

Darten: Resultaat feedback manipulatie



Door Taco Kuiper

Begeleider: Prof.Dr.J.B.J.Smeets (Faculteit Bewegingswetenschappen, VU Amsterdam)

Begeleider: Dr. R.J. van Beers (Faculteit Bewegingswetenschappen, VU Amsterdam)

Eindbeoordelaar: Prof. Dr. C.J.Erkelens (Dep. Physics of Man, UU)

Samenvatting

In dit onderzoek hebben we de invloed van visuele en kinesthetische ('het gevoel') feedback op het herhaaldelijk uitvoeren van een ballistische beweging (darten) onderzocht. We hebben mensen drie keer, onder verschillende condities, 50 keer een dart laten gooien gericht op de roos. Door een bril dicht te laten gaan na het loslaten van de dart hebben we de visuele feedback kunnen scheiden van de kinesthetische feedback. Door, terwijl de bril dicht was, de positie van de gegooide dart te veranderen was de visuele feedback anders dan de kinesthetische feedback. Naast deze conditie hebben we ook een andere conditie waarbij er geen visuele feedback gegeven werd aan de darter en een conditie waarbij de visuele feedback hetzelfde was als de kinesthetische feedback.

Inhoudsopgave

Inleiding	-	blz. 3
Theorie	-	blz. 4 - 5
Experiment	-	blz. 6 - 7
Apparatuur	-	blz. 8 - 10
Meetprocedure	-	blz. 11
Resultaten	-	blz. 12 - 13
Dataverwerking	-	blz. 14 - 15
Conclusie	-	blz. 16
Discussie	-	blz. 17 - 18
Advies	-	blz. 19
Bronvermelding	-	blz. 20

Inleiding

Dit onderzoek richt zich op de verschillende soorten feedback die een mens gebruikt bij het herhaaldelijk uitvoeren van een snelle, ballistische beweging. Precies gezegd richten we ons op de invloed van deze soorten feedback op de planning van de volgende beweging.

De keuze voor een snelle, ballistische beweging zorgt ervoor dat we te maken hebben met een beweging zonder terugkoppeling. Het voordeel hiervan is dat de feedback die de persoon nog maar met twee soorten feedback te maken hebben: Kinesthetische feedback en Visuele feedback. Kinesthetische feedback is de informatie uit de spierspoeltjes (lengte van de spier) en dergelijke, die terug-gekoppeld wordt naar de hersenen. Deze Kinesthetische feedback wordt vergeleken met het plan van de worp en dit geeft 'het gevoel' van de gooi. Met 'het gevoel' wordt de sensatie van een goede of een slechte worp bedoeld. Visuele feedback is dat wat we zien van het resultaat van de beweging.

Een dart gooien is een ballistische beweging en het resultaat van een worp is goed meetbaar. Dit is de reden waarom we voor dit onderzoek voor darten hebben gekozen.

Onderzoeksvragen:

Hoofdvraag:

In hoeverre beïnvloeden de Kinesthetische en de Visuele feedback de planning van de volgende worp?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden hebben we een drietal condities bepaald. Bij elke conditie wierp men 3 keer 50 darts gericht op de roos van een dartbord.

Een conditie bestond uit het werpen met een bril op die dicht ging na het loslaten van de dart. Hierna werd de positie van de dart op het dartbord veranderd. De persoon kreeg de dart pas te zien na de verplaatsing. Op deze manier veroorzaakten we een scheiding tussen de Kinesthetische feedback en de Visuele feedback. Een andere conditie bestond uit het werpen met een bril op die dicht ging na het loslaten waarna het resultaat niet werd laten zien. De laatste conditie bestond uit het werpen zonder bril en de proefpersoon kreeg dus, onmiddellijk na de worp, de werkelijke eindpositie te zien.

