

Onderzoeksverslag *Junior Med School* / profielwerkstuk VWO-6

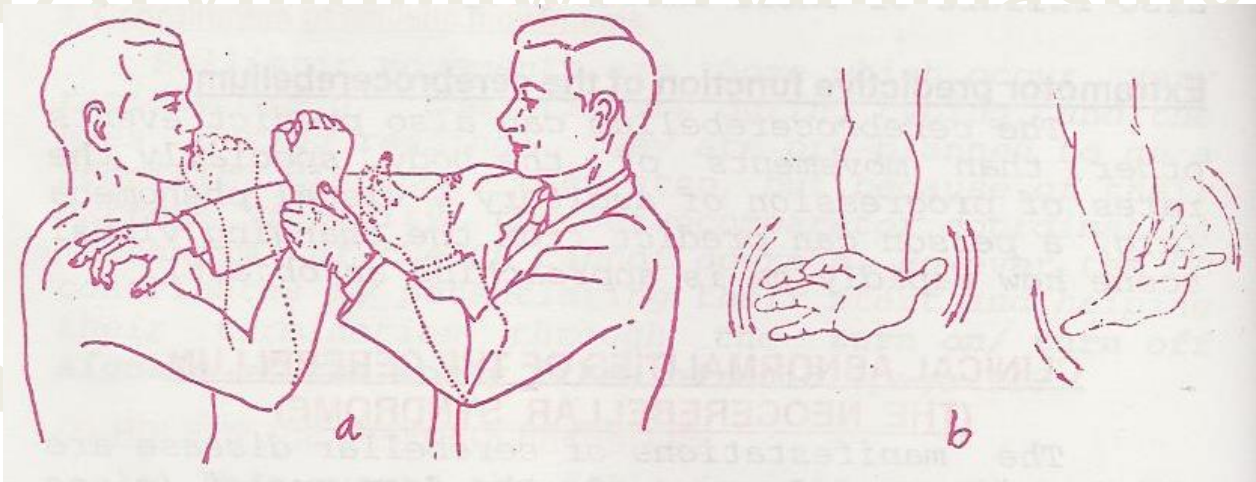
De invloed van handdominantie op korte termijn leereffecten van armbewegingen

Joris S. Teunissen¹ en David Liu²

¹ *Van Maerlant Lyceum, Eindhoven;* en ² *Jan van Brabant College Molenstraat, Helmond*

Juni – Oktober 2014

Dit onderzoek is uitgevoerd op de afdeling Neuroscience van het Erasmus MC te Rotterdam
onder begeleiding van T. Hulst, MSc.



Inhoudsopgave

Samenvatting.....	- 3 -
1 Inleiding.....	- 4 -
1.1 Erasmus MC <i>Junior</i> Med School	- 4 -
1.2 Het programma van de <i>Junior</i> Med School	- 4 -
1.3 Het onderzoeksproject	- 5 -
1.3.1 Introductie en functie van de kleine hersenen	- 5 -
1.3.2 Onderzoek naar de kleine hersenen binnen de afdeling Neuroscience.....	- 6 -
1.3.3 Definitie van de onderzoeksvragen en hypothesen	- 6 -
2 Methode.....	- 8 -
2.1 Deelnemers.....	- 8 -
2.2 Experimentele opzet.....	- 10 -
2.3 Experimentele taak.....	- 11 -
2.4 Type trails	- 12 -
2.5 Opdeling van het experiment in blokken	- 12 -
2.5.1 Baseline blok.....	- 12 -
2.5.2 Trainingsblokken.....	- 13 -
2.5.3 Retentie (rust) blok.....	- 13 -
2.5.4 Testblokken	- 13 -
2.5.5 Wash-out blok	- 13 -
2.6 Data analyse	- 13 -
3 Resultaten.....	- 15 -
3.1 Statistische analyse voor de baseline, wash-out en trainingsblokken	- 15 -
3.2 Baseline & wash-out blokken	- 16 -
3.2.1 Baseline blok.....	- 16 -
3.2.2 Wash-out blok	- 17 -
3.3 Trainingsblokken.....	- 18 -
3.3.1 Aiming error.....	- 18 -
3.3.2 Final error	- 19 -
3.4 Testblokken	- 21 -
4 Discussie	- 22 -
4.1 Tegenspraak met het “dynamic dominance” model.....	- 22 -
4.2 Geen invloed van specialisatie op retentie van aangeleerde bewegingen	- 24 -
4.3 Bevestiging van het voorspelde “interlimb transfer” effect	- 24 -

5	Conclusies	- 24 -
6	Dankwoord	- 25 -
7	Referentielijst	- 25 -
8	Bijlage I: Edinburgh test voor handdominantie.....	- 27 -
9	Bijlage II: Grafieken met de resultaten van de testblokken	- 28 -

Samenvatting

Dit onderzoeksverslag vormt de eindopdracht van het *Junior Med School* programma. Het onderzoek en de experimenten zijn uitgevoerd op de afdeling Neuroscience van het Erasmus MC te Rotterdam. Het doel van dit onderzoek is de invloed van handdominantie op korte termijn leereffecten van armbewegingen beter te begrijpen. Hiervoor bekijken wij de invloed van handdominantie op een specifieke motorische taak en proberen we het “dynamic dominance” model uit te breiden met kennis over de retentie van geleerde armbewegingen. We hebben na literatuuronderzoek een viertal hypothesen opgesteld, die wij hebben getest met een motorisch leren experiment:

- 1) Na training zal de getrainde dominante arm een rechter traject uitvoeren dan de getrainde niet-dominante arm
- 2) Na training zal de getrainde niet-dominante arm preciezer een eindpositie bereiken dan de getrainde dominante arm
- 3) Een arm zal de gespecialiseerde aspecten van de aangeleerde bewegingen het langst behouden
- 4) Een armbeweging wordt beter onthouden door de arm waarmee direct geoefend is dan door de arm die indirect is getraind door middel van “interlimb transfer”

De geplande periode voor dit onderzoek was vier weken. Door waterlekkage in het Erasmus MC tijdens de onderzoeksperiode is de experimentele apparatuur beschadigd geraakt, waardoor het experiment meer dan een week vertraging heeft opgelopen. Omdat de experimentele apparatuur na de beschadiging niet volledig meer functioneerde, moesten wij de methode voor het uitvoeren van de experimenten aanpassen en was er niet voldoende tijd over om het gewenste aantal proefpersonen te behalen. Ook de verslaglegging en de data-analyse hebben daardoor buiten de periode van 4 aaneengesloten weken plaatsgevonden.

De belangrijkste bevindingen van dit onderzoek zijn:

- De deelnemers die hadden getraind met de dominante arm bereikten een rechter traject (kleinere aiming error) dan de deelnemers die hadden getraind met de niet-dominante arm ($p=0.0336$). Dit is in overeenstemming met de eerste hypothese. Bij spiegeling van de visuomotor rotation hoek bereikten de deelnemers met de getrainde niet-dominante arm echter een kleinere aiming error, al was dit effect niet statistisch significant ($p=0.3130$). Hypothese 1 moet dus worden verworpen; beide groepen lijken, gemiddeld genomen, even goed te presteren.
- Voor de final error zijn er geen statistisch significante effecten gevonden tussen de groepen ($p>0.05$). Ook hypothese 2 moet dus worden verworpen.
- De derde hypothese doet een uitspraak over een mogelijke implicatie van de “dynamic dominance” theorie over retentie van aangeleerde bewegingen. Volgens onze hypothese zal een arm de aspecten van de aangeleerde bewegingen waarin de bijbehorende hersenhelft gespecialiseerd is het langst behouden. Training met de dominante hand zou dus moeten resulteren in een beter onthouden beginhoek, terwijl training met de niet-dominante hand juist zou moeten resulteren in een betere retentie van de eindpositie. Er werd echter geen significant verschil gevonden tussen de twee groepen ($p>0.05$). Het “dynamic dominance” model kan dus niet worden uitgebreid door te kijken de relatieve retenties van alle situaties.
- Een armbeweging wordt het best onthouden door de arm waarmee de beweging direct geoefend is. Dit is onze hypothese over het effect van “interlimb transfer” bij het aanleren van nieuwe bewegingen. “Interlimb transfer” is volgens de vierde hypothese dus zwakker dan direct leren wat wordt bevestigd met een hoge statistische significantie ($p<0.0001$). De vierde hypothese is hierbij met deze studie bevestigd.

1 Inleiding

1.1 Erasmus MC *Junior Med School*

In deze paragraaf wordt het concept van de *Junior Med School* toegelicht en in de volgende paragraaf (1.2) het programma wat wij hebben gevolgd. Voor deze twee paragrafen zijn voornamelijk delen uit de brochure over de *Junior Med School* van het Erasmus MC overgenomen met hier en daar een aanpassing.



Het Erasmus MC biedt circa twintig zeer getalenteerde VWO-leerlingen uit heel Nederland de kans om zich gedurende VWO-5 en VWO-6 wetenschappelijk te scholen, en zelf onderzoek te verrichten in de *Junior Med School*. Het programma is pittig met een hoog, uitdagend niveau: de minimale studiebelasting is 2 x 160 uur. De selectie is dan ook streng. Iedere school mag per studiejaar maximaal twee VWO-4 leerlingen voordragen. Alle voorgedragen leerlingen (in totaal ongeveer 240) moeten hun rapportcijfers, hun CV en een motivatiebrief digitaal inleveren. Na evaluatie van deze criteria nodigt het Erasmus MC vervolgens circa 40 leerlingen uit voor een gesprek, waarna de definitieve selectie volgt. Wel logisch dat de selectie streng is, want de *Junior Med School* maakt het mogelijk om al in VWO-5 te starten met de opbouw van een carrière als arts-onderzoeker. Dit is uniek in Nederland!

Na succesvolle voltooiing van de *Junior Med School* en het behalen van het VWO-diploma kan de leerling bovendien, zonder loting of deelname aan de decentrale selectie, instromen in de studie Geneeskunde aan het Erasmus MC. Tijdens de zesjarige studie wordt veel aandacht geschonken aan de wetenschappelijke aspecten van de geneeskunde. Artsen die naast hun werk in de kliniek wetenschappelijk onderzoek doen, kunnen immers een grote bijdrage leveren aan de ontwikkeling van een betere diagnose en behandeling van ziekte.

Junior Med School is dé kans voor excellente VWO-leerlingen om kennis te maken met wetenschappelijk onderzoek. Het is de eerste fase van het opleidingstraject van het Erasmus MC waarin geneeskunde studenten naast hun studie één van de researchmaster opleidingen volgen, om na promotie en specialisatie hun carrière te vervolgen als arts-onderzoeker.

1.2 Het programma van de *Junior Med School*

Het programma loopt parallel aan VWO-5 en VWO-6 en bestaat uit vier onderdelen:

1. Summer School, een periode van twee weken in de zomervakantie van VWO-4 naar VWO-5: met laboratoriumdemonstraties/practica, het bezoeken van poliklinieken en onder andere colleges over de volgende onderwerpen:

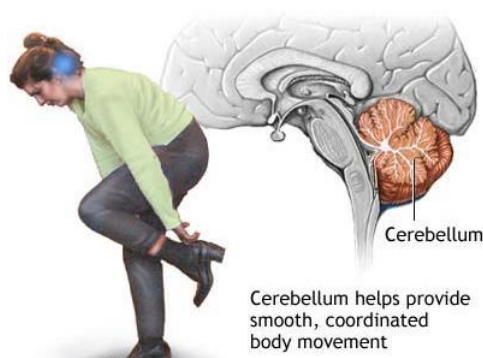
- Wat is onderzoek en waarom doe je het eigenlijk?
 - Het hart
 - Hormonale regulatie
 - Kanker
 - Klinisch genetisch onderzoek
2. Onderwijs & Onderzoek, tijdens VWO-5: tien dagen onderwijs en onderzoek (onder schooltijd) bij verschillende onderzoeksgroepen binnen het Erasmus MC over de volgende onderwerpen:
 - Erfelijkheid van hart- en vaatziekten
 - Beelden in de kliniek
 - De hersenen
 - Farmacologie
 - Orgaantransplantatie
 3. Onderzoek, in de zomervakantie van VWO-5 naar VWO-6: vier weken (of langer) onderzoek bij een onderzoeksgroep op basis van een eigen onderzoeksvoorstel.
 4. Rapportage & Presentatie: schrijven van een onderzoeksverslag (eventueel dienend als het profielwerkstuk) en presenteren van de uitkomsten op de laatste *Junior Med* Schooldag.

1.3 Het onderzoeksproject

Dit onderzoek is opgezet en verricht binnen het *Junior Med School* programma van het Erasmus MC op de afdeling Neuroscience onder begeleiding van T. Hulst, MSc. Het doel van dit onderzoek is de invloed van handdominantie op korte termijn leereffecten van armbewegingen beter te begrijpen. Hierbij spelen onder andere de kleine hersenen en de motor cortex een belangrijke rol.

