinesitherapie, afstudeerrichting revalidatiewetenschappen en kinesitherapie bij musculoskeletale aandoeningen

PROMOTOR :

Prof. dr. Raf MEESEN

BEGELEIDER :

De heer Sybren VAN HOORNWEDER

EFFECTEN VAN LEEFTIJD EN COMPLEXITEIT VAN TAKEN OP DE REACTIESNELHEID EN
ACCURAATHEID BIJ INTER-LIDMAAT TAKEN: EEN OBSERVATIONELE STUDIE

“Welke effecten hebben leeftijd en complexiteit van een taak op de reactiesnelheid en
accuraatheid bij inter-lidmaat taken?”

Hoogtepunten:

- Leeftijd en de complexiteit van taken hebben een negatief effect op reactiesnelheid en accuraatheid bij keuze-reactietijd taken.
- Jongvolwassenen hebben gemiddeld een significant kortere reactietijd dan ouderen.
- Jongvolwassenen hebben gemiddeld een significant hogere nauwkeurigheid dan ouderen.
- Jongvolwassenen en ouderen hebben een significant grotere reactietijd en lagere nauwkeurigheid voor diagonale bewegingen dan voor ipsilaterale en homologe bewegingen

Studenten: Bertels Wiet(1539897), Buydens Bram(1438143)

Promotor: Prof. Dr. Raf Meesen

Begeleider: Drs. Sybren Van Hoornweder

Dankwoord

Een scriptie is nooit af zonder enige hulp, dus daarom een kort dankwoord. Ten eerste willen we onze begeleider, drs. Sybren Van Hoornweder, en promotor, Prof. Dr. Raf Meesen, bedanken voor de goede begeleiding van onze scriptie. Ook willen we onze vrienden en familie bedanken voor het proeflezen en de algehele steun waar nodig. Graag willen we dan nog persoonlijk Ellen Browko bedanken voor de steun en het ter beschikking stellen van ruimte en materiaal om aan deze scriptie te werken. Tenslotte willen wij ook het onderzoeksinstituut bedanken voor het beschikbaar stellen van de accommodatie en apparatuur.

Nijverheidsstraat 19, 3665 As, België, Mei 29 2021,

W.B.

Jan Ockegemstraat 23, 9400 Ninove, België, Mei 29 2021,

B.B.

Situering

Dit artikel is tot stand gekomen als masterproef in het tweede masterjaar Kinesitherapie en Revalidatiewetenschappen aan de Universiteit Hasselt en werd uitgevoerd door student Bertels Wiet en student Buydens Bram onder begeleiding van Doctorandus (drs.) Sybren Van Hoornweder en professor doctor (Dr.) Raf Meesen. Het werd geschreven volgens de centrale opmaakregels en voldoet aan alle richtlijnen voor masterscripties.

Er is nog steeds wereldwijd onderzoek nodig naar de revalidatie van ouderen door de vergrijzing (Camarano, 2016). De vergrijzing is een tendens op lange termijn, die in Europa tientallen jaren geleden is begonnen (Eurostat, 2021). Om toekomstige tendensen van vergrijzing te bestuderen, heeft Eurostat een nieuwe reeks bevolkingsramingen opgesteld, voor de periode 2019 tot 2100 (Eurostat, 2021). Er wordt voorspeld dat de bevolking van Europa zal pieken rond 449 miljoen in 2026, en daarna geleidelijk zal dalen tot 416 miljoen in 2100 (Eurostat, 2021). Tegen 2100 zal de piramide meer de vorm van een blok krijgen (Eurostat, 2021). Het midden van de piramide wordt aanzienlijk smaller. De tendens is zichtbaar in de verandering van de leeftijdsopbouw van de bevolking, het percentage ouderen stijgt (Eurostat, 2021). De veroudering heeft een grote impact op de algemeen dagelijkse levensverrichtingen (ADL) en de inter-lidmaat taken van ouderen in de samenleving (Dutta et al., 2013; Plotnik et al., 2011; Taub et al., 2004). Ten gevolge van veroudering gaat de motorische controle, motorische coördinatie en reactietijd (RT) achteruit. ADL en inter-lidmaat taken zoals autorijden, traplopen en koken vereisen een adequate motorische controle en coördinatie, hierbij spelen accuraatheid van bewegingen en RT een belangrijke rol.

De term RT kan gedefinieerd worden als de tijd tussen een stimulus en een waarneembare beweging, een fysieke verandering of een specifieke actie die door de stimulus geïnitieerd wordt (Jensen et al., 2006). Op basis van de complexiteit van de stimulus en/of de specifieke actie kan RT opgesplitst worden in drie soorten. In dit onderzoek werd keuze reactie onderzocht, hierbij moet een specifieke actie uitgevoerd worden bij verschillende stimuli (Boisgontier et al., 2014). De keuze reactietaak is algemeen de meest complexe taak waarbij de verwerkingsvereisten en de integriteit van het centrale zenuwstelsel een belangrijke rol spelen (Philipp et al., 2011; Schmidt et al., 2018; Donders et al., 1969).

Voor de complexiteit van de bewegingen werd Het Kinsbourne and Hicks model toegepast (Hick, 1952). Dit model is gebaseerd op de neurologische complexiteit van de neuronale en synaptische connecties en of er al dan niet interferentie optreedt bij het uitvoeren van verschillende activiteiten.

Leeftijd is ook een belangrijke factor die de RT en accuraatheid zal beïnvloeden (Darbutas et al., 2013). Ouderen zullen een grotere RT en een slechtere accuraatheid hebben dan jongvolwassenen bij niet-complexe taken maar dit verschil wordt nog duidelijker bij complexe taken.

Het doel van dit onderzoeksproject was om de invloed van complexiteit en leeftijd op de RT te onderzoeken en om een antwoord te vinden op de volgende onderzoeksvraag: " Welke effecten hebben leeftijd en complexiteit van een taak op de reactiesnelheid en accuraatheid bij inter-lidmaat taken?". In deze studie gingen we analoog te werk aan een eerdere studie (Boisgontier et al., 2014). Deze bewegingen werden uitgevoerd door proefpersonen van verschillende leeftijd. Bij de uitgevoerde bewegingen werden zowel de RT als de accuraatheid gemeten.

Deze masterproef is een observationeel onderzoeks-artikel. Dit onderzoeksproject wordt uitgevoerd aan de universiteit van Hasselt (UHasselt) en zal deel uitmaken van een toekomstig breder onderzoeksproject aan de UHasselt. Dit toekomstig onderzoeksproject zal de effecten van Transcranial Alternating Current Stimulation (tACS) op inter-lidmaat taken bij ouderen onderzoeken.

Het idee van dit onderzoeksproject werd gecreëerd door Drs. Sybren Van Hoornweder en het onderzoeksprotocol (design en methode) werd geschreven in overleg met studenten Bertels Wiet en Buydens Bram. Rekrutering van proefpersonen en data-acquisitie, evenals data-analyse en academisch schrijven werden uitgevoerd door beide studenten.