Theorie

Darten is een beweging die een hoge mate van coördinatie vereist. Dit betekent dat er veel informatie verwerkt moet worden door het datacentrum van het lichaam. Dit zijn natuurlijk de hersenen. De hersenen verzamelen tijdens het plannen van de beweging informatie over de beweging. Dit kan bestaan uit verschillende soorten informatie zoals eerder uitgevoerde soortgelijke bewegingen, informatie van de externe omstandigheden (bijv. wind), informatie van de interne omstandigheden (bijv. positie van de ledematen ten opzichte van elkaar) etc. Deze informatie komt binnen in de achterste pariëtale schors. Hier vindt de eerste fase van verwerking plaats met betrekking tot de ruimtelijke oriëntatie van het lichaam ten opzichte van objecten en objecten tot elkaar. Hierna gaat de informatie door naar de motorische cortex waar het omgezet wordt in een planning van de beweging. Wanneer het moment zich voor doet dat de beweging moet worden uitgevoerd wordt planning van de beweging naar de spieren gestuurd. Aangezien darten een ballistische beweging is, zal er tijdens het uitvoeren van de beweging geen feedback informatie gebruikt worden om de beweging bij te sturen. Dit betekent dat de binnenkomende informatie alleen gebruikt kan worden om een volgende uitvoering van de taak te beïnvloeden. Hierdoor wordt de planning van de volgende uitvoering van de taak alleen beïnvloed kan worden door 4 factoren:

1. Visuele feedback:

Visuele feedback is het zien van het resultaat van de planning van de vorige beweging.

2. Kinesthetische feedback:

Kinesthetische feedback is de informatie van Golgi-peeslichaampjes, spierspoeltjes etc. Deze sensoren in de spieren, pezen en gewrichten zeggen iets over de stand van de ledematen ten opzichte van het lichaam.¹⁾

3. Ruis en andere factoren:

De ruis die hier bedoeld wordt is de ruis die ontstaat tijdens het transport van het signaal tussen de hersenen en de spieren.²⁾ Deze ruis leidt tot afwijkingen in de beweging ten opzichte van de situatie zonder ruis.

4. Externe factoren:

Met externe factoren worden factoren als wind, zonlicht, hardheid van het dartbord etc. bedoeld. Deze factoren worden tijdens het experiment constant gehouden door het in een controleerbare ruimte uit te voeren.

Deze factoren geven de hersenen een beeld van wat de uitgevoerde beweging was. Dit zou kunnen worden vergeleken met een kopie van de planning van de beweging zoals die naar de spieren was gestuurd (efferentie kopie). Het verschil tussen deze twee bewegingspatronen zal gebruikt worden om de planning te beïnvloeden zodat deze gebruikt kan worden voor de volgende worp.

Als we ervan uit gaan dat de externe factoren constant blijven tijdens het uitvoeren van het experiment, blijven de eerste drie factoren over. Uiteraard kunnen we de afwijking van de worp ten opzichte van de planning van de worp niet meten. Wat we wel kunnen meten is het resultaat van de worp en het doel van de worp (de taak die de persoon krijgt). Het verschil hier tussen is de fout in het resultaat van de worp.

Dit leidt tot de volgende vergelijking:

$$v_{n+1}^k = a * v_n^k + b * v_n^v + \varepsilon_n$$

Waarin:

v_{n+1}^k = fout in het resultaat van worp $n + 1$

v_n^k = fout in resultaat van worp n (Kinesthetische component)

v_n^v = fout in het resultaat van worp n (Visuele component)

ε = toevallige fout in het resultaat van worp n

a = de coëfficiënt van de kinetische feedback

b = de coëfficiënt van de visuele feedback

Hypothese hoofdvraag:

De hypothese is dat de visuele feedback de grootste invloed zal hebben op de planning van de volgende worp. Aangezien de mens relatief gezien een groot formaat hersenen heeft en dit evolutionair gezien door de specialisatie in visuele input zou komen, is de verwachting dat dit veel invloed heeft.³⁾

Experiment

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden zullen we de visuele feedback en de kinesthetische feedback moeten scheiden. Dit doen we door middel van drie verschillende condities met dezelfde opstelling.