1.3.1 Introductie en functie van de kleine hersenen

De kleine hersenen, ofwel het cerebellum, is een compacte structuur van hersencellen die zich achter de grote hersenen bevindt en zijn een onderdeel van het centrale zenuwstelsel (zie Figuur 1). Ze zijn ontwikkeld uit de achterhersenen en bestaan uit twee helften die ongeveer de grootte van een tennisbal hebben. Ze nemen ongeveer tien procent van het totale hersenvolume in. De belangrijkste functie van de kleine hersenen is de coördinatie van bewegingen om ze vlot en nauwkeurig te maken. De kleine hersenen zijn constant aan het werk om onze bewegingen en onze omgeving te evalueren en hierop kleine en gerichte aanpassingen in onze bewegingen te maken. Ze zijn dus voor de fijne afstelling tussen waarneming en beweging en dienen als schakelcentrum voor de aansturing van spieren. Ook het automatische proces van het leren van een nieuwe beweging wordt voornamelijk in gang gezet door de kleine hersenen. Dit alles gebeurt onbewust, je hoeft hiervoor niet direct mee bezig te zijn. Schade aan de kleine hersenen leidt tot schokkerige bewegingen en kan ook evenwichtsproblemen geven. De kleine hersenen zijn een van de eerste structuren die beïnvloed worden door alcohol, wat de bewegingsproblemen bij dronkenschap verklaard.



Figuur 1: Positie en functie van de kleine hersenen (cerebellum).
(foto van: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/imagepages/18008.htm>)

1.3.2 Onderzoek naar de kleine hersenen binnen de afdeling Neuroscience

In het laboratorium van de afdeling Neuroscience wordt veel fundamenteel onderzoek verricht. Er wordt onder andere onderzocht hoe de kleine hersenen iemand precies in staat stellen om snel een nieuwe beweging te leren. Deze kennis is onder andere waardevol voor de behandeling van mensen met motorische problemen door een defect in de kleine hersenen, bijvoorbeeld na een beroerte, of de revalidatie van mensen na een ernstig ongeluk. Tevens vertelt het onderzoek iets over de opbouw van het motorische systeem in het menselijk lichaam, kennis die kan worden toegepast in de robotica en het ontwikkelen van protheses.

Er wordt op de afdeling ook gebruik gemaakt van een zogenaamde “horizontal two-joint manipulandum” robot om het leren van een beweging te onderzoeken. Een mogelijke uitvoering van deze robot is weergegeven in de afbeelding hieronder (zie Figuur 2). Met de robot kunnen proefpersonen een nieuwe beweging aanleren en daarbij kan het leerproces heel nauwkeurig worden meten. Een soortgelijke robot mochten wij voor ons onderzoek gebruiken.

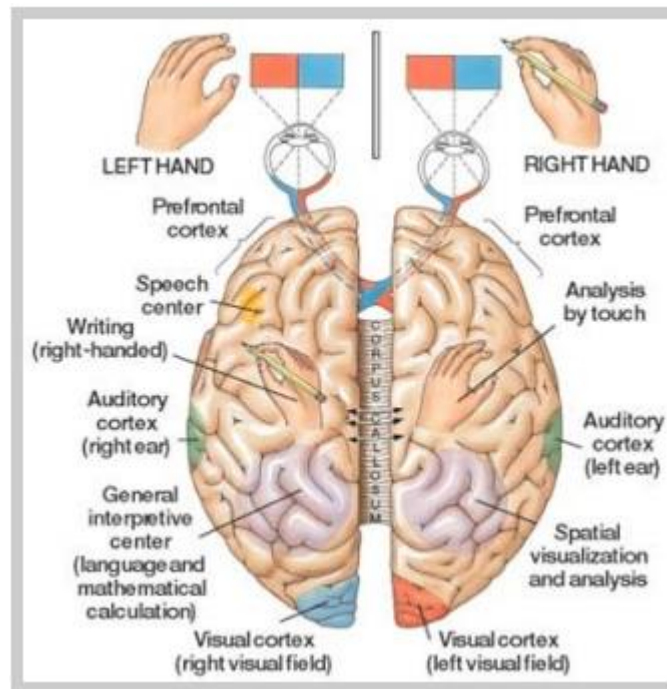


Figuur 2: Foto van een zogenaamde “horizontal two-joint manipulandum” robot om het leren van armbewegingen te onderzoeken (Foto uit het artikel van Howard, *et al.*, 2009).

1.3.3 Definitie van de onderzoeksvragen en hypotheses

Het uitvoeren van bewegingen, zoals het oppakken van een glas water of het snijden van een brood, gaat in het dagelijks leven direct gepaard met het leren en onthouden van die bewegingen. Op deze manier kunnen mensen zich snel en flexibel aanpassen aan een nieuwe situatie. Voor neurologisch gezonde individuen verloopt dit proces vrijwel automatisch en onbewust (via de kleine hersenen).

Het is bekend dat het uitvoeren van bewegingen wordt beïnvloed door de mate van handdominantie (Case *et al.*, 2008). Zo zijn er mensen die rechtshandig zijn, dat wil zeggen dat deze mensen bewegingen vaker en beter rechtshandig uitvoeren, en zijn er mensen die linkshandig zijn. Bij rechtshandigheid wordt de dominante (rechter) hand voornamelijk geregeld door de contralaterale (linker) hemisfeer, terwijl de niet-dominante (linker) hand wordt gecontroleerd door zowel de linker als de rechter hemisfeer. Dit geldt met name bij complexe bewegingen (Gut, *et al.*, 2007). Een schematische voorstelling van de twee hersenhelften met hun voornaamste functies is weergegeven in figuur 3.



Figuur 3: Schematische voorstelling van de twee hersenhelften met hun voornaamste functies bij iemand die rechtshandig is (figuur van <http://www.rightleftwrong.com/brain.html>).

Bij rechtshandige mensen is de dominante (linker) hersenhelft fysiek vaak groter en meer ontwikkeld. De primaire motorische cortex, het hersengebied dat het meest direct betrokken is bij de controle van verplaatsingen, is ook groter, dikker en gevoeliger in de linker hersenhelft. De linker hersenhelft is typisch complexer, met een grotere cel-dichtheid en sterkere neurale verbindingen, met als gevolg een snellere responstijd en een grotere mogelijkheid om snelle stimuli te verwerken. Desondanks is het brein van een linkshandige niet perse het spiegelbeeld van de hersenen van een rechtshandige. Bij linkshandigen is de motorische cortex ook meestal groter in de tegenovergestelde rechterhersenhelft, zoals te verwachten, maar het onderscheid is niet zo duidelijk als bij rechtshandigen. In feite zijn de hersenhelften van linkshandigen vaak veel meer symmetrisch en evenwichtiger dan die van rechtshandigen en zijn de verschillen tussen de hersenhelften minder uitgesproken. Linkshandigen zijn daarom in veel aspecten tegenovergesteld aan rechtshandigen. Echter, uit onderzoek bleek dat linkshandigen niet helemaal complementair aan rechtshandigen zijn en dominantie zich niet op dezelfde manier uit (Knecht et al., 2000). De bevindingen voor rechtshandigen zijn daarom niet noodzakelijk één-op-één toepasbaar voor linkshandigen.

Niet alleen het uitvoeren van bewegingen, maar ook het leren van motorische taken blijkt niet symmetrisch te zijn voor beide armen. Lateralisatie, de fase in de ontwikkeling waarbij de linker- of rechterhersenhelft zijn dominantie of specialisme krijgt, leidt tot specialisatie van bepaalde hersenhelften in verschillende aspecten van beweging (Duff & Sainburg, 2007). Volgens een recent model over handdominantie, het "dynamic dominance" model is de dominante hersenhelft gespecialiseerd in het uitvoeren en aanpassen van geplande beweging tijdens de uitvoering zelf, wat leidt tot een effectievere beweging ten opzichte van de niet-dominante hersenhelft. In plaats van het uitvoeren van de motorische taak heeft de niet-dominante hersenhelft voordeel bij het blokkeren en afremmen van bewegingen wat een stabiele eindpositie mogelijk maakt (Shabbott & Sainburg, 2008).

Handdominantie is een verklaring voor vele motorische gewoonten. Een voorbeeld vinden we in het snijden van brood, dat bij rechtshandigen meestal gebeurt door het vast te houden met links en te snijden met rechts. Deze handeling is logisch als we beredeneren dat iedere arm gespecialiseerd is in bepaalde aspecten van beweging. Voor het voorbeeld van brood snijden kan al meteen worden opgemerkt dat de

niet-dominante arm de positie van het brood stabiliseert. Verder is in overeenstemming met de theorie dat de dominante arm de dynamische beweging, in dit geval het snijden van brood met een mes, uitvoert.

Daarnaast hebben de twee hersenhelften invloed op elkaar, waardoor heeft het leren van een motorische taak met één arm meteen effect op de andere arm. Wat de passieve arm leert van de actieve arm hangt af van de specialisatie in de hersenhelft die de passieve arm aanstuurt. Dit proces wordt “interlimb transfer” genoemd en blijkt ook niet symmetrisch te zijn voor beide hersenhelften (Wang & Sainburg, 2006). Het leren met alleen de dominante hand zorgt voor een preciezer eindpositie van dezelfde beweging uitgevoerd door de niet-dominante hand, terwijl het leren met de niet-dominante hand leidt tot een betere dynamisch beweging. De dominante arm zal dus een rechter traject kunnen uitvoeren nadat een beweging alleen is geoefend met de niet-dominante arm. Daar tegenover zal de niet-dominante arm een preciezer eindpositie bereiken als er puur met interlimb transfer wordt geleerd, door oefening met de dominante arm.

Om de invloed van handdominantie op korte termijn leereffecten van armbewegingen te bestuderen wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde “horizontal two-joint manipulandum” robot (zie figuur 2). Hierbij moet een cursor, onder invloed van een verstoring, in een rechte beweging, naar een target worden bewogen. Tijdens het onderzoek wordt gekeken naar de starthoek ten opzichte van het target, dit noemen we verder aiming error (AE), en naar de nauwkeurigheid van de eindpositie van de beweging, dit noemen we verder final error (FE). Na bestudering van de literatuur verwachten we een betere starthoek bij de dominante arm wat een rechter traject karakteriseert (hypothese 1) en een preciezer eindpunt van de niet-dominante arm door specialisatie in motorische stabilisatie (hypothese 2). We verwachten dat elke arm de volgens het “dynamic dominance” model gespecialiseerde aspecten van aangeleerde bewegingen het langst zullen behouden (hypothese 3). Indien dit waar blijkt te zijn, kan het impliceren dat de specialisatie van de hersenhelften niet alleen betrekking heeft op het uitvoeren van motorische taken maar ook op het onthouden van bewegingen. Verder verwachten we dat een arm de beweging het beste onthoudt door direct te oefenen met die arm. Dit impliceert dat we daarmee ook verwachten dat het effect van “interlimb transfer” kleiner is dan direct leren (hypothese 4).

Omdat linkshandigen niet helemaal complementair zijn aan rechtshandigen (Knecht et al., 2000) zijn in dit onderzoek alleen de motorische leereffecten van rechtshandige mensen bestudeerd.

2 Methode

2.1 Deelnemers

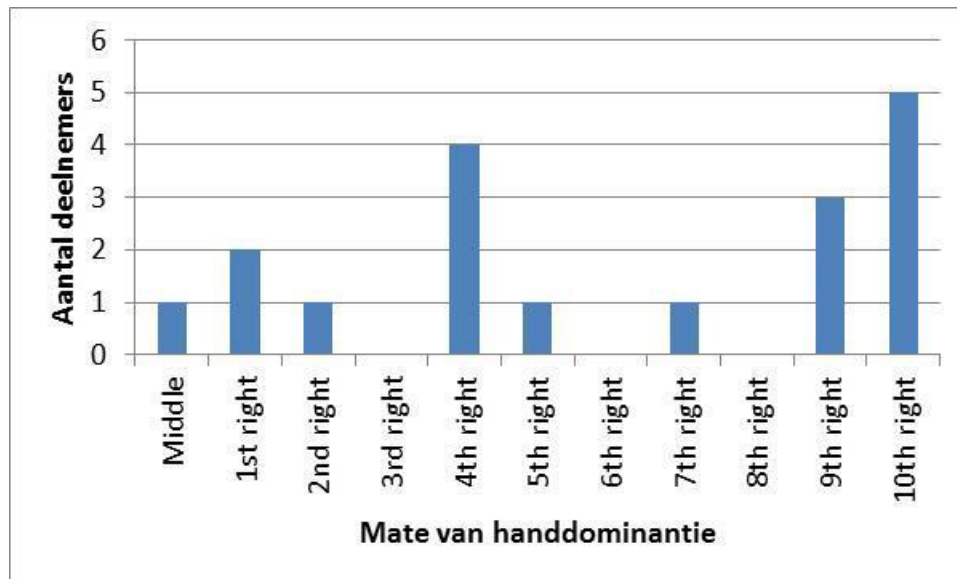
Achttien rechtshandige deelnemers, 10 vrouwen en 8 mannen, met een leeftijd tussen de 13 jaar en 48 jaar en een gemiddelde leeftijd van 24.9 jaar (met een standaard deviatie, SD, van ± 9.3), namen deel in deze studie.