Inhoudstafel

Inhoud

Abstract:	7
1. Inleiding	9
2. Methode	11
2.1 Participanten	11
2.2 Procedure	11
2.2.1 Materiaal	12
2.2.2 Testen	13
2.3 Uitkomstmaten	14
2.3.1 Primaire uitkomstmaat - Reactiesnelheid	14
2.3.2 Secundaire uitkomstmaat - Accuraatheid	14
2.4 Data analyse	14
2.4.1 Participanten kenmerken	15
2.4.2 Reactietijd	15
2.4.3 Accuraatheid	15
3. Resultaten	17
3.1 Participanten kenmerken	17
3.2 Data analyse	18
3.3 Uitkomstmaten	19
3.3.1 Reactietijd	19
3.3.2 Accuraatheid	22
4. Discussie	25
4.1 Relevantie	25
4.2 Voornaamste bevindingen	25
4.3 (In)consistenties	27
4.4 sterktes en zwaktes	27
4.5 Aanbevelingen	28
5. Conclusie	29
6. Bijlagen	31
7. Afkortingen	33
8. Referenties	35

Abstract:**Doelstellingen:**

RT en accuraatheid spelen een belangrijke rol bij inter-lidmaat taken, deze taken zijn van essentieel belang voor het behoud van zelfstandigheid en taken in het dagelijks leven. Door de stijgende graad van vergrijzing is er nood aan inzicht in de invloed van leeftijd en complexiteit op inter-lidmaat taken. Dit onderzoeksproject onderzoekt de invloed van leeftijd en de graad van complexiteit van de beweging op de RT. Dit onderzoek wil een antwoord vinden op de onderzoeksvraag: "Welke effecten hebben leeftijd en complexiteit van een taak op reactiesnelheid en accuraatheid?".

Methode:

Twintig gezonde, rechtshandige proefpersonen werden opgedeeld in twee groepen, jongvolwassenen (11 deelnemers tussen 18 en 30 jaar) en ouderen (9 deelnemers tussen de 65 en 75 jaar). In dit observationeel onderzoek voerde de participanten de Multi Limb Reaction Time task (MLT) uit. Tijdens de taak werden RT en accuraatheid gemeten.

Resultaten:

De gemiddelde algemene RT van jongvolwassenen is 617.04ms standaarddeviatie (SD) ± 20.16 en van ouderen is de algemene RT 858.59ms ± 22.2 , dit is een significant verschil. Ook zijn de RT van alle bewegingstypes (Homoloog/Ipsilateraal/Diagonaal) significant groter bij ouderen dan bij jongvolwassenen. In totaal maakte jongvolwassenen 4.4% (151) foute bewegingen en ouderen 9.65% (271) foute bewegingen op alle geregistreerde bewegingen. Ook maakten ouderen significant meer fouten voor alle bewegingstypes (Homoloog/Ipsilateraal/Diagonaal) dan jongvolwassenen. Zowel ouderen als jongvolwassenen maakten significant meer fouten en hadden een significant grotere RT bij diagonale dan ipsilaterale en homologe bewegingen. Er waren geen significante verschillen in RT en accuraatheid tussen ipsilaterale en homologe bewegingen. Ook is er een interactie gevonden voor invloed van leeftijd en complexiteit op RT.

Conclusie:

Zowel leeftijd als graad van complexiteit hebben een negatief effect op zowel RT als accuraatheid van inter-lidmaat taken. Diagonale bewegingen zijn de taken met de grootste RT en minst goede accuraatheid.

Sleutelwoorden:

inter-lidmaat coördinatie, reactietijd, accuraatheid, verouderen

1. Inleiding

Wereldwijd is er een proces van vergrijzing van de bevolking aan de gang (Camarano, 2016). Dit brengt niet enkel economische uitdagingen met zich mee, maar het heeft ook een grote impact op de ADL van de mensen (Dutta et al., 2013; Plotnik, et al., 2011; Taub et al., 2004). Motorische controle, motorische coördinatie en RT gaan achteruit door veroudering. Hierdoor wordt de accuraatheid van bewegingen slechter en verhoogt de RT (Plotnik et al., 2011). Deze factoren zijn echter essentieel in kader van ADL.

RT verwijst naar de tijd tussen een stimulus en een waarneembare beweging, een fysieke verandering of een specifieke actie die door de stimulus geïnitieerd wordt (Jensen, 2006). Er zijn drie soorten reacties op basis van de complexiteit van de stimulus en/of de specifieke actie. De eerst soort is de simpele reactie, waarbij participanten steeds op identieke wijze dienen te reageren op een stimulus. De tweede soort is de herkenningreactie, waarbij men moet reageren op één specifieke stimulus en alle andere stimuli dient te negeren. De laatste soort is de keuze reactie, hierbij moet een specifieke actie uitgevoerd worden bij verschillende stimuli (Boisgontier et al., 2014). De keuze reactietaak is algemeen de meest complexe (Donders, 1969). Hoe complexer de verwerkingsvereisten, hoe belangrijker de integriteit van het centrale zenuwstelsel (Philipp & Koch, 2011; Schmidt et al., 2018) en hoe groter de RT. In een eerdere studie is er reeds onderzocht of de verschillende soorten van complexiteit een invloed hebben op de RT (Boisgontier et al., 2014). Als parameters hiervoor werd het aantal lidmaten (tussen één en vier) en de aard van de bewegingen (homoloog, ipsilateraal en diagonaal) gebruikt, waarbij een onderscheid werd gemaakt tussen homologe (bewegen met beide armen of beide benen), ipsilaterale (bewegingen met de linker of rechter ledematen) en diagonale bewegingen (beweging met een gekruist lidmaat patroon). Bij het onderzoek van Boisgontier (Boisgontier et al., 2014) werden ook bewegingen met drie en vier ledematen uitgevoerd, deze zijn niet van toepassing voor dit onderzoek.

Het Kinsbourne and Hicks model voor neurologische complexiteit werd hierbij toegepast (Hick, 1952). Dit model stelt dat er interferentie optreedt bij het uitvoeren van verschillende taken, waarvan de werkende hersengebieden functioneel nabij gelegen zijn. Dit zijn hersenstructuren waartussen veel neuronale en synaptische connecties zijn. Volgens dit model hebben homologe bewegingen een grotere neurologische koppeling en ontkoppeling,

en dus kleinere functionele afstand, dan ipsilaterale bewegingen. Dit wil dus zeggen dat functionele afstand en fysieke afstand niet corresponderen met elkaar. De diagonale bewegingen hebben de zwakste koppeling en ont koppeling van de drie bewegingen.

Er zijn echter ook nog andere factoren die de RT en accuraatheid beïnvloeden. Leeftijd speelt naar verwachting een belangrijke rol bij de RT, zo gaan ouderen een grotere RT hebben dan jongvolwassenen, dit verschil is aanwezig bij niet-complexe taken maar wordt nog duidelijker bij complexe taken. Ook heeft de leeftijd een effect op accuraatheid (Darbutas et al., 2013). Dit is mogelijk te verklaren doordat bij het ouder worden de doorbloeding van de hersenen slechter wordt en hierdoor wordt zowel de grijze als witte materie aangetast, waardoor er een verslechtering is van de prikkelgeleiding en communicatie tussen hersengebieden (Xiong & Mok, 2011). Een andere mogelijke verklaring van de invloed van leeftijd op accuraatheid is de theorie van compensatie en dedifferentiatie. Deze theorie houdt in dat hoewel ouderen een grotere activiteit in de hersenen hebben (Mattay et al., 2002), ze toch minder accuraat gaan werken. Dit omdat extra hersengebieden, buiten deze die nodig zijn voor de opdracht, ook geactiveerd worden om de taak toch te doen slagen (compensatie). Aan de andere kant houdt de theorie in dat er een verspreide regio van hersenactiviteit is door problemen in de neurotransmissie door ouderdom (dedifferentiatie) (Heuninckx et al., 2008).