Conditie 1: Visuele Feedback verandering

De darter gooit 50 keer een dart op het dartbord. Bij elke worp heeft de proefpersoon een bril op die dicht gaat op het moment van loslaten. De visuele feedback wordt op die manier geblokkeerd. Zodra de dart geland is, wordt deze gemeten en verplaatst in verticale richting.

De precieze plaats is van tevoren berekend door een lijst te maken van willekeurige getallen uit een Gaussische verdeling. Deze getallen stellen de verticale positie voor ten opzichte van het midden van het dartbord (de bull's eye). De dart wordt dus alleen in de verticale richting verplaatst. Hierdoor komt de verplaatsing geloofwaardig over en is deze makkelijk uit te voeren.

Nadat de dart verplaatst is en alles is opgemeten mag de persoon weer kijken. Hierdoor is de visuele feedback anders dan de kinesthetische feedback. Dit geeft ons dezelfde formule als in het theorie gedeelte:

$$v_{n+1}^k = a * v_n^k + b * v_n^v + \varepsilon_n$$

Waarin:

v_{n+1}^k = fout in het resultaat van worp $n + 1$

v_n^k = fout in resultaat van worp n (Kinesthetische component)

v_n^v = fout in het resultaat van worp n (Visuele component)

ε = toevallige fout in het resultaat van worp n

a = de coëfficiënt van de kinetische feedback

b = de coëfficiënt van de visuele feedback

Conditie 2: Geen Visuele Feedback

Ook hier gooit de darter 50 keer en gaat de bril dicht na het loslaten van de dart, maar de darter zal het resultaat niet mogen zien. De bril blijft dicht en gaat pas weer open op het moment dat de darter weer mag gaan gooien. Dit geeft de volgende functie:

$$v_{n+1}^k = a * v_n^k + \varepsilon_n$$

De visuele feedback component is hier dus weggelaten.

Conditie 3: Normaal darten

Ook hier gooit de darter 50 keer, maar dit keer zonder bril. Hierdoor zullen de visuele feedback en de kinesthetische feedback hetzelfde zijn. Dit geeft de volgende formule:

$$v_{n+1}^k = (a + b) * v_n^v + \varepsilon_n$$

De visuele feedback en de kinesthetische feedback zijn hierin bij elkaar opgeteld. Aangezien de fout hetzelfde is, is het alleen maar nodig om de constanten op te tellen en te vermenigvuldigen met de fout.

De experimenten zijn door de verschillende personen in verschillende volgorden uitgevoerd om leereffecten en vermoeidheidsverschijnselen te spreiden over de verschillende experimenten. Elk persoon heeft een geruime tijd gekregen om 'in te gooien'. Dit was vrij belangrijk gezien de apparatuur die de darter aan zijn lichaam gehangen kreeg. Dit maakte het gooien van de darts in het begin erg vreemd en onwennig, maar na een korte tijd ging het bij elke darter steeds beter en waren de fouten weer op hetzelfde niveau als zonder apparatuur.

Apparatuur

Om het experiment uit te kunnen voeren hebben we speciale meetinstrumenten nodig.

Voor het bepalen van het moment van loslaten werd er op de duim en wijsvinger van de persoon kopertape geplakt. Deze twee koperstrips werden gebruikt als elektrodes waartussen een spanning van twee Volt stond. Zolang het spanningsverschil nul was, was er contact en zodra het spanningsverschil twee volt werd, was er geen contact. Dit spanningsverschil werd gebruikt om de bril te laten sluiten, want zodra de dart is losgelaten is er geen contact tussen de elektrodes en moet de bril dicht. Een belangrijk punt is dat de darters geïnstrueerd werden om na elke worp hun vingers van elkaar te houden zodat de bril dicht bleef.