De deelnemers hadden geen bekende neurale afwijkingen die het motorisch leren konden beïnvloeden. Ook hadden de deelnemers niet eerder met de experimentele apparatuur gewerkt. Deelname aan deze studie was op geheel vrijwillige basis en er stond geen vergoeding tegenover.

Doordat er tijdens de onderzoeksstage waterschade was ontstaan aan de experimentele apparatuur door lekkage in het gebouw is er niet voldoende tijd overgebleven om het streefgetal van 20 proefpersonen te halen. Hierdoor is er helaas een kleine onbalans ontstaan in de groepen.

Handdominantie van de deelnemers werd gecontroleerd met behulp van een Edinburgh Test (Oldfield, 1971); zie bijlage I voor de Engelstalige vragenlijst. Het invullen van een Engelstalige vragenlijst was overigens geen probleem voor de deelnemers. De mate van handdominantie werd eveneens berekend met diezelfde test (zie bijlage I), waarbij positieve scores rechtshandigheid aan geven en negatieve scores linkshandigheid. De gemiddelde score was +81.4, met een standaard deviatie, SD, van ± 18.8 . Mensen met een negatieve Edinburgh score (in totaal 4) werden uitgesloten van deze studie. Er is één deelnemer

ingesloten met een neutrale score van 45, wat onder de grens van rechtshandige dominantie ligt (de ondergrens voor rechtshandigheid is 48). De verdeling met de mate van rechtshandigheid is weergegeven in figuur 4.



Figuur 4: Op de x-as staat de mate van handdominantie van de deelnemers zoals bepaald met de Edinburgh test (zie Bijlage 1). Het aantal deelnemers met een bepaalde mate van handdominantie is weergegeven op de y-as. Hoe verder naar rechts op de x-as, hoe hoger de mate van dominantie.

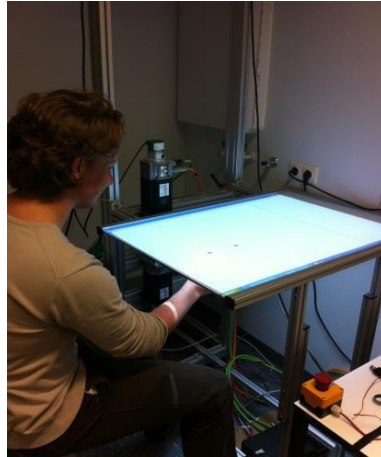
Om de hypothesen te kunnen testen werden de deelnemers over twee groepen verdeeld, waarbij groep 1 tien personen telde en groep 2 uit acht personen bestond. Karakteristiek van groep 1 was dat de deelnemers de training met de dominante (rechter) hand uitvoerden. Deelnemers uit groep 2 moesten de training met hun niet-dominante (linker) hand uitvoeren. Vervolgens zijn beide groepen onderverdeeld in de subgroepen A en B. De groepen A werden eerst getest met hun getrainde hand (voor groep 1 met rechts, voor groep 2 met links) en vervolgens getest met de niet getrainde hand. De groepen B werden eerst getest met hun ongetrainde hand (voor groep 1 links, voor groep 2 rechts) en vervolgens getest met de getrainde hand (zie Tabel 1 voor een overzicht van de groepen). De groepen A en B fungeerden zodoende als counter-balance.

Tabel 1: Indeling van de proefpersonen in groepen om de hypothesen te kunnen testen

Groep			Taak per subgroep	
#	Indeling	Kenmerk	A	B
1	10 personen (gemiddelde leeftijd is 27,5 jaar, SD = ±10,5)	Training met dominante (rechter) hand	(5 personen) Test eerst met getrainde (rechter) hand en daarna met ongetrainde (linker) hand	(5 personen) Test eerst met ongetrainde (linker) hand en daarna met getrainde (rechter) hand
2	8 personen (gemiddelde leeftijd is 21,8 jaar, SD = ±6,94)	Training met niet dominante (linker) hand	(4 personen) Test met getrainde (linker) hand en daarna met ongetrainde (rechter) hand	(4 personen) Test met ongetrainde (rechter) hand en daarna met getrainde (linker) hand

2.2 Experimentele opzet

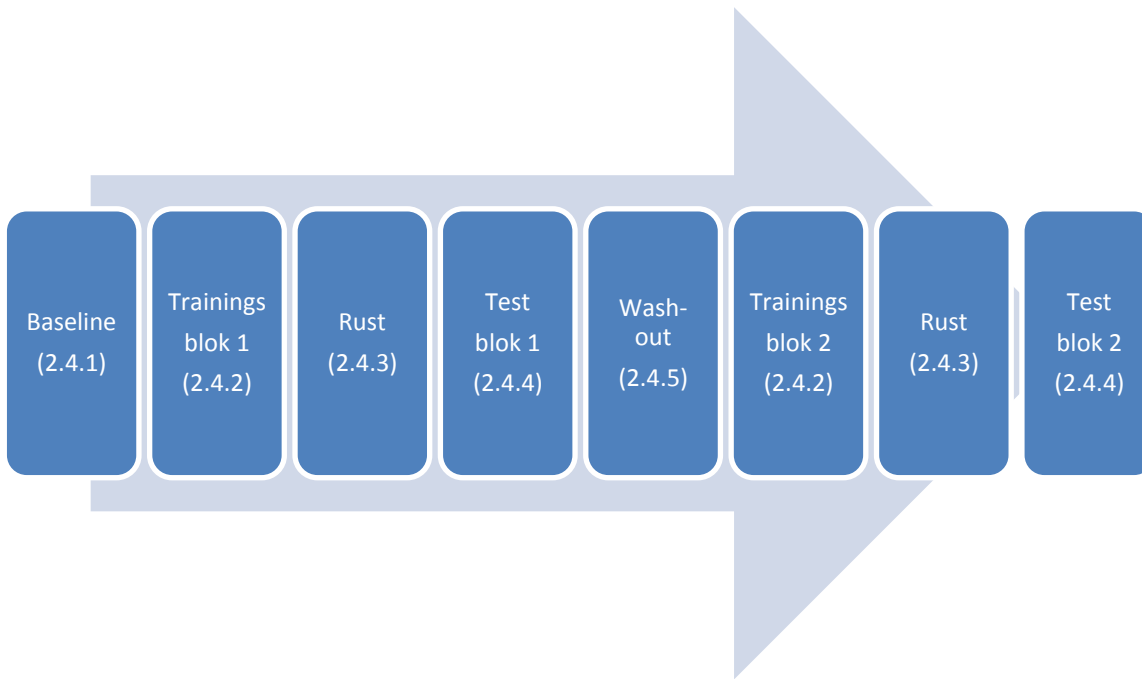
Tijdens het experiment zaten de deelnemers op een kruk recht voor een horizontaal projectiescherm met daaronder de robotopstelling en een handvat. Het projectiescherm bevond zich telkens tussen schouderhoogte en heuphoogte zodat de deelnemers het handvat comfortabel konden bewegen (zie figuur 5).



Figuur 5: Een foto van de opstelling.

Het handvat was verbonden met de robot en was vrij beweegbaar over een horizontaal vlak evenwijdig aan het projectiescherm. Dit vlak bevond zich onder het projectiescherm. Het handvat was via twee scharnieren verbonden met twee encoders die de handvatpositie maten met een resolutie van 10^6 tellingen per omwenteling. De metingen werden omgezet naar X en Y coördinaten (in cm) met behulp van standaard kinematische transformaties. De encoders waren verbonden met een Windows PC om de data digitaal te verwerken. De computer bestuurde daarnaast het programma voor dit experiment. Boven het scherm was een beamer gemonteerd die het beginpunt, de cursor en de targets projecteerde (zie figuur 7). Het scherm was niet transparant, zodat er geen visuele feedback was via de hand. Ook kregen de deelnemers een kappersmantel om zich heen dat vrijwel al het zicht op de arm verhinderde. Er was daardoor slechts visuele feedback van de hand via de cursor. De deelnemers werden geacht het handvat met één hand, links of rechts, vast te pakken tijdens het experiment, waarbij de hand afhankelijk was van de ingedeelde groep (zie Tabel 1). De arm werd niet ondersteund tijdens het experiment.

Het gehele traject bestond uit meerdere blokken (zie figuur 6). De deelnemers startten respectievelijk met het baseline-blok, het eerste trainingsblok, kwartier rust, test-blok, wash-out, tweede trainingsblok, kwartier rust en het laatste test-blok. Het gehele traject duurde anderhalf uur. Het doel en de specificaties van ieder blok zijn in paragraaf 2.5 beschreven.



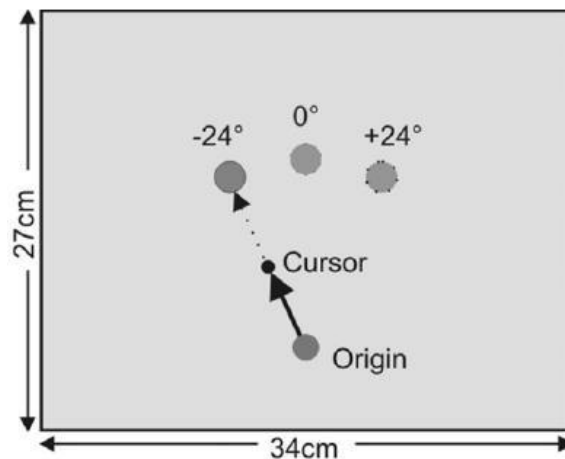
Figuur 6: Flowdiagram met de volgorde van de verschillende blokken tijdens het experiment

2.3 Experimentele taak

Iedere deelnemer werd getraind om in een rechte lijn vanuit het beginpunt naar de target te bewegen, terwijl ze het handvat vasthielden met één hand. Afhankelijk van de groep waarin een deelnemer was ingedeeld met de dominante (rechter) hand of de niet-dominante (linker) hand. Hierna bewogen ze het handvat weer terug naar het beginpunt om de volgende trial te beginnen. De robot mat de snelheid en de positie van het handvat en dus ook de handbeweging. De positie van de hand werd getoond door een groene cursor, met een straal van 3 mm, op het horizontaal liggend scherm voor de deelnemer. De cursor bewoog real-time precies boven het handvat mee als visuele feedback bij de heengaande beweging; bij de teruggaande beweging stond de cursor uit. Voor ieder experiment werd de robot gekalibreerd om er zeker van te zijn dat de groene cursor zich precies boven het handvat bevond. Deelnemers moesten cirkelvormige targets bereiken, met een straal van 7 mm, die op een afstand (s) van 100 mm van het beginpunt (cirkel met een straal van 7 mm) geprojecteerd werden (zie figuur 7). Per trial verscheen er een target waarnaar de deelnemer moest bewegen. Om de taak niet te voorspelbaar, en daardoor te makkelijk, te maken waren er in totaal drie verschillende plaatsen waar het target zich kon bevinden: recht boven het beginpunt en links en rechts van dat target onder een hoek van 24 graden t.o.v. het beginpunt (zie figuur 7). Tijdens het experiment verschenen de targets in een pseudo-random volgorde op één van de drie posities. De deelnemers werd verteld dat ze een snelle en rechte beweging moesten maken richting de targets, waarbij de nauwkeurigheid en de snelheid van belang waren. Verder kregen ze de instructie om zo netjes mogelijk door de targets heen te bewegen met een ruime afstand en niet te veel over de beweging na te denken.

De maximale reactietijd om een beweging te starten was 2.00 seconden, waar de proefpersonen geen moeite mee hadden. Eenmaal begonnen met de beweging moesten de deelnemers binnen een bepaalde tijd door het target heen bewegen. De perfecte trial-tijdsduur was 500 milliseconden met grenzen van 100 milliseconden onder en boven die waarde (dus: 400 ms – 600 ms). De initiële grenzen van 100 ms verkleinde en vergrootte respectievelijk met 10% per beweging binnen en buiten het correcte tijdbestek. Dit houdt in dat het correcte tijdbestek kleiner en groter kon worden. Op die manier werd ervoor gezorgd dat alle deelnemers een vergelijkbare snelheid bereikten. Uitleg werd gegeven over de kleurverandering van het target nadat de cursor door het target is gegaan. Deze kleurenfeedback gaf informatie over de

gemiddelde snelheid: bij een gele kleur was de snelheid te hoog, bij een groene kleur was de snelheid goed en bij een blauwe kleur was de snelheid te laag.



Figuur 7: Een schematische voorstelling van het beginpunt (Origin) en de mogelijke targetposities (overgenomen uit het overzichtsdocument met de mogelijke onderzoeksstages). De targetpositie bevond zich op 100 mm van het beginpunt en heeft een hoek van 0 graden of ± 24 graden. Per trial werd slechts 1 targetpositie zichtbaar.

We vertelden de deelnemers dat wanneer het target van kleur was veranderd, ze de cursor terug moesten bewegen naar het beginpunt. Iedere trial bestond dus uit een heengaande en een teruggaande beweging. Alleen de gegevens van de heengaande beweging werd geregistreerd door de computer en geanalyseerd in deze studie.