In deze studie willen we zowel de invloed van complexiteit als leeftijd op de RT onderzoeken. Als complexiteit parameters gaan we analoog aan de eerdere studie (Boisgontier et al., 2014), het selectie principe gebruiken. Bij het selectie principe kijken we naar de graad van koppeling of ont koppeling van de bewegingen. Deze bewegingen worden uitgevoerd door proefpersonen van verschillende leeftijd. Bij de uitgevoerde bewegingen zullen we zowel de RT als de accuraatheid bepalen. Als parameters hiervoor gebruiken we het aantal juiste, foutieve en gemiste reacties. Onze hypothese is dat leeftijd en complexiteit een negatieve invloed hebben op zowel de RT als de accuraatheid. We verwachten ook dat er een interactie zal optreden tussen de leeftijd en de complexiteit van de bewegingen (Darbutas et al., 2013).

2. Methode

2.1 Participanten

In totaal werden twintig proefpersonen gerekruteerd voor deze studie. Hierbij werd een bijna gelijke verdeling gemaakt tussen jongvolwassenen (elf deelnemers tussen 18 en 30 jaar) en ouderen (negen deelnemers tussen de 65 en 75 jaar). Rekrutering is gebeurd door personen van de onderzoeksgroep REVAL van de UHasselt door middel van actieve mondelinge rekrutering en flyers.

Om geïnccludeerd te worden in de studie moesten de deelnemers (i) tussen 18 en 30 jaar of tussen 65 en 78 jaar zijn, (ii) rechtshandig zijn (bevestigd door een score van 40 of hoger op de Edinburgh Handedness Inventory) (Oldfield, 1971), (iii) een score van ≥ 24 halen op de Montreal Cognitive Assessment questionnaire (MoCA), wat een weergave was van adequaat cognitief functioneren op het moment van het onderzoek, (iv) een normaal of met bril/lenzen gecorrigeerd zicht hebben en (v) aan geen enkele van de exclusiecriteria voldoen.

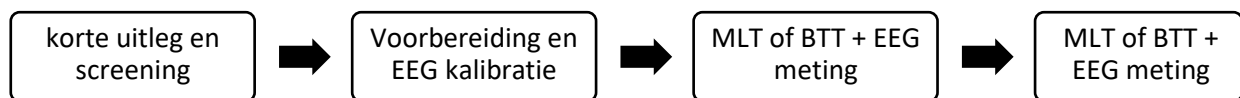
Mogelijke deelnemers werden geëxcludeerd als (i) er aanwezigheid was van een neurologische of psychiatrische aandoening, (ii) de uitvoering van de inter-ledemaat taken onmogelijk was door een fysieke beperking, (iii) er sprake was van een alcohol- of drugsverslaving, (iv) men roker is, (v) er op het moment van de meting medicatie gebruikt werd die het centraal zenuwstelsel beïnvloedt of (vi) men een huidallergie aan cosmetica of lotions had.

2.2 Procedure

In deze observationele studie vond voor iedere proefpersoon één sessie plaats waarin een elektro-encefalografie (EEG) meting werd afgenomen tijdens de uitvoering van twee inter-ledemaat taken. Eerst werd het informed consent overlopen en werden eventuele vragen van de proefpersonen beantwoord. Hierna volgde een screening van de inclusiecriteria aan de hand van de Oldfield vragenlijst voor rechtshandigheid en de MoCA. Ook werd een korte bevraging gedaan over een aantal factoren die een invloed kunnen hebben op de alertheid

van de deelnemer (hoeveelheid slaap, gebruik van cafeïne). Als volgende werd het EEG kapje voorbereid en een eerste EEG meting in rust uitgevoerd. De twee testen die uitgevoerd werden zijn de MLT (vier maal 78 trials) en de Bimanual Tracking task (BTT) (vier maal 39 trials). Deze laatste taak zal in dit onderzoek niet besproken worden. De taak die als eerste werd uitgevoerd was niet bij alle deelnemers hetzelfde, zo zal de volgorde van de tests geen effect hebben op de resultaten. Vervolgens kreeg de deelnemer de tijd om de taak kort in te oefenen. Na het inoefenen van de taak werd een EEG meting uitgevoerd tijdens het uitvoeren van de taak. Na het afronden van de eerste taak kreeg de deelnemer opnieuw even tijd om de tweede taak in te oefenen. Hierop volgend werd opnieuw een EEG meting afgenomen tijdens uitvoering. Een samenvattende flowchart van een sessie wordt weergegeven in figuur 1.

De ethische commissie van de UHasselt keurde dit onderzoek goed (code B1152020000017). Alle deelnemers die bij dit onderzoek betrokken zijn, moesten een informed consent ondertekenen alvorens het onderzoek te starten.



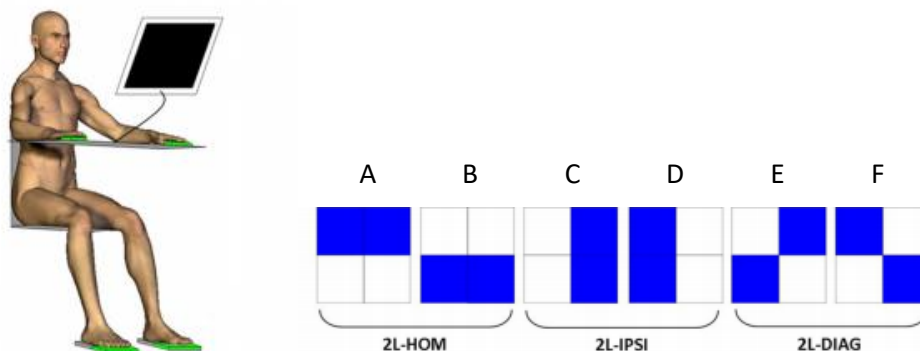
Figuur 1: flowchart van hoe het verloop van een sessie eruit ziet

2.2.1 Materiaal

Voor de EEG-meting werd het 'BioSemi ActiveTwo System' (BioSemi B.V. Nederland) gebruikt. Voor het detecteren van hersenactiviteit worden bij EEG potentiaalverschillen gemeten, deze potentiaalverschillen ontstaan door ionenstromen in de neuronen. Om een potentiaalverschil te bekomen wordt een neutrale elektrode gebruikt als referentie. In het geval van het BioSemi systeem gaat het om de CMS en DRL elektrodes. Alle 64 elektrodes werden gebruikt en geplaatst volgens het internationale 10-20 EEG-systeem (AFz, AF3, AF4, AF7, AF8, C1, C2, C3, C4, C5, C6, Cz, CP1, CP2, CP3, CP4, CP5, CP6, F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, Fz, Fc1, Fc2, Fc3, Fc4, Fc5, Fc6, Fcz, Ft7, Ft8, Fpz, Fp1, Fp2, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, Pz, Po3, Po4, Po7, Po8, Poz, DRL, CMS, O1, O2, Oz, Iz, T7, T8, TP7, TP8).

2.2.2 Testen

De taak die in kader van deze thesis werd uitgevoerd is de MLT, ontwikkeld door Boisgontier (Boisgontier et al., 2014). Bij deze taak komen zowel het correct uitvoeren (accuraatheid), als RT aan bod. Om de MLT uit te voeren zat de deelnemer voor een computerscherm met de handen en voeten op vier verschillende platen die dit contact detecteren. Dit wordt visueel weergegeven in figuur 2. Op het computerscherm worden de vier contactplaten weergegeven als vier vierkanten die ieder met een ledemaat overeen komen (vb. de linker arm wordt weergegeven door het vierkant links boven). De deelnemers krijgen instructies op het computerscherm via het oplichten van één of meerdere vierkanten. De bedoeling is dat het corresponderende ledemaat van het opgelichte vierkant opgetild wordt. Zowel één als meerdere vierkanten kunnen tegelijkertijd oplichten wat het mogelijk maakt om de taak moeilijker te maken, echter zullen in dit onderzoek bij iedere taak twee vierkanten gebruikt worden.