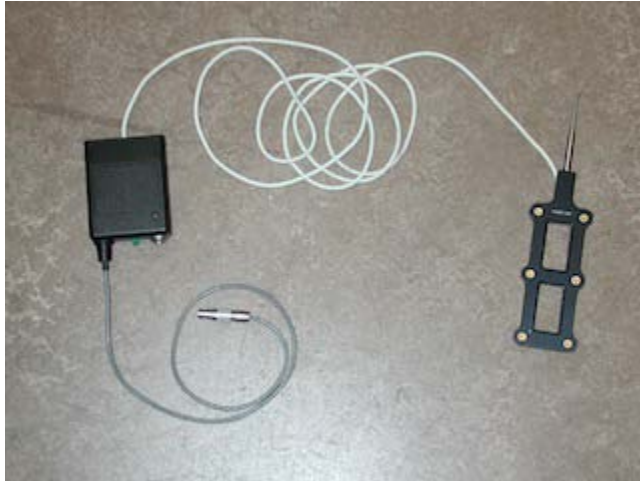
Om de positie van elke dart te kunnen meten werd een Pointer gebruikt. Dit is een pin met zes markers op een bepaalde afstand van elkaar.

Deze markers zenden met een bepaald interval infrarode straling uit(200 Hertz), die bij de Optotrak 3020 camera balk aankomt. Deze balk bevat drie camera's naast elkaar waardoor de positie van de markers in 3 dimensies kan worden gemeten.



Figuur 1: Een Optotrak 3020 balk.

Door middel van programmeren kon de positie van de punt van de Pointer goed bepaald worden. De punt van de pointer werd bij elke worp op dezelfde manier naast de dart op het bord gehouden. Om er voor te zorgen dat de fout van elke worp juist opgemeten werd, werd aan het begin een meting gemaakt van een dart in de bull's eye. Door de meting van de dart in de bull's eye van elke meting af te trekken werd de fout verkregen. Hierdoor werd de systematische fout van het meten naast de dart voor een groot gedeelte teniet gedaan.



Figuur 2: Een Pointer voor het Optotrak 3020 systeem

Om er voor te zorgen dat de darters het resultaat van elke worp, in de condities 1 en 2, niet te zien kregen hebben we gebruik gemaakt van een speciaal soort bril, een Plato bril. Van deze bril kunnen de glazen ondoorzichtig gemaakt worden door er een spanning op te zetten. De spanning van de elektrodes werd gebruikt als het ingangssignaal. Zodra dit signaal groter was dan 0 werd de spanning over de glazen vergroot en sloten de glazen. Door deze constructie was het dus mogelijk om het resultaat niet aan de darters te laten zien.



Figuur 3: De Plato bril.

Al deze instrumenten worden aangesloten op de computer, dan wel direct, dan wel via het Optotrak systeem. Op de computer werd het programma FBWM gebruikt⁵⁾. Dit is een programma dat geschreven is door een medewerker van de Faculteit Bewegingswetenschappen. Dit programma is vergelijkbaar met elk ander Optotrak programma, alleen is dit programma overzichtelijk en makkelijk in te stellen.

De frequentie van het meten van de markers en de spanning tussen de elektrodes werd in dit programma ingesteld op 200 Hz.



Figuur 4: De computer waar alle apparatuur op aangesloten werd.

Naast alle technische apparatuur is er uiteraard een dartbord gebruikt. Dit dartbord hing op de officiële hoogte (de 'bull's eye' hing 172.72cm boven de grond) en stond op de officiële afstand (de bull's eye stond op 236.86cm vanaf de darter). Het dartbord was geen normaal dartbord, maar een dartbord met ringen om de Bull's Eye heen in plaats van vakken. Hierdoor was het doel van elke worp duidelijk en ondervond men geen hinder van de ijzeren scheidslijnen tussen de vakken van een normaal dartbord. Voor het verplaatsen van de darts werd een tekenliniaal gebruikt. Deze hing aan een balkje aan de bovenkant van het dartbord. Door de tekenliniaal tegen de dart aan te schuiven kon de dart op een makkelijke manier in de verticale richting verplaatst worden.