2.4 Type trails

Er zijn drie verschillende typen trials gebruikt, null-trials (ook wel baseline trials genoemd), visuomotor rotation-trials en catch trials. Tijdens de null-trials was de baan van de cursor identiek aan de baan van het handvat; de robot veranderde het traject van de cursor niet. Tijdens de visuomotor rotation-trials bewoog de cursor onder een andere hoek dan het handvat; er zat een hoek tussen de baan die het handvat maakte en de baan die de cursor maakte, deze hoek was 30 graden. De visuomotor rotation-trials waren dus feitelijk om de deelnemers te trainen de verstoring (hoekverdraaiing) te compenseren. Tijdens de catch-trials werd de cursor uitgeschakeld, zodat de deelnemer geen visuele feedback meer kreeg. Hiermee werd er gekeken hoe goed de deelnemers het target konden bereiken zonder visuele ondersteuning, oftewel hoeveel de deelnemers al hadden geleerd en onthouden. De deelnemers zijn niet specifiek geïnformeerd over de catch-trials, maar alleen dat de cursor soms niet zichtbaar was en dat dit bij het experiment hoorde. De catch-trials voor de trainingsblokken zijn uiteindelijk niet meer kwantitatief geanalyseerd.

2.5 Opdeling van het experiment in blokken

2.5.1 Baseline blok

Tijdens het baseline blok werd groep 1A en 1B gevraagd om het handvat met de dominante (rechter) hand vast te pakken. Groep 2A en 2B werd gevraagd om het handvat met de niet-dominante (linker) hand vast te pakken. De baseline-taak bestond uit een totaal van 120 trials, 40 trials in iedere richting (0° en $\pm 24^\circ$, zie figuur 7), waarvan 36 null-trials en 4 catch-trials per richting. Er werden tijdens dit blok geen visuomotor-rotation-trials aangebracht.

Centraal in deze taak stond het bekend worden met het apparaat, de taak en met de snelheid.

2.5.2 Trainingsblokken

Tijdens trainingsblok 1 werd groep 1A en 1B gevraagd om het handvat met de dominante (rechter) hand vast te pakken. Groep 2A en 2B werden gevraagd om het handvat met de niet-dominante (linker) hand vast te pakken. De trainingstaak bestond uit een totaal van 240 trials, 80 trials in iedere richting.

Dit blok werd opgesplitst in twee delen om concentratieverlies tegen te gaan. Elk deel bestond uit 120 trials; 40 in iedere richting, waarvan 36 visuomotor-rotation-trials en 4 catch-trials. Trainingsblok 2 was gelijk aan trainingsblok 1, waarbij alleen de visuomotor-rotation-hoek was gespiegeld ten opzichte van het eerste trainingsblok. Hierdoor moest er opnieuw worden getraind om de verstoring (hoekverdraaiing) te compenseren.

2.5.3 Retentie (rust) blok

Dit blok duurde bij iedere deelnemer 15 minuten. De deelnemer voerde tijdens de rustperiode geen trials uit. Met dit blok creëerden we een pauze tussen de training en de test. Zo konden we onderzoeken hoe goed iemand de beweging had onthouden.

2.5.4 Testblokken

Tijdens test blok 1 werden de deelnemers in groep 1A en 2A gevraagd om het handvat met hun getrainde hand vast te pakken, deelnemers uit groepen 1B en 2B werden gevraagd om de taak uit te voeren met hun ongetrainde hand.

Tijdens test blok 2 werden de deelnemers in groep 1A en 2A gevraagd om het handvat met hun ongetrainde hand vast te pakken, deelnemers in de groepen 1B en 2B werden gevraagd om de taak uit te voeren met hun getrainde hand.

Het test blok bestond uit een totaal van 12 catch-trials, 4 per richting, en ook hier verschenen de targets in pseudo-random volgorde op één van de drie posities.

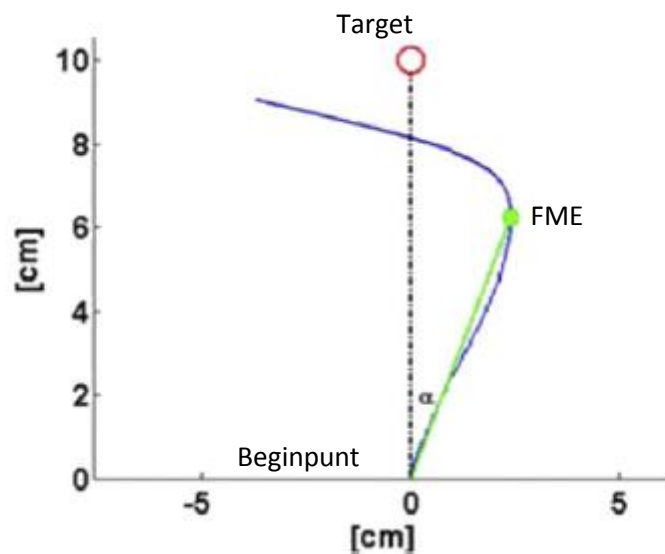
2.5.5 Wash-out blok

Tijdens het wash-out blok werd dezelfde taak uitgevoerd als in het Baseline blok (zie paragraaf 2.5.1.). Met dit blok moest de deelnemer 'vergeten' wat die zojuist had geleerd. In het trainingsblok leerden ze om onder een bepaalde hoek te bewegen, wat ze in dit blok werd afgeleerd door geen visuomotor-rotation-trials aan te bieden.

2.6 Data analyse

Statistische analyse van de data werd uitgevoerd met behulp van het programma Matlab 8.1 (The Mathworks, Natick, USA). In deze studie is gekeken naar de fout in de eindpunt-nauwkeurigheid (final error) en in de starthoek (aiming error). Deze twee aspecten van de beweging werden berekend uit de ruwe data van de robot. De data zelf bestond uit arrays van twee floating-point waarden die de cursorcoördinaten ten opzichte van de verstreken tijd beschrijven. Het scherm waarop de cursor werd geprojecteerd werd geanalyseerd als een cartesisch assenstelsel.

De aiming error hebben we op dezelfde wijze bepaald als beschreven in het artikel van Rabe *et al.* (2009): *"Error in the movement was defined as the perpendicular distance to a line connecting cursor position at movement onset and target position. First maximal error (FME) was the first local maximum of this function after 160 ms: the point in time where the movement path first curved back toward the target. The aiming error (AE) is the angle between a line segment connecting start of the movement to the cursor position at FME and a straight-line movement to the target"*. Met andere woorden, we hebben de boogsinus genomen van de afstand van het startpunt tot de FME en de loodrechte afstand tussen de FME en de ideale (kortste) lijn tussen beginpunt en target (zie figuur 8).



Figuur 8: Bepaling van de aiming error zoals beschreven door Rabe *et al.* (2009).

De final error is gedefinieerd als de loodrechte afstand tussen het middelpunt van de cursor en het middelpunt van de target aan het einde van de heengaande beweging (dit is het moment dat de cursor tien centimeter verwijderd is ten opzichte van het beginpunt).

Eerst werden de data van de proefpersonen van groep 1 en groep 2 apart genomen. Daarna werd de gemiddelde aiming error en final error zodanig geordend dat de hypothesen konden worden getest. Herordening van de blokken om getrainde dominante en niet/dominante resultaten en ongetrainde dominante en niet/dominante resultaten samen te nemen, oftewel counter-balance opheffen. Dit is als volgt geïmplementeerd:

- 1A blok 4 + 1B blok 8 vormen samen nieuwe groep 1 blok 4 (dominant getraind rechts)
- 2A blok 4 + 2B blok 8 vormen samen nieuwe groep 2 blok 4 (niet/dominant getraind links)
- 1A blok 8 + 1B blok 4 vormen samen nieuwe groep 1 blok 8 (ongetraind links)
- 2A blok 8 + 2B blok 4 vormen samen nieuwe groep 2 blok 8 (ongetraind rechts)

Analoog aan het bovenstaande werden voor de trainingsblokken blokken 6 en 7 van de groepen 1B en 2B samengenomen met de blokken 2 en 3 van de groepen 1A en 2A en werden blokken 2 en 3 van groepen 1B en 2B samengenomen met de blokken 6 en 7 van de groepen 1A en 2A.

Het doel van de drie target posities was slechts om de taak voor de deelnemers niet te voorspelbaar (makkelijk) te maken. In de analyse konden de resultaten daarom over alle posities worden gecombineerd.

Om de resultaten op een overzichtelijke manier te kunnen presenteren zijn 6 opeenvolgende trials samengenomen in een bin. Bin 1 geeft de gemiddelde scores voor trials 1-6, bin 2 voor trials 7-12, enzovoorts. De 120 trials zijn hiermee gereduceerd tot 20 bins die worden weergegeven in de grafieken van paragrafen 3.2 en 3.3. De catch-trials in de trainingsblokken zijn niet apart geanalyseerd maar samengenomen met de visuomotor-rotation-trials.

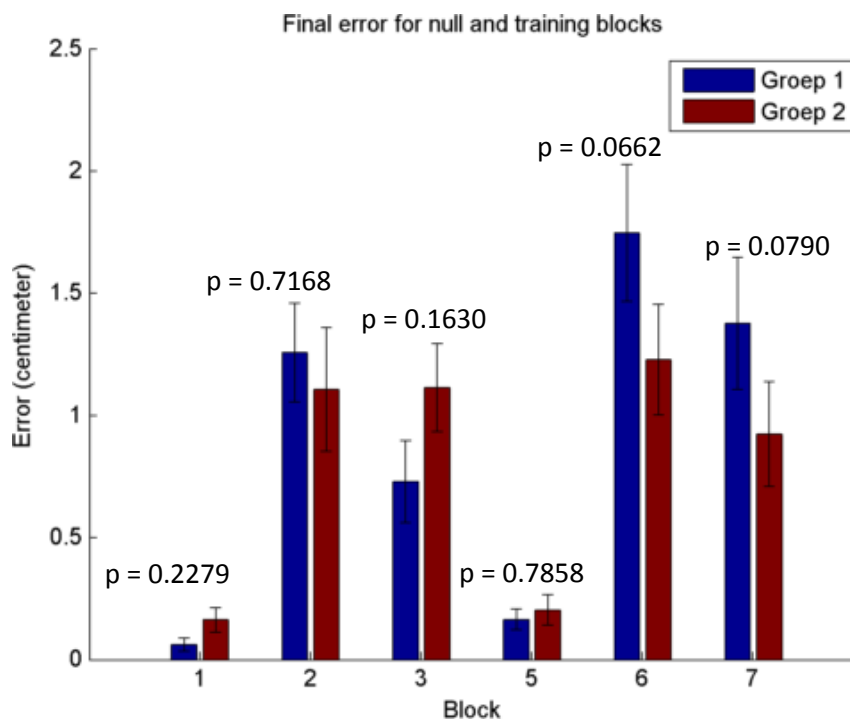
Met behulp van de statistische analyse werden verschillen tussen de (sub)groepen vergeleken. Om te bepalen of er een statistisch significant verschil is tussen de groepen is er een unpaired student t-test uitgevoerd. Hierbij wordt de nulhypothese getest of de gemiddelde waarde van de twee groepen gelijk is. Dit wordt vaak uitgedrukt met een p-waarde. Als de p-waarde kleiner is dan 0.05 dan kan met 95% zekerheid worden gezegd dat de twee groepen, statistisch gezien, een andere gemiddelde waarde hebben, en dus verschillend presteren.

3 Resultaten

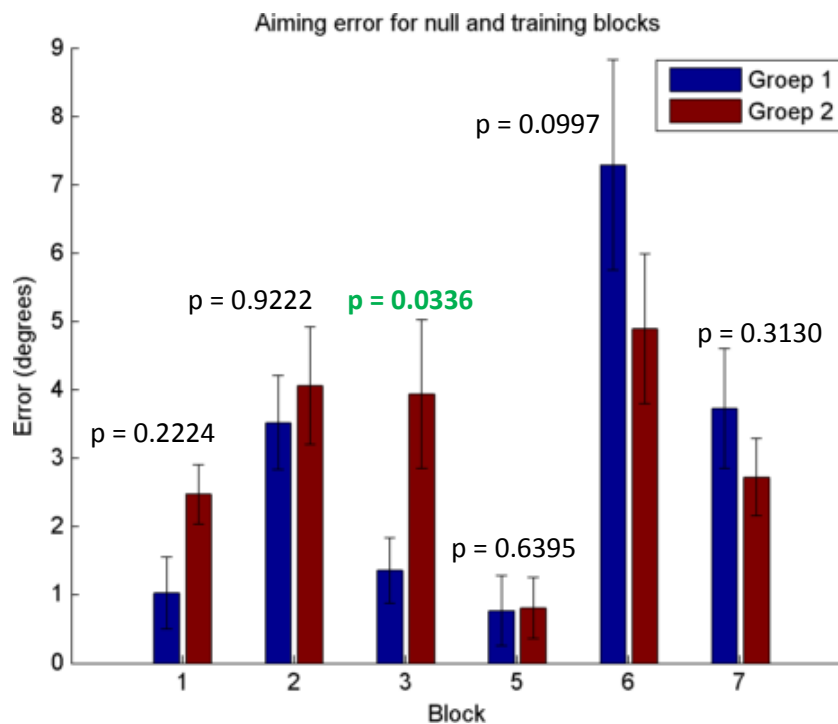
Eerst worden de resultaten voor het baseline-, de wash-out- en de trainingsblokken gepresenteerd en daarna de resultaten van de testblokken.