Figuur 2: een visuele weergave van de opstelling van de MLT, alsook de mogelijke combinaties van bewegingen voor dit onderzoek (Boisgontier et al., 2014). A: de twee armen, B: de twee benen, C: rechterarm en -been, D: linkerarm en -been, E: rechterarm en linkerbeen, F: linkerarm en rechterbeen

De mogelijke bewegingen die in het onderzoek voorkomen krijgen voor de data-analyse een code. Deze codes zijn weergegeven als vier bolletjes die overeenkomen met de vier ledematen. De twee linkse bolletjes corresponderen met de benen en de twee rechtse bolletjes corresponderen met de armen. Per lidmaat komt het linkse bolletje overeen met het linkse lidmaat en het rechter bolletje met het rechter lidmaat. De uitgevoerde taak wordt weergegeven door lege en doorstreepte bolletjes, de doorstreepte komen overeen met de ledematen die dienen opgeheven te worden. De homologe bewegingen worden dus

weergegeven als OO/∅∅ (beide armen opheffen) en ∅∅/OO (beide benen opheffen). De ipsilaterale bewegingen worden weergegeven als O∅/O∅ (rechterarm en rechterbeen opheffen) en ∅O/∅O (linkerarm en linkerbeen opheffen). De diagonale bewegingen worden weergegeven als ∅O/O∅ (linkerbeen en rechterarm opheffen) en O∅/∅O (rechterbeen en linkerarm opheffen).

2.3 Uitkomstmaten

2.3.1 Primaire uitkomstmaat - Reactiesnelheid

De RT wordt gedefinieerd als de tijd tussen het oplichten van de vierkanten op het computerscherm en het moment dat de contactplaten de beweging registreren. Om een objectief beeld te krijgen van RT werden enkel correct uitgevoerde trials meegeteld dit wil zeggen dat een trial enkel telde als alle correcte ledematen werden opgetild. De incorrecte trials werden gebruikt als data om de accuraatheid te analyseren. De uitkomsten van RT worden weergegeven in milliseconde (ms). Om ervoor te zorgen dat zeer korte RT door anticipatie niet werden meegenomen met de data-analyse werden tijden van 150ms of minder verwijderd, dit is een veelgebruikte cut-off waarde in onderzoek naar RT (Dykiert et al., 2012).

2.3.2 Secundaire uitkomstmaat - Accuraatheid

De secundaire uitkomstmaat die geanalyseerd werd is accuraatheid. Bij de MLT wordt accuraatheid gerepresenteerd door het al dan niet juist uitvoeren van de taak. Indien de juiste ledematen werden opgeheven werd een trial als accuraat beschouwd. De accuraatheid van deze test wordt weergegeven als het percentage van juist uitgevoerde trials.

2.4 Data analyse

Data analyse gebeurde via de software 'SAS JMP', Pro versie 15.2.0 (SAS Institute, Verenigde Staten). We hanteerden een significantieniveau van $\alpha=0.05$.

2.4.1 Participanten kenmerken

Voor de statistische analyse van de participanten kenmerken hebben we gebruik gemaakt van T-test en Fisher exact test. De factoren die geanalyseerd werden voor participanten kenmerken zijn geslacht (categorisch), het bespelen van een instrument (categorisch), de volgorde van taken tijdens het onderzoek (categorisch), MOCA (categorisch), het gemiddeld aantal uren slaap in de laatste 24 uur (continu), het aantal dosissen cafeïne in de laatste 24 uur (continu) en het aantal dosissen alcohol in de laatste 24 uur (continu). Voor continue gegevens is de data analyse gebeurd via de T-test en voor categorische gegevens was dit via de Fisher exact test.

2.4.2 Reactietijd

Om te testen of de gegevens normaal verdeeld zijn wordt een Anderson-Darling test uitgevoerd. Indien de gegevens normaal verdeeld zijn betekent dit dat we een ANOVA kunnen gebruiken, dit omdat de onafhankelijke variabelen categorisch zijn (leeftijdsgroep + bewegingstype) en afhankelijke variabele continu (RT). Omdat de gegevens gepaard zijn kan (Lineair) gemengd Modelling (LMM) worden gebruikt als alternatief voor multiway-ANOVA indien de gegevens niet normaal verdeeld zijn. Om het effect van het niveau van complexiteit op RT te analyseren zal een Tukey's HSD test worden uitgevoerd.

2.4.3 Accuraatheid

Voor de analyse van de invloed van leeftijd op Accuraatheid wordt gebruik gemaakt van de Pearson Chi-kwadraat test voor de analyse, dit omdat zowel de onafhankelijke variabele (leeftijdsgroep) als de afhankelijke variabele (accuraatheid) nominale gegevens waren. Hier zal een Bonferroni-correctie worden toegepast waardoor het significantieniveau $\alpha=0.01$ wordt. Ook voor de invloed van het niveau van complexiteit wordt een Pearson Chi-kwadraat test uitgevoerd. Hier zal opnieuw een Bonferroni-correctie uitgevoerd worden waardoor het significantieniveau $\alpha=0.008$ wordt.

3. Resultaten

3.1 Participanten kenmerken

In totaal waren er twintig geschikte proefpersonen die hebben deelgenomen aan deze studie. De algemene kenmerken van de participanten, opgedeeld in de groepen jongvolwassenen (11 deelnemers tussen 18 en 30 jaar) en ouderen (9 deelnemers tussen de 65 en 75 jaar) zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: patiënt kenmerken

Groep	Ouderen (n=9)	Jongvolwassenen (n=11)	P waarde
Geslacht (Vrouw), aantal	3	6	0.406
Instrument bespelen (Ja/Nee/Soms), aantallen	2/6/1	0 /10/1	0.243
Taak volgorde (BBT→MLT), aantal	2	6	0.142
MOCA (26 of hoger), aantallen	8	11	0.257
Aantal uren slaap (gemiddeld aantal uren in de laatste 24u) ± SD	6.75 ±0.88	7.20 ±1.51	0.433
Cafeïne (aantal dosissen in de laatste 24u) ± SD	2 ±2.19	0.95 ±1.2	0.193
Alcohol (aantal dosissen in de laatste 24u) ± SD	0.89 ±0.78	0.09 ±0.30	0.006*