Meetprocedure

De conditie waarbij de dart verplaatst werd vereiste een bepaalde manier van meten en handelen. Na elke worp van de persoon ging de bril dicht en werd de dart verplaatst. Om dit op een correcte manier te kunnen doen werd er gebruik gemaakt van een liniaal en een tweede dart. De liniaal hing verticaal naar beneden en werd tegen de dart aangehangen. De tweede dart werd op de plaats langs de liniaal neergezet die van te voren bepaald was.

Nadat deze handeling uitgevoerd was kon er gemeten worden. Dit werd gedaan door de pointer eerst tegen de gegooide dart te houden en daarna tegen de geplaatste dart te houden. Dit gebeurde in een meting.

Dit werd expres zo gedaan aangezien er niet teveel tijd mocht zitten tussen de worp en het laten zien van het resultaat. De reden hiervoor is dat een persoon niet heel veel langer dan een uur met een (staande) proef bezig kan zijn. De concentratie wordt dan minder en de vermoeidheid begint ook steeds meer invloed uit te oefenen op het resultaat. Een andere reden voor deze manier van meten is het feit dat het onderzoek gedaan werd door één experimentator. Hierdoor kon de meting niet gestart worden terwijl de pointer al de juiste plaats aan wees.

Doordat de metingen op deze manier uitgevoerd moesten worden waren er maximaal 50 worpen per conditie mogelijk.

Dataverwerking

De verwerking van de data van dit experiment was enigszins lastiger dan de dataverwerking van vergelijkbare experimenten met dezelfde apparaten. Dit komt door het soort experiment en de manier van meten die hierdoor vereist was.

Door de manier van meten is het niet mogelijk om een gemiddelde te nemen van alle datapunten om zo de juiste coördinaten te krijgen van de darts. Elke coördinaat moet apart geselecteerd worden door middel van een handig programma.

Dit gebeurt door het stellen van een aantal eisen:

1. De pointer moet stilstaan:

Dit betekent dat de datapunten voor een geruime tijd achter elkaar ongeveer hetzelfde moeten zijn. Er zitten twee soorten fouten in het meten, namelijk de fout van de Optotrak ($\pm 0.2\text{mm}$) en de fout van het niet compleet stil kunnen houden van de pointer. Uit deze fouten worden de grenzen opgesteld van de eis waaraan de achtereenvolgende punten moeten voldoen. Deze grenzen zijn hoeveel de opeenvolgende datapunten van elkaar mogen verschillen (1-1.5mm) en hoeveel de laatste van de eerste in een serie (die aan de eerste grens voldoen) mogen verschillen (2-3mm). Als deze grenzen te ruim genomen worden, zullen datapunten geselecteerd worden waarbij de pointer niet stil stond. Worden ze te klein genomen, zullen er geen datapunten geselecteerd worden en zijn er dus geen resultaten.

2. De pointer moet tegen het dartbord aan staan:

Hiervoor moet er een normaalvector opgesteld worden op het vlak van het dartbord. Dit wordt gedaan door drie punten op het dartbord te selecteren uit de data. Door te kijken in de data naar momenten dat de pointer stilstaat, deze punten te selecteren en vervolgens te plotten kunnen de juiste punten gevonden worden. Om zeker te zijn van deze punten moeten meerdere databestanden bekeken worden.

De onzekerheden van deze geselecteerde punten zijn: de fout van de Optotrak (0.2mm), het niet compleet stil kunnen houden van de pointer en, de belangrijkste fout, de mogelijkheid dat de pointer in een klein gaatje in het bord gehouden is. Mocht dit laatste het geval zijn bij een punt en de drie geselecteerde punten liggen dicht bij elkaar, dan kan de fout in de oriëntatie van het vlak vrij groot uitvallen. Voor een juiste oriëntatie van het vlak zullen er meerdere normaalvectoren opgesteld worden en hiervan zal het gemiddelde van worden berekend.