3.1 Statistische analyse voor de baseline, wash-out en trainingsblokken

Bij deze blokken zijn de laatste 8 bins (48 trials) gebruikt voor de statistische analyse. In figuur 9 (final error) en in figuur 10 (aiming error) zijn de significantie niveaus (p-waarden) voor de verschillende blokken aangegeven. Wat bij figuur 9 (final error) opvalt is dat er bij geen enkel blok een statistisch significant effect wordt gevonden, met een 95% betrouwbaarheidsinterval. De p-waarden zijn namelijk allemaal hoger dan 0.05. Bij figuur 10 (aiming error) is er wel een statistisch significant verschil gevonden voor blok 3 (deel 2 van trainingssessie 1), waarbij groep 1 beter heeft gepresteerd (kleinere fout) dan groep 2. Opvallend is daarbij dat groep 1 bij deel 1 van trainingssessie 2 juist slechter presteerde dan groep 2, al is het verschil niet statistisch significant.



Figuur 9: Op de horizontale as zijn de bloknummers weergegeven en op de verticale as de gemiddelde afwijking (in cm) over de laatste 8 bins met hun standaard fout in het gemiddelde (SEM). De p-waarde geeft aan of de verschillen tussen de groepen statistisch significant zijn.



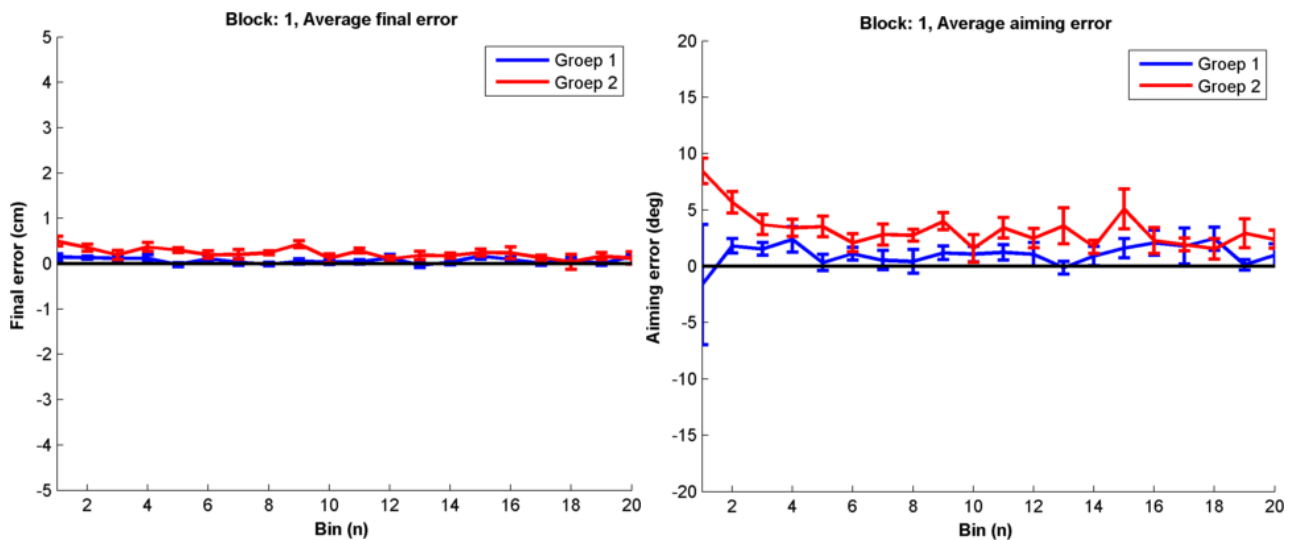
Figuur 10: Op de horizontale as zijn de bloknummers weergegeven en op de verticale as de gemiddelde afwijking (in graden) over de laatste 8 bins met hun standaard fout in het gemiddelde (SEM). De p-waarde geeft aan of de verschillen tussen de groepen statistisch significant zijn.

3.2 Baseline & wash-out blokken

Paragraaf 3.2.1 geeft de resultaten voor het baseline blok en paragraaf 3.2.2 geeft de resultaten voor het wash-out blok. Deze blokken worden verder niet gebruikt voor het testen van de hypothesen.

3.2.1 Baseline blok

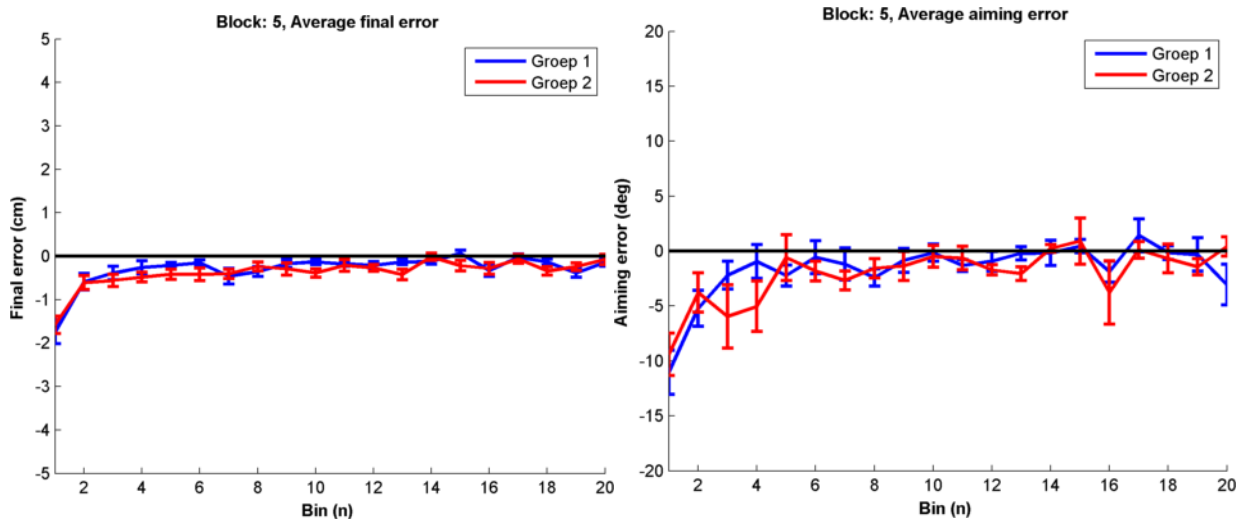
De resultaten van het baseline blok zijn per bin (zie paragraaf 2.6) weergegeven in figuur 11: links de resultaten voor de final error en rechts de resultaten voor de aiming error. Statistische analyse (zie paragraaf 3.1) gaf al aan dat er geen significant verschil is ($p=0.2279$) in de gemiddelde final error (cm) tussen de groepen 1 en 2. Het oefenen zonder een verstoring gaat kennelijk even makkelijk met de dominante hand als met de niet dominante hand. Wat opvallend is, is dat er een clockwise (positieve waarde) bias te zien, dat wil zeggen dat beide groepen gemiddeld gezien vaker rechts dan links van het target uitkwamen. De uiteindelijke afwijking na deze baseline sessie was ongeveer 2 mm. Er is ook geen statistisch significant verschil in aiming error tussen groep 1 en groep 2 ($p=0.2224$, zie paragraaf 3.1). De waarden van de aiming errors bleven na 4 bins, wat overeenkomt met 24 trials, bij allebei de groepen ongeveer even groot (rond de 1.8 graden).



Figuur 11: De linker grafiek toont de resultaten voor de final error (in cm). De rechter grafiek toont de resultaten voor de aiming error (in graden). Op de x-as staan de bin nummers (telkens gemiddelde over 6 trials, zie paragraaf 2.6). De blauwe lijn stelt groep 1 (training met dominante hand) voor, de rode lijn stelt groep 2 (training met niet-dominante hand) voor. De markers op het gemiddelde geven de standaard fout in het gemiddelde aan (SEM).

3.2.2 Wash-out blok

De resultaten van het wash-out blok zijn per bin (zie paragraaf 2.6) weergegeven in figuur 12: links de resultaten voor de final error en rechts de resultaten voor de aiming error. Tijdens de wash-out is er geen statistisch significant verschil ($p=0.7858$) gevonden in de final error (cm) tussen groep 1 en groep 2 (zie paragraaf 3.1). Ook is er geen statistisch significant verschil ($P=0.6395$) gevonden in de aiming error (graden) tussen de groepen (zie paragraaf 3.1). Het verloop in de grafieken geeft aan dat de deelnemers tijdens de eerste 4 bins de verstoring (visuomotor rotatie) nog probeerden te compenseren, maar dat na verloop van tijd deze aangeleerde compensatie door beide groepen even snel werd afgeleerd. Aangezien groep 1 en groep 2 dezelfde waarde van de final error en aiming error ten opzichte van elkaar aanhielden is het doel van het wash-out blok bij beide groepen even goed aanslagen. Wel is er een geringe counter-clockwise bias te zien, dit wil zeggen dat de deelnemers gemiddeld genomen vaker links dan rechts langs de targets bewogen.



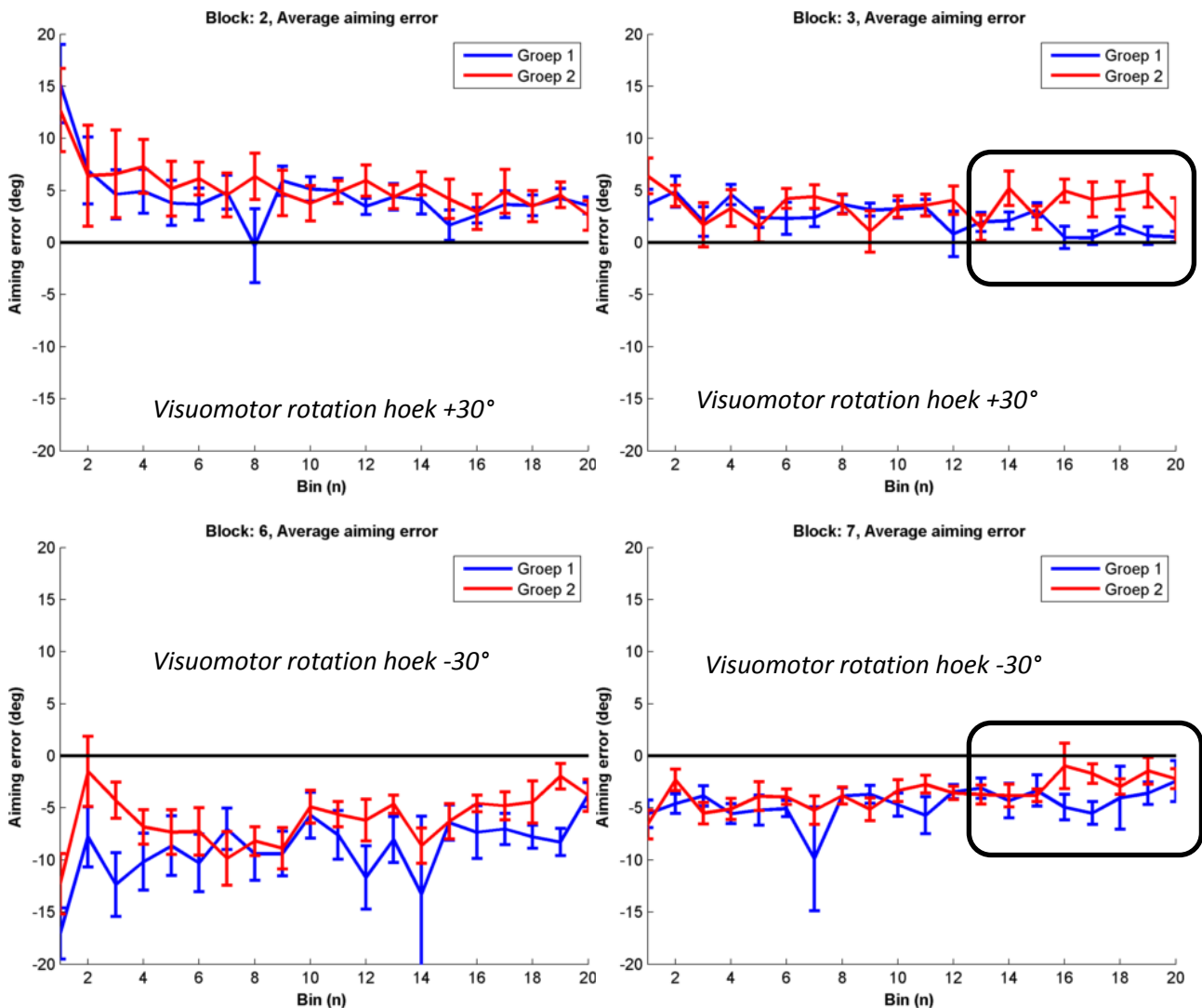
Figuur 12: De linker grafiek toont de resultaten voor de final error (in cm). De rechter grafiek toont de resultaten voor de aiming error (in graden). Op de x-as staan de bin nummers (telkens gemiddelde over 6 trials, zie paragraaf 2.6). De blauwe lijn stelt groep 1 (training met dominante hand) voor, de rode lijn stelt groep 2 (training met niet-dominante hand) voor. De markers op het gemiddelde geven de standaard fout in het gemiddelde aan (SEM).