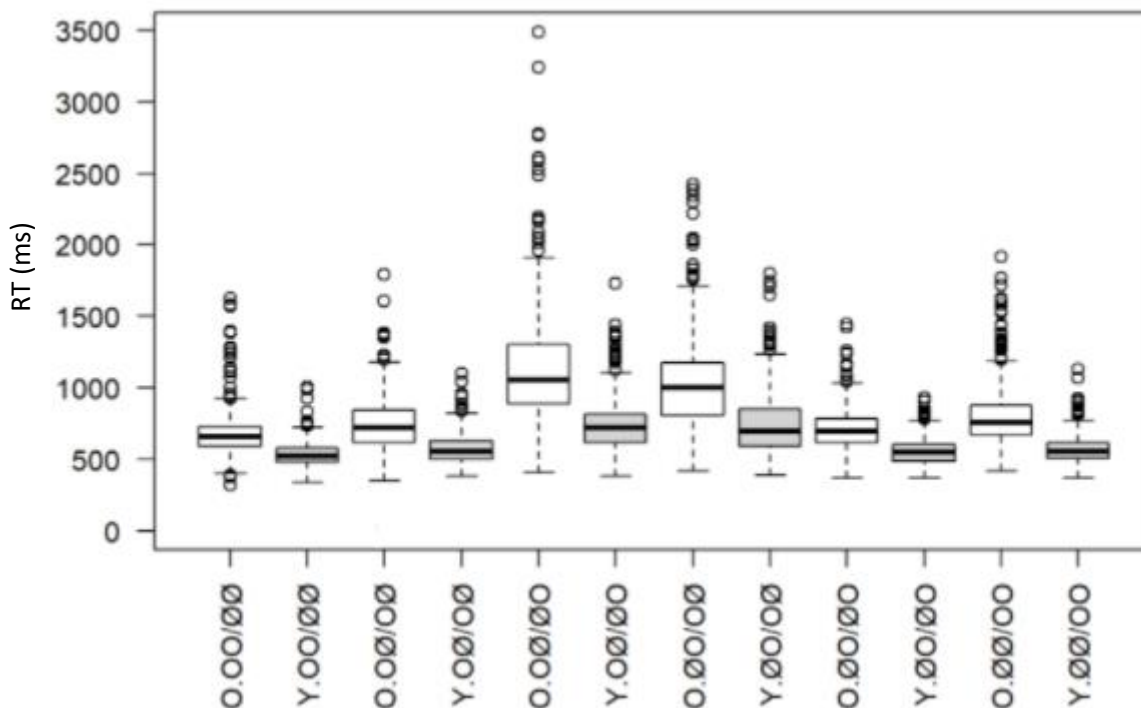
Waarden kleiner dan $p < 0.05$ zijn significant en zijn gemarkeerd met *

De gemiddelde leeftijd (\pm SD) bij de groep jongvolwassenen is 22.36 jaar (\pm 0.81) en bij de groep ouderen 71.56 jaar (\pm 3.13). Behalve voor alcoholconsumptie in de laatste 24 uur (p waarde =0,006) waren er geen verschillen in de participanten kenmerken tussen de groep jongvolwassenen en ouderen.

3.2 Data analyse

Figuur 3 geeft in boxplot diagrammen de RT (ms) weer voor elke combinatie en elke leeftijdsgroep. In de x-as staat de eerste letter voor de leeftijdsgroep. De letter 'Y' staat voor jongvolwassenen en de letter 'O' staat voor ouderen. De volgende symbolen in de x-as staat voor de type bewegingen. OO/ $\emptyset\emptyset$ staat voor een homologe beweging van de beide handen. $\emptyset\emptyset$ /OO staat voor een homologe beweging van de beide voeten. \emptyset O/O \emptyset staat voor een diagonale beweging van de rechter hand en linker voet. O \emptyset / \emptyset O staat voor een diagonale beweging van de linker hand en rechter voet. O \emptyset /O \emptyset staat voor een ipsilaterale beweging van de linker hand en linker voet. \emptyset O/ \emptyset O staat voor een ipsilaterale beweging van de rechter hand en rechter voet.

Fig. 3: Boxplot



Uit de analyse van de anderson-darling test kunnen we concluderen dat er geen normale verdeling is van zowel de RT bij ouderen ($p < 0.001$) als van de RT bij jongvolwassenen ($p < 0.001$), dit is ook reeds zichtbaar in de boxplot diagrammen (fig XXX). Omdat de gegevens van RT niet onafhankelijk zijn zullen we voor de uitkomstmaat RT gebruik maken van LMM voor de analyse. Bij de LMM zijn de fixed effects de leeftijdsgroep en het bewegingstype, het random effect is de code van de participant. Voor de LMM zal één resultaat geëxcludeerd worden op basis van anticipatie ($RT < 150\text{ms}$).

Voor de data analyse van accuraatheid zullen we gebruik maken van Fisher exact test. In totaal voerde elke participant 312 bewegingen uit. Van de 6240 observaties zijn er slechts 422 foute bewegingen gedetecteerd.

3.3 Uitkomstmaten

3.3.1 Reactietijd

De algemeen gemiddelde RT van jongvolwassenen is 617.04 ± 20.16 ms en van ouderen 858.59 ± 22.2 ms. De LMM heeft aangetoond dat er een significant verschil is van 241.55 ± 30.07 ms tussen de jongvolwassenen en de ouderen in hun RT ($p < 0.001$). De analyse heeft ook aangetoond dat er significante interactie is bij de leeftijdsgroepen en de verschillende groepen van bewegingen (homologe, diagonale en ipsilaterale) en de verschillende subtypes van beweging, deze tabel is terug te vinden in de bijlage (Tabel 2) .

Tabel 3: RT per leeftijdsgroep

Groep	Ouderen (n=9)	Jongvolwassenen (n=11)	P waarde
Homologe bewegingen (ms) \pm SD	743.73 \pm 22.97	549.74 \pm 20.74	<0.001*
OO/ $\emptyset\emptyset$ (ms) \pm SD	681.44 \pm 9.16	533.84 \pm 8.19	<0.001*
$\emptyset\emptyset$ /OO (ms) \pm SD	800.02 \pm 9.43	566.42 \pm 8.24	<0.001*
Diagonale bewegingen (ms) \pm SD	1099.67 \pm 23.07	737.30 \pm 20.78	<0.001*
$\emptyset O$ / $O\emptyset$ (ms) \pm SD	1042.09 \pm 9.75	740.15 \pm 8.44	<0.001*
$O\emptyset$ / $\emptyset O$ (ms) \pm SD	1137.02 \pm 9.80	736.84 \pm 8.41	<0.001*
Ipsilaterale bewegingen (ms) \pm SD	733.15 \pm 22.97	563.77 \pm 20.75	<0.001*
$O\emptyset$ / $O\emptyset$ (ms) \pm SD	747.84 \pm 9.33	572.36 \pm 8.26	<0.001*
$\emptyset O$ / $\emptyset O$ (ms) \pm SD	709.27 \pm 9.19	556.52 \pm 8.23	<0.001*

Waarden kleiner dan $p < 0.05$ zijn significant en zijn gemarkeerd met *

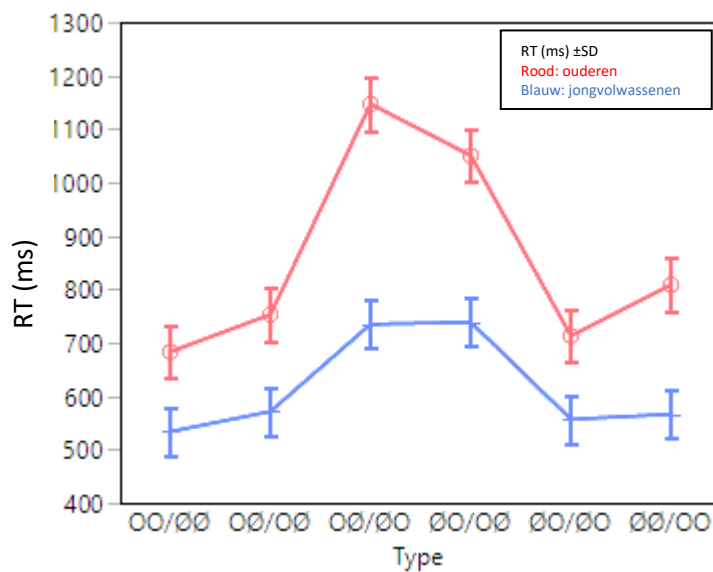
De gegevens over gemiddelde RT en SD van de homologe bewegingen en de beweging subtypes zijn terug te vinden in tabel 3. Uit de tabel blijkt dat jongvolwassenen een respons hebben die 193.99 ± 30.95 ms lager is dan die van ouderen voor de Homologe bewegingen. Dit verschil heeft een p-waarde van < 0.001 en is dus significant. De twee subtypes van beweging voor homologe bewegingen zijn OO/ $\emptyset\emptyset$ en $\emptyset\emptyset$ /OO. De gemiddelde RT voor OO/ $\emptyset\emptyset$ is 149.37 ± 32.22 ms lager voor jongvolwassenen dan voor ouderen. Dit is een significant verschil ($p < 0.001$). De gemiddelde RT voor $\emptyset\emptyset$ /OO is 242.05 ± 32.31 ms lager voor jongvolwassenen dan voor ouderen. Dit is een significant verschil ($p < 0.001$).