Belangrijk hierbij is dat de normaalvectoren allemaal de juiste kant op staan.

Nadat de gemiddelde normaalvector gedefinieerd is, kan de afstand van elk data punt uit een meting tot het vlak berekend worden. Om dit uit te kunnen rekenen laat men de normaalvector vanuit een punt in het vlak ontspringen en de verschilvector te berekenen tussen het data punt en hetzelfde punt in het vlak. Hierna geeft het inwendig product tussen de twee vectoren, gedeeld door de lengte van de normaalvector, de afstand.

Aangezien de oriëntatie van het vlak een redelijke onzekerheid bevat, moet er een vrij ruime grens genomen worden voor de afstand met betrekking tot het selecteren van de datapunten (1-2cm).

Nadat deze eisen gesteld zijn, kunnen aan de hand van deze eisen de juiste datapunten geselecteerd worden. Zodra dit gedaan is, kan het gemiddelde genomen worden van de geselecteerde datapunten. Dit geeft dan de punten waar de darts in het bord stonden.

Nu de juiste punten geselecteerd zijn, wordt hiervan de bull's eye meting afgetrokken zodat we coördinaten krijgen ten opzichte van het midden van het bord. Om de fout van de worp te berekenen (dus niet de meetfout) wordt de horizontale en de verticale afstand tot de bull's eye berekend. Nu de fout van elke worp bekend is, kan er een statistische analyse gedaan worden door middel van Multiple Regressie. Hieruit komen de Multiple Regressie coëfficiënten die corresponderen met de coëfficiënten in de formules.

Resultaten

Nadat in de dataverwerking de posities van de darts berekend zijn, wordt er een statistische analyse gedaan. De resultaten hiervan zijn hieronder zichtbaar.

De formules:

De conditie waarbij de feedback veranderd wordt:

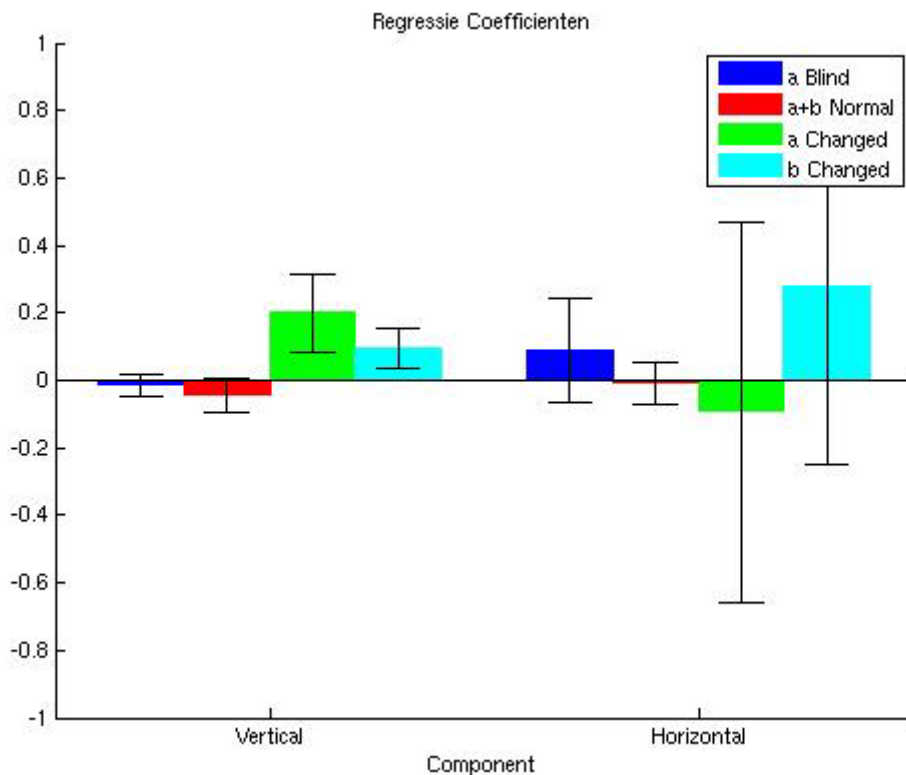
$$v_{n+1}^k = a * v_n^k + b * v_n^v + \varepsilon_n$$