3.3 Trainingsblokken

De resultaten van de trainingsblokken worden gepresenteerd in de volgorde waarin de hypotheses kunnen worden getest. Eerst de resultaten voor de aiming error (hypothese 1) en daarna de resultaten voor de final error (hypothese 2).

3.3.1 Aiming error

De resultaten voor de aiming error van de trainingsblokken zijn per blok weergegeven in figuur 13. Om hypothese 1 “De dominante arm kan na training een rechter traject afleggen dan de niet-dominante arm na training” te kunnen testen kijken we alleen naar de laatste 8 bins van blokken 3 en 7 (zie figuur 13), dit zijn de resultaten van deel 2 van de trainingsblokken. De resultaten van de statistische tests zijn beschreven in paragraaf 3.1, waarbij figuur 10 liet zien dat er een statistisch significant effect is voor blok 3 ($p=0.0336$), maar geen significant verschil voor blok 7 ($p=0.3130$). Het verschil tussen deze blokken is de visuomotor rotatie hoek ($+30^\circ$ bij blok 3 en -30° bij blok 7). Verder tonen de linker grafieken in figuur 13 het effect van de adaptatie (het leereffect) van de visuomotor-rotatie-hoek.



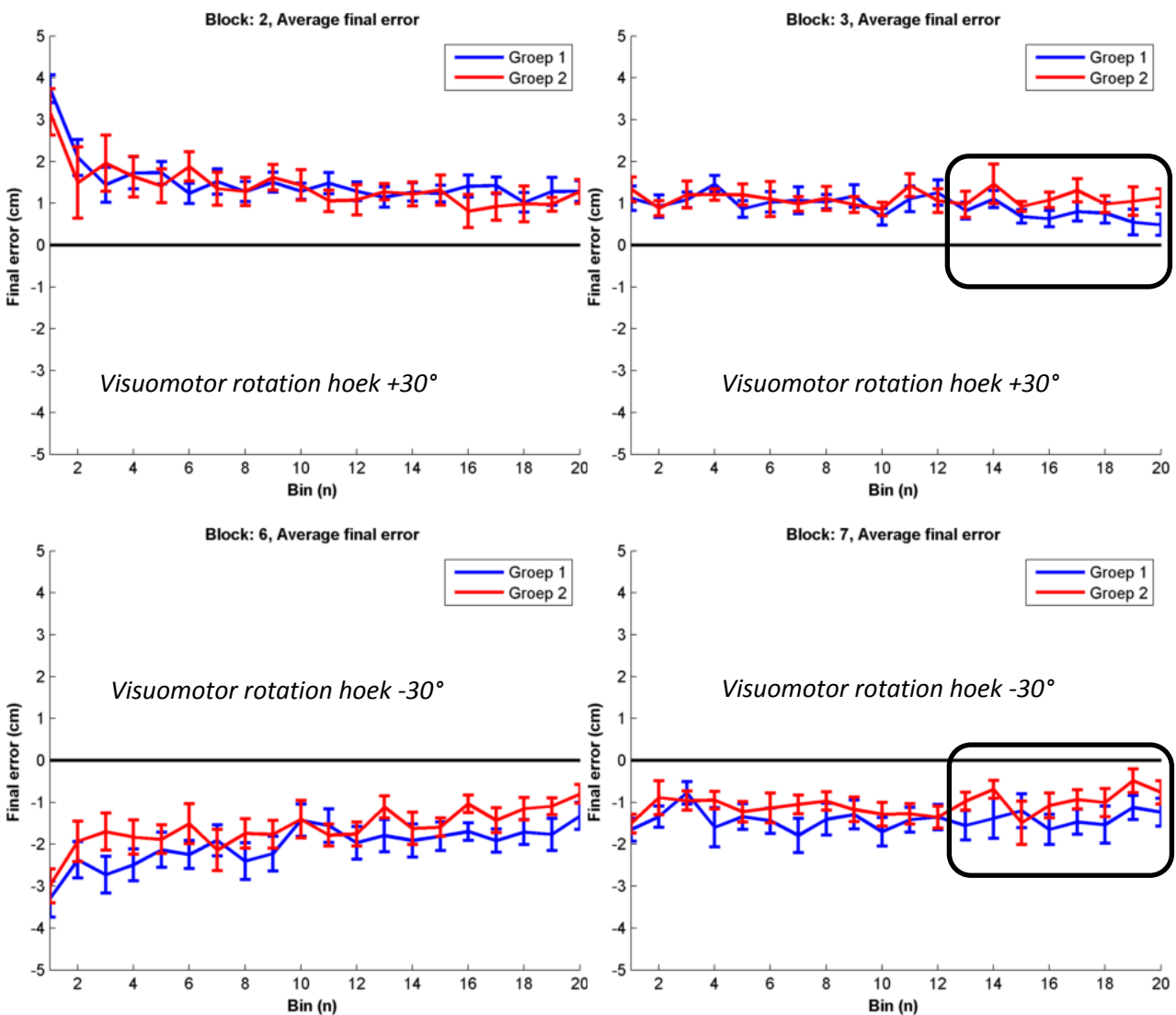
Figuur 13: De linker grafieken tonen de resultaten voor het eerste deel van de trainingsblokken en de rechter grafieken de resultaten het tweede deel van de trainingsblokken. Op de y-as staat de aiming error (in graden) en op de x-as staan de bin nummers (telkens gemiddelde over 6 trials, zie paragraaf 2.6). De blauwe lijn stelt groep 1 (dominante hand) voor, de rode lijn stelt groep 2 (niet-dominante hand) voor. De markers op het gemiddelde geven de standaard fout in het gemiddelde aan (SEM). De statistische tests zijn uitgevoerd met de meetresultaten van de laatste 8 bins (48 trials) van deel twee van de trainingsblokken, zie zwart omljnde delen in de rechter grafieken.

3.3.2 Final error

De resultaten voor de final error van de trainingsblokken zijn weergegeven in figuur 14. Om hypothese 2 “De niet-dominante arm kan na training een preciezer eindpositie bereiken dan de dominante arm na training” te kunnen testen kijken we weer alleen naar de laatste 8 bins van blokken 3 en 7 (zie figuur 14), dit zijn de resultaten van deel 2 van de trainingsblokken. De resultaten van de statistische tests zijn beschreven in paragraaf 3.1, waarbij figuur 9 liet zien dat er geen statistisch significante verschillen zijn tussen beide groepen in de final error voor beide blokken ($p > 0.05$).

Verder laten de eerste paar bins in de linker grafieken van figuur 14 zien dat beide groepen ongeveer even snel leren. Tijdens de eerste paar trials bedroeg de final error ongeveer 4 centimeter. Wij hadden verwacht dat deze fout ongeveer $(10 \cdot \tan(30^\circ) =)$ 5.8 centimeter zou zijn. Waarschijnlijk valt de gemeten waarde voor bin 1 iets lager uit vanwege het middelen van de eerste 6 trials.

In de grafiek rechtsboven van figuur 14 is te zien dat de grafieken van groep 1 en groep 2 nagenoeg overeen komen, pas vanaf de laatste bin lijkt er een statistisch significant verschil op te treden. Als we meer trials in dit blok hadden ingebouwd, dan was er wellicht wel een statistisch significant verschil opgetreden.



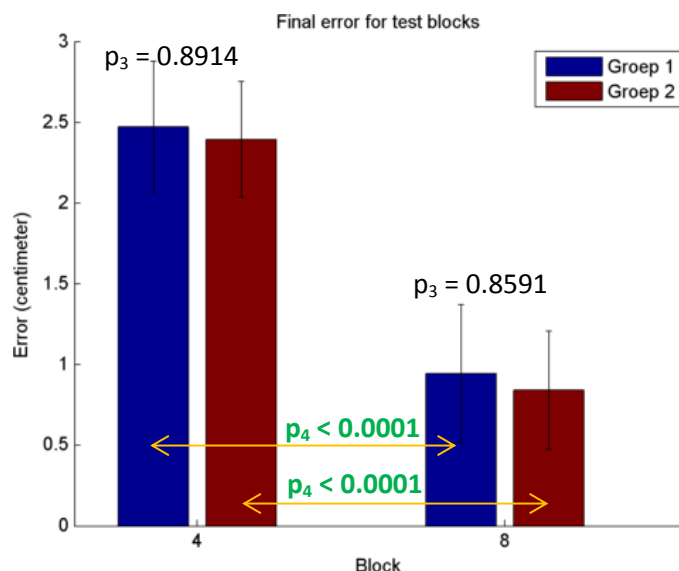
Figuur 14: De linker grafieken tonen de resultaten voor het eerste deel van de trainingsblokken en de rechter grafieken de resultaten het tweede deel van de trainingsblokken. Op de y-as staat de final error (in cm) en op de x-as staan de bin nummers (telkens gemiddelde over 6 trials, zie paragraaf 2.6). De blauwe lijn stelt groep 1 (dominante hand) voor, de rode lijn stelt groep 2 (niet-dominante hand) voor. De markers op het gemiddelde geven de standaard fout in het gemiddelde aan (SEM). De statistische tests zijn uitgevoerd met de meetresultaten van de laatste 8 bins (48 trials) van deel twee van de trainingsblokken, zie zwart omljnde delen in de rechter grafieken.

3.4 Testblokken

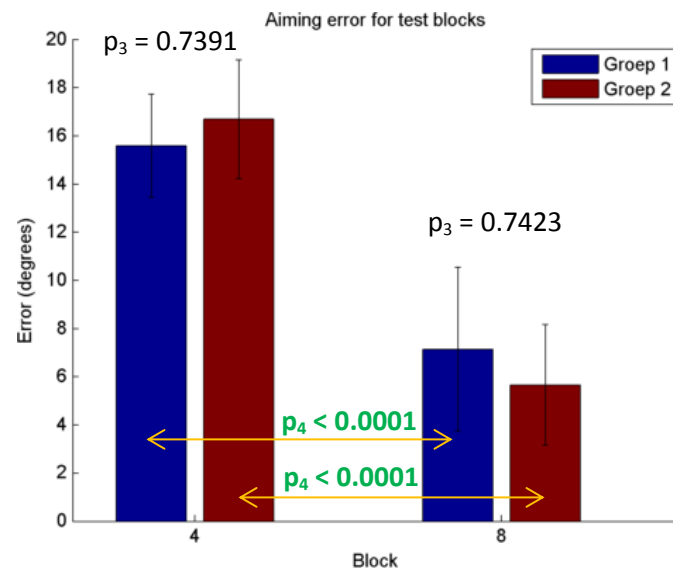
Bij deze analyse is telkens de gemiddelde waarde van de 12 trials genomen. De grafieken met de resultaten van de individuele trials zijn opgenomen in bijlage II. In tegenstelling tot de trainingsblokken, waar de waarden van de final error en de aiming error zo dicht mogelijk bij de 0 moesten liggen voor een goede prestatie, moeten de waarden bij de testblokken zo groot mogelijk zijn (zie definitie van de aiming error en final error in paragraaf 2.6). In dat geval wordt de aangeleerde compensatie visuomotor-rotation nog steeds toegepast en is er dus goed onthouden. In de figuren 15 en 16 zijn de significantie niveaus (p -waarden) aangegeven.

Om hypothese 3 "Een arm zal de gespecialiseerde aspecten van de aangeleerde bewegingen het langst behouden" te kunnen testen kijken we naar de prestatie van de blokken binnen figuur 15 en figuur 16. Het is meteen duidelijk dat er geen statistisch significante verschillen zijn tussen de groepen (alle p_3 -waarden zijn groter dan 0.05). Er zijn dus geen verschillen in de performance van de aangeleerde bewegingen.

Om hypothese 4 "Een armbeweging wordt beter onthouden door de arm waarmee direct geoefend is dan door de arm die indirect is getraind door middel van "interlimb transfer"" te kunnen testen kijken we naar de verschillen in de resultaten per groep tussen blok 4 (direct getraind) en blok 8 (indirect getraind). Het is meteen duidelijk dat er statistisch significante verschillen zijn tussen de groepen (alle p_4 -waarden zijn kleiner dan 0.05). Er zijn dus verschillen in de performance wanneer er direct of indirect ("interlimb transfer") is geleerd, waarbij direct leren dus een betere retentie laat zien.



Figuur 15: Op de horizontale as zijn de bloknummers weergegeven (Block 4 komt overeen met test blok 1 en Block 8 komt overeen met test blok 2) en op de verticale as de gemiddelde afwijking (in cm) over alle 12 trials met hun standaard fout in het gemiddelde (SEM). De blauwe staaf in blok 4 geeft de gemiddelde score voor (training met dominante hand) voor, de rode staaf stelt groep 2 (training met niet-dominante hand) voor. De p -waarde geeft aan of de verschillen tussen de groepen statistisch significant zijn (p_3 geldt voor hypothese 3 en p_4 geldt voor hypothese 4).