Er is ook een significant verschil aangetoond van 361.54 ± 30.96 ms tussen jongvolwassenen en ouderen ($p < 0.001$) voor diagonale bewegingen. De gemiddelde RT van jongvolwassenen is 361.46 ms lager als dat voor ouderen voor diagonale bewegingen. De twee subtypes van diagonale bewegingen zijn $\emptyset O$ / $O\emptyset$ en $O\emptyset$ / $\emptyset O$. De gemiddelde RT voor $\emptyset O$ / $O\emptyset$ is 311.86 ± 32.44 ms lager voor jongvolwassenen dan voor ouderen. De gemiddelde RT voor $O\emptyset$ / $\emptyset O$ is 412.47 ± 32.45 ms lager voor jongvolwassenen dan voor ouderen. Voor beide subtype beweging is dit verschil significant met beide een p waarde van < 0.001 . De gegevens over gemiddelde RT en SD van de diagonale bewegingen en de subtypes van beweging zijn terug te vinden in tabel 3.

De resultaten van de RT en de SD voor ipsilaterale bewegingen zijn terug te vinden in tabel 3. Er is een significant verschil aangetoond van 169.26 ± 30.85 ms tussen jong volwassenen en ouderen ($p < 0.001$). De gemiddelde RT van jongvolwassenen is 169.26 ± 30.85 ms lager dan die van ouderen voor diagonale bewegingen. De twee subtypes van beweging voor diagonale bewegingen zijn $O\emptyset/O\emptyset$ en $\emptyset O/\emptyset O$. De gemiddelde RT voor $O\emptyset/O\emptyset$ is 183.15 ± 32.28 ms lager voor jongvolwassenen dan voor ouderen. Dit is een significant verschil ($p < 0.001$). De gemiddelde RT voor $\emptyset O/\emptyset O$ is 156.34 ± 32.24 ms lager voor jongvolwassenen dan voor ouderen. Dit is een significant verschil ($p < 0.0001$).

Figuur 4 geeft de gemiddelde RT (ms) \pm SD weer voor elke combinatie en elke leeftijdsgroep (rood: ouderen en blauw: jongvolwassenen). Deze grafiek toont aan dat voor elke subtype van beweging jongvolwassenen een snellere RT hebben dan ouderen.

Figuur 4: Reactietijd per subtype



Tabel 4 geeft de resultaten weer van de Tukey HSD All Pairwise vergelijking. Hierbij wordt de RT tussen de bewegingsgroepen vergeleken per leeftijdsgroep (O: ouderen en Y: jongvolwassenen). Uit de tabel blijkt dat ouderen een significant verschil in RT hebben tussen ipsilaterale bewegingen en diagonale bewegingen ($p < 0.001$) en tussen diagonale bewegingen en homologe bewegingen ($p < 0.001$). Bij jongvolwassenen is er een significant verschil vastgesteld tussen de ipsilaterale bewegingen en diagonale bewegingen ($p < 0.001$) en tussen diagonale bewegingen en homologe bewegingen ($p < 0.001$).

Tabel 4 : RT per bewegingsgroep

Bewegingsgroep	Bewegingsgroep	P waarde
Ipsilateraal - O	Diagonaal - O	<0.001*
Ipsilateraal - O	Homoloog - O	0.817
Diagonaal - O	Homoloog - O	<0.001*
Ipsilateraal - Y	Diagonaal - Y	<0.001*
Ipsilateraal - Y	Homoloog - Y	0.479
Diagonaal - Y	Homoloog - Y	<0.001*

Waarden kleiner dan $p < 0.05$ zijn significant en zijn gemarkeerd met *

3.3.2 Accuraatheid

De analyse van de Pearson Chi-kwadraat test heeft aangetoond dat er een significant verschil in accuraatheid tussen de jongvolwassenen en de ouderen ($p < 0.001$). De gegevens over het aantal fouten per bewegingsgroep in functie van de leeftijdsgroepen zijn terug te vinden in tabel 5. Uit de tabel blijkt dat jongvolwassenen significant minder fouten maken dan ouderen voor de homologe bewegingen ($p < 0.001$), ipsilaterale bewegingen ($p = 0.001$) en de diagonale bewegingen ($p < 0.001$).

Tabel 5: Accuraatheid per leeftijdsgroep

Groep	Hoeveelheid fouten \pm SD (%) in ouderen	Hoeveelheid fouten \pm SD (%) in jongvolwassenen	P waarde
Homologe Bewegingen	65 \pm 25.33 (6.94%)	30 \pm 2.62 (2.62%)	<0.001*
Diagonale bewegingen	148 \pm 57.67 (15.81%)	84 \pm 7.34 (7.37%)	<0.001*
Ipsilaterale bewegingen	58 \pm 32.33 (6.20%)	37 \pm 3.23 (3.23%)	0.001*
Totaal	271 \pm 9.65 (9.65%)	151 \pm 4.40 (4.40%)	<0.001*

Waarden kleiner dan $p < 0.01$ zijn significant en zijn gemarkeerd met *

Tabel 6 geeft de resultaten weer van de accuraatheid van de beweingsgroepen vergeleken per leeftijdsgroep (O: ouderen en Y: jongvolwassenen), deze analyse is gebeurd met de Pearson Chi 2 test . Uit de tabel blijkt dat ouderen een significant verschil in accuraatheid vertonen tussen ipsilaterale bewegingen en diagonale bewegingen ($p < 0.001$) en tussen diagonale bewegingen en homologe bewegingen ($p < 0.001$). Bij jongvolwassenen is er een significant verschil vastgesteld tussen de ipsilaterale bewegingen en diagonale bewegingen ($p < 0.001$) en tussen diagonale bewegingen en homologe bewegingen ($p < 0.001$).

Tabel 6: Accuraatheid per bewegingsgroep

Bewegingsgroep	Bewegingsgroep	P waarde
Ipsilateraal - O	Diagonaal - O	<0.001*
Ipsilateraal - O	Homoloog - O	0.514
Diagonaal - O	Homoloog - O	<0.001*
Ipsilateraal - Y	Diagonaal - Y	<0.001*
Ipsilateraal - Y	Homoloog - Y	0.486
Diagonaal - Y	Homoloog - Y	<0.001*

Waarden kleiner dan $p < 0.008$ zijn significant en zijn gemarkeerd met *

4. Discussie

Het antwoord op de onderzoeksvraag ‘Wat zijn de effecten van leeftijd en complexiteit op reactietijd en accuraatheid van inter-lidmaat taken?’ komt overeen met de vooropgestelde hypothesen. Het is namelijk zo dat zowel leeftijd als niveau van complexiteit een negatief effect hebben op de RT, alsook de accuraatheid van inter-lidmaat taken. Dit antwoord moet echter voorzichtig benaderd worden omdat de steekproef binnen het onderzoek zeer klein was.