De conditie waarin er geen visuele feedback is:

$$v_{n+1}^k = a * v_n^k + \varepsilon_n$$

De conditie waarin de visuele feedback hetzelfde is als de kinesthetische feedback ("normale" feedback):

$$v_{n+1}^k = (a + b) * v_n^v + \varepsilon_n$$



Figuur 5: Een staafdiagram met daarin de regressie coëfficiënten.

Allereerst kijken we naar de verticale component.

Als we kijken naar de condities waarbij er normale of geen visuele feedback was, zien we dat de coëfficiënten ontzettend klein zijn (bijna nul). Dit betekent dat er geen verband is tussen de fouten van opeenvolgende worpen.

Als we kijken naar de conditie waarbij de visuele feedback veranderd werd, zien we kleine, positieve coëfficiënten met een bijna even grote errorbar. Als men er vanuit zou gaan dat de visuele feedback het meeste de planning van de worp beïnvloed, zou men verwachten dat de b-coëfficiënt negatief zou zijn

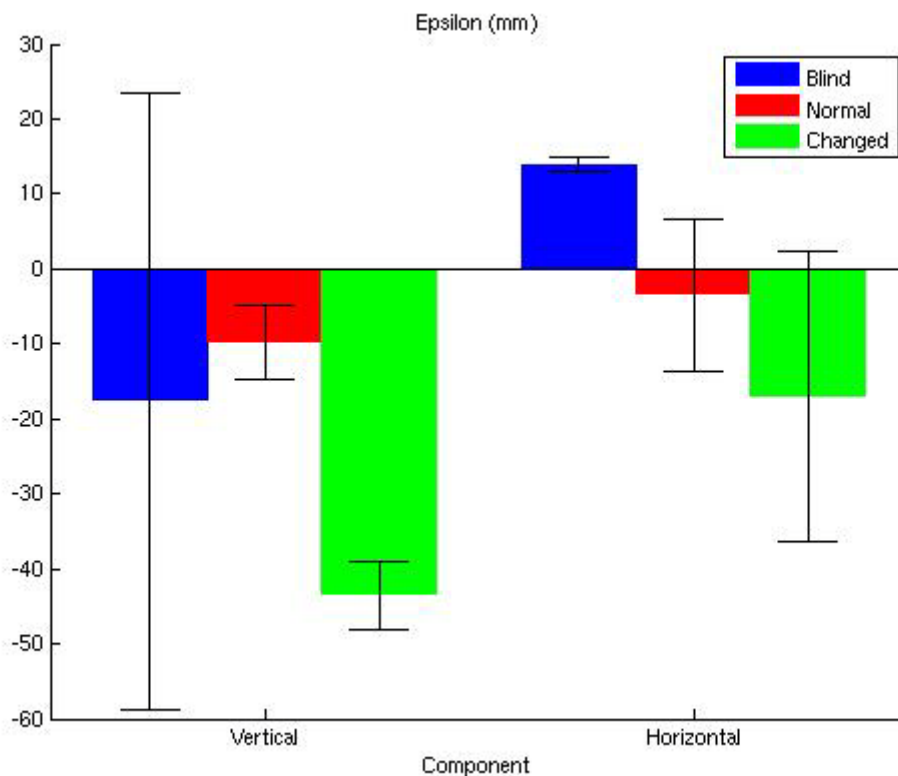
aangezien men compenseert voor een “foute” feedback en dus overcompenseert. De b-coëfficiënt is echter positief en heeft een grote errorbar(wat een conclusie een stuk lastiger maakt). Daarnaast zijn beide coëfficiënten voor deze conditie erg klein.