Figuur 16: Op de horizontale as zijn de bloknummers weergegeven (Block 4 komt overeen met test blok 1 en Block 8 komt overeen met test blok 2) en op de verticale as de gemiddelde afwijking (in graden) over alle 12 trials met hun SEM. De p-waarde geeft aan of de verschillen tussen de groepen statistisch significant zijn (p_3 geldt voor hypothese 3 en p_4 geldt voor hypothese 4).

4 Discussie

4.1 Tegenspraak met het “dynamic dominance” model

Dit onderzoek had het doel om het “dynamic dominance” model te bevestigen en mogelijk uit te breiden door de retentie van bepaalde bewegingsaspecten te analyseren. Onze resultaten voldoen niet aan de voorspellingen van het “dynamic dominance” model (hypotheses 1, 2), hoewel de voorspellingen met betrekking tot de “interlimb transfer” en de retentie daarvan (hypothese 4) wel significant overeenkomen met de uitkomsten. Uit onze resultaten is er in het algemeen geen significant verschil tussen de groepen 1 en 2 met betrekking tot het leren van een beweging en het behouden van een aangeleerde beweging, wat dus wel verwacht werd als de hersenhelften ieder gespecialiseerd zouden zijn in het besturen van verschillende aspecten van motoriek. In dit geval zou de aiming error van de dominante arm (rechts) bij het einde van de training blokken (blokken 3 en 7) significant kleiner moeten zijn dan de niet-dominante arm, omdat de bijbehorende hersenhelft gespecialiseerd is in richten tijdens de beweging. Het zou volgens het “dynamic dominance” model beter kunnen leren in dat opzicht en dus sneller kunnen presteren. Voor de niet-dominante arm werd verwacht dat de final error significant kleiner zou zijn in vergelijking met de dominante arm, met een soortgelijke redenering gebaseerd op het “dynamic dominance” model. De niet-dominante arm is namelijk gespecialiseerd in het verfijnen van de geplande eindpunt van een beweging door het te verhinderen en zo te stabiliseren tijdens het uitvoeren. Waarom onze resultaten niet overeenkwamen met de voorspelling van het “dynamic dominance” model heeft vele mogelijke verklaringen.

Als we onze experimentele opzet vergelijken met de opzet uit een artikel waar het “dynamic dominance” model wel werd bevestigd (Shabbott & Sainburg, 2008), is een groot verschil de manier waarop de proefpersonen zich moeten aanpassen en de beweging moeten leren. Het experiment van Shabbott & Sainburg is zo ontworpen dat bij iedere individu de opzet wordt aangepast waardoor alleen de schouder principieel is betrokken bij het aanpassen aan de motorische taak. De voorarm voert zelf alleen de baseline beweging uit. In ons experiment moeten de proefpersonen naast de schouder ook de voorarm besturen om niet alleen de baseline beweging uit te voeren, maar ook om aan te passen aan nieuwe bewegingen. Een beweging naar links met de rechterarm is minder natuurlijk dan een naar rechts door de limieten van het

schoudergewricht en vice versa. Dit zou vooral effect kunnen hebben wanneer de visuomotor wordt omgedraaid na de wash-out blok. Verder hadden wij geen mogelijkheid om voor iedere proefpersoon de opzet te optimaliseren zoals in het experiment van Shabbott & Sainburg. Dit zal zeker invloed kunnen hebben gehad op de het leerproces en de uiteindelijke resultaten, ofschoon het effect niet groot hoeft te zijn.

Daarnaast konden onze proefpersonen bij de training blokken de visuomotor rotation al mogelijk plannen voordat ze de beweging uit gingen voeren, waardoor ze misschien bewust hun beweging gaan roteren. Onze training blokken bestonden namelijk uit verschillende bewegingen met allemaal dezelfde visuomotor hoek toegepast voor een hele blok. Indien een proefpersoon inderdaad de beweging bewust ging roteren, zal er minder effectief worden geleerd om onbewust een scheve beweging te beschouwen als een rechte beweging. Wanneer ze dan bij de test hun beweging gaan uitvoeren zou het kunnen dat de beweging bewust wordt aangepast om een rechte beweging te maken. Het was niet erg dat de proefpersonen weten van de visuomotor rotation, als ze maar de beweging natuurlijk uitvoerden en dus onbewust hun oriëntatie van een rechte beweging veranderden. Dit probleem kan leiden tot een kleinere aiming error bij beide handen. Daarnaast zorgt een kleinere aiming error vaak ook voor een kleinere final error ongeacht welke arm er wordt getest. Deze gevolgen verminderen de voorspelde effecten van handedness dat al relatief subtiel was.

Als laatste kunnen we snel zien uit de staafdiagrammen (figuur 9 en 10) en lijngrafieken (figuur 13 en 14, gemarkeerde delen) van blokken 3 en 7 dat groepen 1 en 2 uiteindelijk niet helemaal hetzelfde hebben geleerd. Voor de eerste twee hypothesen is vooral het einde van een training blok interessant (laatste 8 bins), want daar is te zien hoe goed iedere groep heeft kunnen leren. De algemene leercurve in de lijngrafieken daarentegen zien er in alle gevallen normaal en consistent uit, wat wijst op de neurologische gezondheid van onze deelnemers. Een verschil in leerresultaten tussen beide groepen was voorspeld door het "dynamic dominance" model, maar onze resultaten zijn niet consistent met de specifieke verwachtingen van het model. Verder duiden de bijbehorende p-waarden ($p > 0.05$) van deze resultaten op niet significante verschillen tussen de twee groepen bij de meeste gevallen. Deze uitkomsten kunnen zijn veroorzaakt door toeval, namelijk dat de ene groep gemiddeld gezien motorisch iets voorop lag. Toen we vroegen naar de hobby's van de proefpersonen kwamen er een paar muzikanten en sporters voor, die waarschijnlijk meer motorische capaciteit hebben dan anderen. We hebben de proefpersonen niet verdeeld op deze kenmerken en dus kan het zijn dat groepen 1 en 2 niet vergelijkbaar waren. Verder zou een langere lengte van de blokken, dus meer trials per blok, of meer deelnemers per blok een duidelijker resultaat kunnen geven van beide groepen waarbij onze speculaties van nu over kunnen gaan tot een significant verschil of juist tot definitief insignificant. Ondanks het feit dat de meeste verschillen in de laatste 8 bins niet statistisch significant zijn ($p > 0.05$), is in figuur 10 bij blok 3 toch een statistisch significant effect gevonden ($p = 0.0336$). Naderhand bleek met een correctie voor repeated testing dat het waarschijnlijk ook geen echt significant verschil is. Onze eerste twee hypothesen hebben alleen direct betrekking op de resultaten van het einde van de training blokken (figuur 9 en 10 met blokken 3 en 7).

Bij het baseline blok (blok 1) is er significant een standaardbias te zien in de richting van de klok mee, oftewel de proefpersonen lijken iets meer naar rechts te hangen. Dit kan een teken zijn van een asymmetrische opstelling, maar het zou ook louter aan de kalibratie kunnen liggen. De robot werd iedere dag een keer gekalibreerd en per dag waren er ongeveer drie proefpersonen getest. Een andere bias die we kunnen observeren zit in de wash-out blok (blok 5), waar het ernaar uit ziet dat de proefpersonen wel de ideale lijn naderen, maar toch altijd invloed overhouden van de vorige training door iets meer naar links of tegen de klok in te zitten. Dit signaleert dat de wash-out zelf niet alle invloed van de voorgaande training kan uitwissen. Hierop was geanticipeerd door een counter-balance toe te passen op de twee groepen bij het experiment (zie paragraaf 2.1).

4.2 Geen invloed van specialisatie op retentie van aangeleerde bewegingen

Onze uitbreiding op dit “dynamic-dominance” model was vooral geformuleerd in de derde hypothese. We wilden kijken of het “dynamic dominance” model ook toepassing heeft op de retentie van de besproken motorische aspecten. Ook kijken we of “interlimb transfer” op een bepaalde manier beter wordt behouden. Deze hypothese heeft betrekking op de resultaten van blokken 4 en 8. Het is intuïtief dat iets wat beter wordt geleerd ook langer in het geheugen behouden wordt. Zo voorspelden wij dat de aspecten waarin ieder hersenhelft is gespecialiseerd ook de aspecten zijn die het langst worden behouden.

Jammer genoeg kunnen we niets constateren over de verschillen tussen groepen 1 en 2 uit onze resultaten. De significantie van de bijbehorende data is onvoldoende (zie figuur 15 en 16) en de verschillen tussen de twee groepen zijn over het algemeen relatief klein. Het feit dat de resultaten niet overeenkomen met de “dynamic dominance” theorie zelf impliceert al dat bekijken van een uitbreiding van dat model met dezelfde data niets zal opleveren. Hierdoor is er niets anders te zeggen dan dat er geen uitspraak kan worden gedaan over deze hypothese.

4.3 Bevestiging van het voorspelde “interlimb transfer” effect

De vierde hypothese is wel bevestigd, wat met name duidelijk te zien is in figuur 15 en 16. Er is significant verschil ($p < 0.0001$) tussen de prestaties bij blok 4, waar dezelfde arm waarmee getraind werd was getest, en blok 8, waar juist de ongetrainde arm op de proef werd gesteld. Duidelijk is te zien dat in beide gevallen geleerd werd, want bij beide blokken is er een after-effect te zien van het trainen met visuomotor rotation. Dit is een fundamentele voorspelling van het “interlimb transfer” proces. Hoewel een arm een beweging niet heeft geoefend, kan het die beweging wel beter uitvoeren als er met de contralaterale arm is geoefend.

Wel bleek dat de wash-out blok niet compleet effectief was (zie einde paragraaf 4.1), maar dat zou vrijwel geen effect hebben gehad bij het toetsen van deze hypothese. Ook al werd er met de ongetrainde arm getest en dus bewogen, de proefpersoon kreeg geen visuele feedback om te zien of de beweging wel goed was. De ongetrainde arm kan in principe niet anders dan via “interlimb transfer” leren. Als de wash-out niet het leerprogressie terug naar nul kon brengen, zouden we verwachten dat de volgende oefensessie veel sneller de ideale beweging benadert indien ze weer precies hetzelfde motorische taak moeten aanleren. Dit is niet terug te zien, onder andere door de counter-balance die verwerkt is in de data en het omdraaien van de visuomotor rotation in de tweede training sessie. De effecten van deze praktische limieten, namelijk het gebruiken van dezelfde proefpersoon voor twee test blokken, zijn verwaarloosbaar voor de resultaten.

5 Conclusies

Het “dynamic dominance” model leidde tot de eerste twee hypothesen van dit onderzoek. “Na training zal de getrainde dominante arm een rechter traject kunnen uitvoeren dan de getrainde niet-dominante arm” (hypothese 1) en “Na training zal de getrainde niet-dominante arm preciezer een eindpositie bereiken dan de getrainde dominante arm” (hypothese 2).

De deelnemers die hadden getraind met de dominante arm bereikten een rechter traject (kleinere aiming error) dan de deelnemers die hadden getraind met de niet-dominante arm ($p = 0.0336$). Dit is in overeenstemming met de eerste hypothese. Bij spiegeling van de visuomotor rotation hoek bereikten de deelnemers met de getrainde niet-dominante arm echter een kleinere aiming error, al was dit effect niet statistisch significant ($p = 0.3130$). De eerste hypothese moet dus worden verworpen; beide groepen lijken, gemiddeld genomen, even goed te presteren.

Voor de final error zijn er geen statistisch significante effecten gevonden tussen de groepen ($p > 0.05$). Ook hypothese 2 moet dus worden verworpen.

De derde hypothese doet een uitspraak over een mogelijke implicatie van de “dynamic dominance” theorie over retentie van aangeleerde bewegingen. Volgens onze hypothese zal een arm de aspecten van de aangeleerde bewegingen waarin de bijbehorende hersenhelft gespecialiseerd is het langst behouden. Training met de dominante hand zou dus moeten resulteren in een beter onthouden beginhoek, terwijl training met de niet-dominante hand juist zou moeten resulteren in een betere retentie van de eindpositie. Er werd echter geen significant verschil gevonden tussen de twee groepen ($p > 0.05$). Het “dynamic dominance” model kan dus niet worden uitgebreid door te kijken de relatieve retenties van alle situaties.

Een armbeweging wordt het best onthouden door de arm waarmee de beweging direct geoefend is. Dit is onze hypothese over het effect van “interlimb transfer” bij het aanleren van nieuwe bewegingen. “Interlimb transfer” is volgens de vierde hypothese dus zwakker dan direct leren wat wordt bevestigd met een hoge statistische significantie ($p < 0.0001$). De vierde hypothese is hierbij met deze studie bevestigd.