4.1 Relevantie

Voor de relevantie van dit artikel moeten we het grotere geheel bekijken van het onderzoek waar dit deel van uitmaakt. Men wil namelijk de effecten van een trainingsprogramma met behulp van tACS op inter-lidmaat coördinatie onderzoeken bij ouderen. Om dit onderzoek uit te voeren zijn eerst bepaalde gegevens nodig, hieronder horen bijvoorbeeld de RT en hersengebieden die actief zijn tijdens inter-ledemaat taken.

4.2 Voornaamste bevindingen

De hypothesen die werden opgesteld zijn bevestigd door de bevindingen, zo is RT in het algemeen voor inter-ledemaat taken groter bij ouderen dan bij jongvolwassenen. In eerder onderzoek zijn overeenstemmende resultaten gevonden, zo bleek uit het onderzoek van Dykiert et al. dat RT groter wordt bij een hogere leeftijd, dit voor zowel simpele als keuze RT (Dykiert et al., 2012). Een ander onderzoek (Shammi et al., 1998) vond dat er geen verschil was in RT tussen leeftijdsgroepen behalve voor keuze-RT taken. Deze keuze-RT was groter bij een hogere leeftijd, ook deze bevinding stemt overeen met de resultaten in het huidige onderzoek. Ook zien we dat een hogere graad van complexiteit een invloed heeft op de RT. Bij zowel de jongvolwassenen als de ouderen is de RT van diagonale bewegingen significant groter dan zowel ipsilaterale als homologe bewegingen. Het verschil in RT tussen ipsilaterale en homologe bewegingen was niet significant. Het onderzoek van Darbutas et al. Beschreef ook een verhoogde RT bij een hogere graad van complexiteit. Wel werd bij Darbutas et al. Een andere vorm van complexiteit bekeken, namelijk dominante zijde vs niet-dominante zijde en bovenste lidmaat vs onderste lidmaat (Darbutas et al., 2013). Een mogelijke verklaring voor de vergrote RT bij ouderen is de verslechterde prikkelgeleiding en communicatie tussen

hersengebieden die optreedt door aantasting van grijze en witte materie als gevolg van verminderde doorbloeding (Xiong & Mok, 2011). Een andere mogelijke verklaring is de eerder vermelde compensatie-dedifferentiatie theorie (Heuninckx et al., 2008). Een mogelijke verklaring voor de invloed van complexiteit op de RT is beschreven door Boisgontier et al. (Boisgontier et al., 2014). het vermelde onderzoek vermoedt dat een grotere neurale koppeling en kleinere functionele afstand tussen hersengebieden een invloed hebben op RT. Dit wil zeggen dat ipsilaterale en homologe taken (grote neurale koppeling en kleine functionele afstand), minder complex zijn en dus een kortere RT hebben dan diagonale bewegingen. Wat we ook zien is dat er interactie is tussen de leeftijdsgroep en de graad van complexiteit, dit wil zeggen dat het verschil in RT tussen de verschillende graden van complexiteit beïnvloed wordt door de leeftijd. We zien hierbij dat de verschillen groter zijn bij de ouderen.

Voor accuraatheid zien we ook dat de hypothese bevestigd wordt, namelijk dat jongvolwassen de opdrachten vaker correct uitvoeren dan ouderen. Ook zien we bij accuraatheid dat de graad van complexiteit van de beweging een invloed heeft op het aantal correct uitgevoerde bewegingen, zo is de accuraatheid van diagonale bewegingen het laagst en ligt deze bij homologe en ipsilaterale bewegingen gelijk. De invloed van de graad van complexiteit op accuraatheid is zeer vergelijkbaar met zijn invloed op RT. Zo zien we opnieuw bij zowel de jongvolwassenen als bij de ouderen dat bij diagonale bewegingen significant meer fouten worden gemaakt dan bij ipsilaterale en homologe bewegingen. Het verschil tussen ipsilaterale en homologe bewegingen is niet significant. Vaportzis et al. vonden gelijkaardige resultaten, namelijk dat zowel de leeftijd als een verhoogde graad van complexiteit een negatief effect hebben op de accuraatheid van taken. De redenering die in het onderzoek gemaakt wordt is dat de verhoogde RT een gevolg is van algemene cognitieve vertraging, een normaal leeftijdsgerelateerd fenomeen. Door deze cognitieve vertraging zullen de ouderen inleveren op hun accuraatheid om de opdracht toch zo snel mogelijk uit te voeren (Vaportzis et al., 2013).

4.3 (In)consistenties

De bekomen resultaten blijken consistent te zijn met voorgaand onderzoek, zo vond men in het onderzoek van Darbutas et al. ook dat RT verhoogd was bij ouderen dan bij jongvolwassenen, ook vond men hier dat bij een hogere graad van complexiteit de resultaten duidelijker worden. Ook in het onderzoek van Mattay et al. werd gevonden dat bij een motorische taak de RT groter was bij ouderen (Darbutas et al., 2013; Mattay et al., 2002).

4.4 sterktes en zwaktes

Een eerste sterkte van het onderzoek is dat de resultaten binnen het onderzoek zijn afgenomen via software, hierdoor zijn resultaten niet beïnvloed door de onderzoekers. Ook is de taakuitleg steeds door dezelfde onderzoeker gegeven en dus consistent voor alle participanten. Een laatste sterkte is dat de statistische analyse door de verschillende onderzoekers is uitgevoerd, hierdoor is er een controle op de analyse.

Een duidelijke zwakte van het onderzoek is de zeer kleine steekproef, om meer betrouwbare resultaten te bekomen zou het onderzoek uitgevoerd moeten worden met grotere groepen deelnemers. In deze kleine steekproef zijn een aantal outliers die niet uit de data verwijderd zijn, dit was een bewuste keuze om de steekproef niet nog verder te verkleinen. Ook zou het interessant zijn om het onderzoek nuchter uit te voeren, in de huidige context is het mogelijk dat er een invloed is van verschillende factoren zoals alcoholconsumptie of cafeïnegebruik. Aangezien alcoholconsumptie de RT vergroot en accuraatheid verlaagt (Anderson et al., 2010) zou bij een nuchter onderzoek mogelijk een kortere RT en hogere accuraatheid zijn. Ook is het gekend dat cafeïnegebruik de RT verkort (Smith, 2002) hierdoor zou bij een nuchter onderzoek de RT mogelijk groter zijn dan wanneer cafeïnegebruik toegestaan wordt. Het activiteitsniveau van de deelnemers is niet bevraagd of bekeken, dit zorgt ervoor dat mogelijk meer of minder actieve personen hebben deelgenomen. Bij een ideale steekproef is hier een mooie verdeling van maar we weten in dit onderzoek dus niet wat het activiteitsniveau van de deelnemers is. Dit is mogelijk een interessante factor voor toekomstig onderzoek aangezien het activiteitsniveau een invloed heeft op reactiesnelheid (Spirduso, 1980).

4.5 Aanbevelingen

Voor verder onderzoek bevelen we aan om gelijkaardig te werken maar met een veel grotere steekproef, op deze manier kunnen de resultaten al dan niet bevestigd worden met kwalitatief beter onderzoek. Ook zijn we geïnteresseerd naar eventuele effecten van hoeveelheid slaap, cafeïne-consumptie, alcoholconsumptie en gender op de RT en accuraatheid in deze context.

5. Conclusie

Deze studie toont aan dat jongvolwassenen gemiddeld een significant kortere RT hebben dan ouderen. Jongvolwassenen hebben ook gemiddeld een significant kortere RT dan ouderen per bewegingstype (Homo/Ipsi/Diag) en voor alle subtypes van de bewegingen. Jongvolwassenen hebben een significant hogere nauwkeurigheid dan oudere proefpersonen.