6 Dankwoord

Wij willen de decanen van onze school (Dhr. Moonen voor het Van Maerlant Lyceum en Dhr. Louwers voor het Jan van Brabant college) bedanken voor hun ondersteuning tijdens de *Junior Med School*. Wij willen Prof.dr.ir. A. Themmen bedanken voor zijn initiatief en inzet om getalenteerde VWO-leerlingen kennis te laten maken met enkele facetten van de geneeskunde studie en het doen van wetenschappelijk onderzoek in de vorm van de *Junior Med School*. Wij voelen ons zeer bevoorrecht dat wij hieraan mochten deelnemen. Speciale dank gaat uit naar onze begeleider Thomas Hulst, MSc., voor zijn enthousiasme, zijn adviezen, zijn hulp bij de data-analyse en het corrigeren van het verslag. Bovenal zijn wij hem dankbaar voor de vele uren die hij heeft besteed aan het repareren van onze opstelling zodat wij ons onderzoek af konden maken. Zonder zijn hulp en inzet zou dit niet mogelijk zijn geweest. Als laatste willen wij de vrijwilligers, ook via deze weg, nogmaals bedanken voor hun deelname aan het experiment.

7 Referentielijst

- Chase, C., & Seidler, R. (2008). Degree of handedness affects intermanual transfer of skill learning. *Experimental Brain Research*, 190(3), 317-328. doi:10.1007/s00221-008-1472-z.
- Duff, S. V., & Sainburg, R. L. (2007). Lateralization of motor adaptation reveals independence in control of trajectory and steady-state position. *Experimental Brain Research*, 179(4), 551-561. doi:10.1007/s00221-006-0811-1
- Gut, M., Urbanik, A., Forsberg, L., Binder, M., Rymarczyk, K., Sobiecka, B., Kozub J., & Grabowska, A. (2007). Brain correlates of right-handedness. *Acta Neurobiol Exp*, 67, 43-51.
- Howard, I.S., Ingram, J.S., & Wolpert D.M. (2009). A modular planar robotic manipulandum with end-point torque control. *Journal of Neuroscience Methods*, 181, 199-211. doi:10.1016/j.jneumeth.2009.05.005
- Knecht, S., Dräger, B., Deppe, M., Bobe, L., Lohmann, H., Flöel, A., Ringelstein, E.-B., & Henningsen, H. (2000). Handedness and language dominance. *Brain*, 123(12): 2512-2518. doi: 10.1093/brain/123.12.2512
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113. doi:10.1016/0028-3932(71)90067-4

Rabe K., Livne O., Gizewski E.R., Aurich V., Beck A., Timmann D., Donchin, O. (2009). Adaptation to visuomotor rotation and force field perturbation is correlated to different brain areas in patients with cerebellar degeneration. *J. Neurophysiol.*, 101(4): 1961–1971. doi: 10.1152/jn.91069.2008.

Shabbott, B. a, & Sainburg, R. L. (2008). Differentiating between two models of motor lateralization. *Journal of Neurophysiology*, 100(2), 565–75. doi:10.1152/jn.90349.2008

Wang, J., & Sainburg, R. L. (2006). Interlimb transfer of visuomotor rotations depends on handedness. *Experimental Brain Research*, 175(2), 223–30. doi:10.1007/s00221-006-0543-2

8 Bijlage I: Edinburgh test voor handdominantie

Handedness Questionnaire

Instructions
 For each of the activities below, please indicate:
 Which hand you prefer for that activity?
 Do you ever use the other hand for the activity?

Which hand do you prefer to use when:	no pref		Do you ever use the other hand?	
Writing:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Right	<input type="checkbox"/> Yes
Drawing:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Right	<input type="checkbox"/> Yes
Throwing:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Right	<input type="checkbox"/> Yes
Using Scissors:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Right	<input type="checkbox"/> Yes
Using a Toothbrush:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Right	<input type="checkbox"/> Yes
Using a Knife (without a fork):	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Right	<input type="checkbox"/> Yes
Using a Spoon:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Right	<input type="checkbox"/> Yes
Using a broom (upper hand):	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Right	<input type="checkbox"/> Yes
Striking a Match:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Right	<input type="checkbox"/> Yes
Opening a Box (holding the lid):	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Right	<input type="checkbox"/> Yes
items below are not on the standard inventory:				
Holding a Computer Mouse:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Right	<input type="checkbox"/> Yes
Using a Key to Unlock a Door:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Right	<input type="checkbox"/> Yes
Holding a Hammer:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Right	<input type="checkbox"/> Yes
Holding a Brush or Comb:	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Right	<input type="checkbox"/> Yes
Holding a Cup while Drinking	Left <input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Right	<input type="checkbox"/> Yes

Laterality Index (LI)	Decile
LI = -100	10 th left
-100 ≤ LI < -92	9 th left
-92 ≤ LI < -90	8 th left
-90 ≤ LI < -87	7 th left
-87 ≤ LI < -83	6 th left
-83 ≤ LI < -76	5 th left
-76 ≤ LI < -66	4 th left
-66 ≤ LI < -54	3 ^d left
-54 ≤ LI < -42	2 ^d left
-42 ≤ LI < -28	1 st left
-28 ≤ LI < 48	Middle
48 ≤ LI < 60	1 st right
60 ≤ LI < 68	2 ^d right
68 ≤ LI < 74	3 ^d right
74 ≤ LI < 80	4 th right
80 ≤ LI < 84	5 th right
84 ≤ LI < 88	6 th right
88 ≤ LI < 92	7 th right
92 ≤ LI < 95	8 th right
95 ≤ LI < 100	9 th right
LI = 100	10 th right

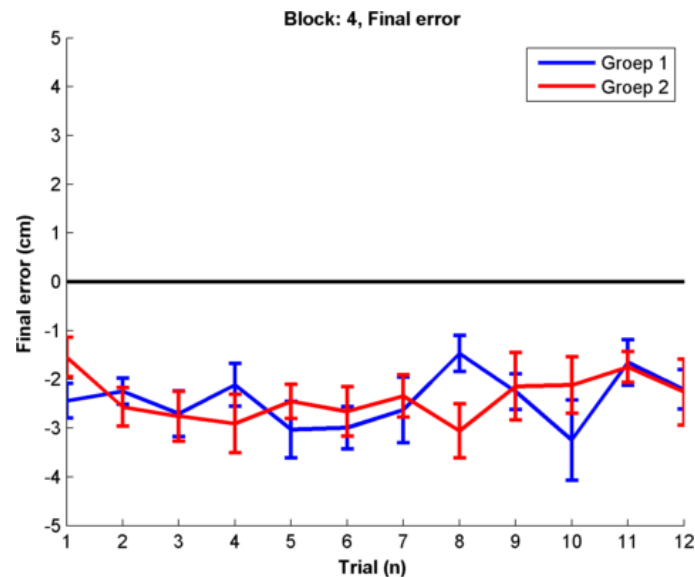
Evaluate

Bron: <http://www.brainmapping.org/shared/Edinburgh.php>

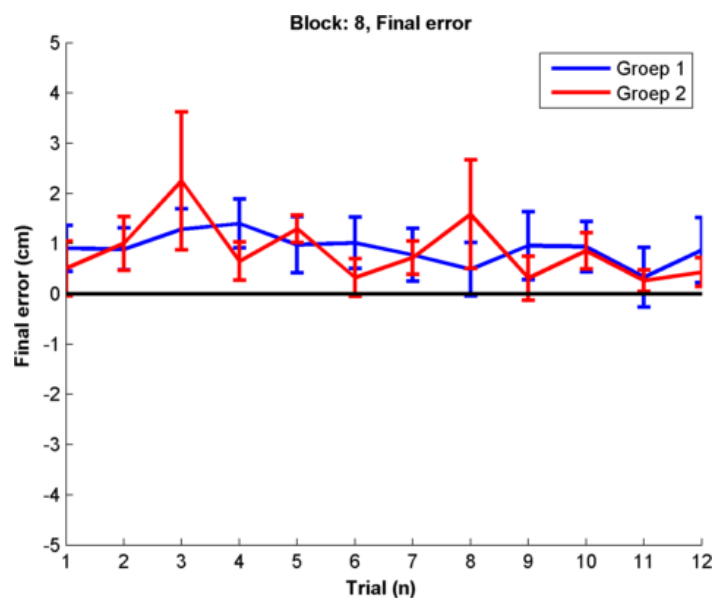
9 Bijlage II: Grafieken met de resultaten van de testblokken

Voor de volledigheid zijn in deze bijlage de resultaten van de testblokken weergegeven.

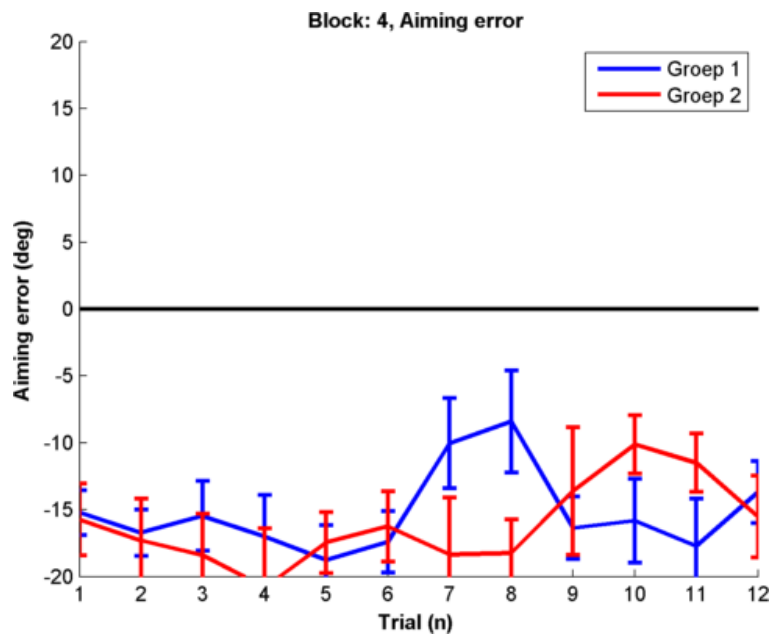
- Figuur 17: final error bij testen met getrainde hand
- Figuur 18: final error bij testen met ongetrainde hand
- Figuur 19: aiming error bij testen met getrainde hand
- Figuur 20: aiming error bij testen met ongetrainde hand



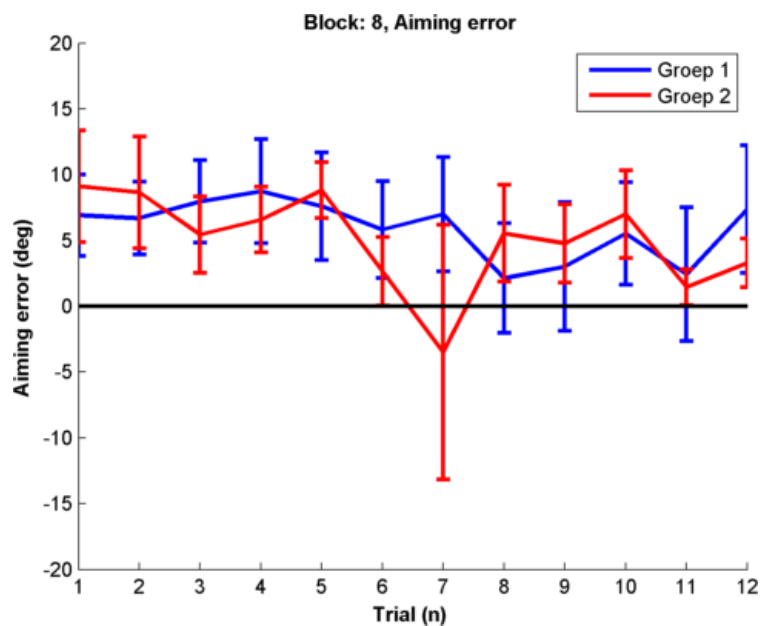
Figuur 17: Op de x-as staat het trial nummer. Op de y-as staat de final error (in cm). De blauwe lijn stelt groep 1 (getrainde dominante hand) voor, de rode lijn stelt groep 2 (getrainde niet-dominante hand) voor. De markers op het gemiddelde geven de standaard fout in het gemiddelde aan (SEM).



Figuur 18: Op de x-as staat het trial nummer. Op de y-as staat de final error (in cm). De blauwe lijn stelt groep 1 (ongetrainde niet-dominante hand) voor, de rode lijn stelt groep 2 (ongetrainde dominante hand) voor. De markers op het gemiddelde geven de standaard fout in het gemiddelde aan (SEM).



Figuur 19: Op de x-as staat het trial nummer. Op de y-as staat de aiming error (in graden). De blauwe lijn stelt groep 1 (getrainde dominante hand) voor, de rode lijn stelt groep 2 (getrainde niet-dominante hand) voor. De markers op het gemiddelde geven de standaard fout in het gemiddelde aan (SEM).



Figuur 20: Op de x-as staat het trial nummer. Op de y-as staat de aiming error (in graden). De blauwe lijn stelt groep 1 (ongetrainde niet-dominante hand) voor, de rode lijn stelt groep 2 (ongetrainde dominante hand) voor. De markers op het gemiddelde geven de standaard fout in het gemiddelde aan (SEM).