Zowel jongvolwassenen als ouderen hebben een significant grotere RT voor diagonale bewegingen dan voor ipsilaterale en homologe bewegingen. Ook de accuraatheid van diagonale bewegingen is significant lager dan voor ipsilaterale en homologe bewegingen bij zowel jongvolwassenen als ouderen.

We kunnen dus concluderen dat leeftijd, alsook complexiteit van taken, een negatief effect hebben op RT en accuraatheid bij keuze-RT taken.

6. Bijlagen

Tabel 2: Interacties LMM RT

Gefixeerde effecten	P-waarde
Leeftijdsgroep	<0.001*
Bewegingsgroep	<0.001*
Bewegingstype	<0.001*
Leeftijdsgroep* Bewegingsgroep	<0.001*
Leeftijdsgroep* Bewegingstype	<0.001*

7. Afkortingen

Tabel 7: gebruikte afkortingen in volgorde van voorkomen

Aforting	Betekenis
Drs.	Doctorandus
Dr.	Doctor
ADL	Algemeen dagelijkse levensverrichtingen
RT	Reactietijd
UHasselt	Universiteit van Hasselt
tACS	Transcranial alternating current stimulation
MLT	Multi-limb reaction time task
SD	Standaarddeviatie
MoCA	Montreal Cognitive Assessment questionnaire
EEG	Elektro-encefalografie
BTT	Bimanual tracking task
Ms	Milliseconden
LMM	Lineair gemengd modellering

8. Referenties

- Anderson, B. M., Stevens, M. C., Meda, S. A., Jordan, K., Calhoun, V. D., & Pearlson, G. D. (2010). Functional Imaging of Cognitive Control During Acute Alcohol Intoxication. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 35(1), 156–165. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.2010.01332.x>
- Boisgontier, M. P., Wittenberg, G. F., Fujiyama, H., Levin, O., & Swinnen, S. P. (2014). Complexity of central processing in simple and choice multilimb reaction-time tasks. *PLoS One*, 9(2), e90457. doi:10.1371/journal.pone.0090457
- Cahill, L. (2005). His brain, her brain. *Scientific American*, 292(5), 40-47.
- Camarano, A. A. (2016). Living longer: are we getting older or younger for longer? *Vibrant: Virtual Brazilian Anthropology*, 13(1), 155-175.
- Darbutas, T., Juodžbalienė, V., Skurvydas, A., & Kriščiūnas, A. (2013). Dependence of reaction time and movement speed on task complexity and age. *Medicina (Kaunas)*, 49(1), 18-22.
- Donders, F. C. (1969). On the speed of mental processes. *Acta Psychol (Amst)*, 30, 412-431. doi:10.1016/0001-6918(69)90065-1
- Dutta, G. G., Freitas, S. M. S. F., & Scholz, J. P. (2013). Diminished joint coordination with aging leads to more variable hand paths. *Human movement science*, 32(4), 768-784.
- Dykiert, D., Der, G., Starr, J. M., & Deary, I. J. (2012). Age Differences in Intra-Individual Variability in Simple and Choice Reaction Time: Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS ONE*, 7(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045759>
- Eurostat. (2021). Eurostat. <https://ec.europa.eu/eurostat>
- Heuninckx, S., Wenderoth, N., & Swinnen, S. P. (2008). Systems Neuroplasticity in the Aging Brain: Recruiting Additional Neural Resources for Successful Motor Performance in Elderly Persons. *Journal of Neuroscience*, 28(1), 91–99. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.3300-07.2008>
- Hick, W. E. (1952). On the Rate of Gain of Information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4(1), 11–26. <https://doi.org/10.1080/17470215208416600>
- Jensen, A. R. (1993). Why is reaction time correlated with psychometric g? *Current Directions in Psychological Science*, 2(2), 53-56.
- Jensen, A. R. (2006). *Clocking the mind: Mental chronometry and individual differences*: Elsevier.
- Kelso, J. S., Southard, D. L., & Goodman, D. (1979). On the coordination of two-handed movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5(2), 229.
- Leenus, D. J., Cuypers, K., Vanvlijmen, D., & Meesen, R. L. (2015). The effect of anodal transcranial direct current stimulation on multi-limb coordination performance. *Neuroscience*, 290, 11-17. doi:10.1016/j.neuroscience.2014.12.053
- Marrelec, G., Krainik, A., Duffau, H., Péligrini-Issac, M., Lehericy, S., Doyon, J., & Benali, H. (2006). Partial correlation for functional brain interactivity investigation in functional MRI. *Neuroimage*, 32(1), 228-237. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.12.057
- Mattay, V. S., Fera, F., Tessitore, A., Hariri, A. R., Das, S., Callicott, J. H., & Weinberger, D. R. (2002). Neurophysiological correlates of age-related changes in human motor function. *Neurology*, 58(4), 630–635. <https://doi.org/10.1212/wnl.58.4.630>
- Oldfield RC (1971) The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9:97-113.
- Philipp, A. M., & Koch, I. (2011). The role of response modalities in cognitive task representations. *Adv Cogn Psychol*, 7, 31-38. doi:10.2478/v10053-008-0085-1
- Plotnik, M., Giladi, N., Dagan, Y., & Hausdorff, J. M. (2011). Postural instability and fall risk in Parkinson's disease: impaired dual tasking, pacing, and bilateral coordination of gait during the "ON" medication state. *Experimental Brain Research*, 210(3-4), 529-538.

- Schmidt, R. A., Lee, T. D., Winstein, C., Wulf, G., & Zelaznik, H. N. (2018). *Motor control and learning: A behavioral emphasis*: Human kinetics.
- Shammi, P., Bosman, E., & Stuss, D. T. (1998). Aging and Variability in Performance. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 5(1), 1–13. <https://doi.org/10.1076/anec.5.1.1.23>
- Smith, A. (2002). Effects of caffeine on human behavior. *Food and Chemical Toxicology*, 40(9), 1243–1255. [https://doi.org/10.1016/s0278-6915\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/s0278-6915(02)00096-0)
- Spiriduso, W. W. (1980). Physical Fitness, Aging, and Psychomotor Speed: A Review. *Journal of Gerontology*, 35(6), 850–865. <https://doi.org/10.1093/geronj/35.6.850>
- Swinnen, S. P., Jardin, K., Meulenbroek, R., Dounskaia, N., & Den Brandt, M. H.-V. (1997). Egocentric and allocentric constraints in the expression of patterns of interlimb coordination. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(3), 348-377.
- Swinnen, S. P., & Wenderoth, N. (2004). Two hands, one brain: cognitive neuroscience of bimanual skill. *Trends Cogn Sci*, 8(1), 18-25. doi:10.1016/j.tics.2003.10.017
- Taub, E., Ramey, S. L., DeLuca, S., & Echols, K. (2004). Efficacy of constraint-induced movement therapy for children with cerebral palsy with asymmetric motor impairment. *Pediatrics*, 113(2), 305-312.
- Vaportzis, E., Georgiou-Karistianis, N., & Stout, J. C. (2013). Age and task difficulty differences in dual tasking using circle tracing and serial subtraction tasks. *Aging Clinical and Experimental Research*, 26(2), 201–211. <https://doi.org/10.1007/s40520-013-0151-5>
- Wu, C.-y., Chen, C.-l., Tsai, W.-c., Lin, K.-c., & Chou, S.-h. (2007). A randomized controlled trial of modified constraint-induced movement therapy for elderly stroke survivors: changes in motor impairment, daily functioning, and quality of life. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88(3), 273-278.
- Xiong, Y. Y., & Mok, V. (2011). Age-related white matter changes. *Journal of aging research*, 2011.