Nu kijken we naar de horizontale component.

Hiervoor geldt bijna hetzelfde als voor de verticale component. De coëfficiënten van de normale en blinde feedback conditie zijn erg klein met een grote errorbar. Dit betekent dat ook hier geen verband is tussen de fouten van opeenvolgende worpen.

De coëfficiënten van de conditie waarbij de feedback veranderd werd hebben beide een hele grote errorbar en zijn of heel klein of positief. Er is geen verband tussen opeenvolgende worpen bij deze conditie.

Als laatste kijken we naar de toevallige afwijking de worp.



Figuur 6: De gemiddelde toevallige afwijking van de worpen.

In het figuur hierboven is te zien wat de gemiddelde toevallige afwijking(epsilon) in elke worp was. Het gaat hier over het gemiddelde over alle worpen van de vier proefpersonen onder dezelfde conditie. Epsilon is alleen voor de conditie met normale, visuele feedback klein. Dit betekent dat er bij die conditie geen systematische afwijking was.

De andere condities (geen visuele feedback en verandering van visuele feedback) hebben een grote epsilon. Bij deze condities was er een systematische afwijking.

De errorbars zijn voor bijna alle condities en componenten (behalve bij de verticale component van de “changed” en de horizontale component van de blinde conditie) vrij groot in vergelijking met de grootte van de bijbehorende epsilon. Dit maakt het trekken van conclusie lastig.

Conclusie

Doordat er geen verband zit tussen opeenvolgende worpen kunnen we tot de conclusie komen dat de visuele feedback en de kinesthetische feedback geen grote rol spelen in het plannen van de volgende worp.

De verklaring hiervoor kan liggen in het feit dat er een bepaalde tijd tussen de worpen zat waardoor de informatie van de beide soorten feedback vervaagt in die tijd. Hierdoor zou deze informatie dus niet gebruikt kunnen worden voor de planning van de worp.

Een andere mogelijkheid is dat de planning van elke worp voor een groot gedeelte opnieuw gebeurt. Dit zou betekenen dat feedback een veel kleinere rol speelt dan gedacht.

Bij de conditie waarbij er geen visuele feedback was en de conditie waarbij de visuele feedback veranderd werd, was er een systematische afwijking in het gooien. De darters wierpen dus systematische onder, boven, links of rechts van de roos. Dit in tegenstelling tot de conditie waarbij de visuele feedback "normaal" was.

Het verwijderen of beïnvloeden van de visuele feedback heeft dus wel invloed, maar wat die invloed precies is is statistische niet aan te tonen.

Discussie

In de dataverwerking zitten geen bijzonder grote fouten.

De fout van de Optotrak is ± 0.2 mm, dus de bepaling van de positie van de punt van de pointer is vrij exact. In het punt dat aangewezen dient te worden (de positie van de dart) zit echter veel meer onzekerheid. Allereerst is er het feit dat de punt van de pointer (elke keer aan dezelfde kant) naast de dart geplaatst wordt, in plaats van op de precieze plaats van de dart. Om deze systematische afwijking tegen te gaan wordt de bull's eye op dezelfde manier gemeten en later van de dart-posities afgetrokken. De onzekerheid van het plaatsen van de pointer blijft echter bestaan en is in de orde van ± 5 mm. De onzekerheid in de oriëntatie van het vlak dat opgespannen is om de afstand van elk punt tot het bord te bepalen, is voor een groot gedeelte irrelevant. Het vlak is namelijk een middel om de juiste punten te selecteren. De onzekerheid in de oriëntatie maakt het selecteren van de juiste punten lastig, maar nadat de juiste punten geselecteerd zijn valt deze onzekerheid weg. Dit komt doordat deze afstand niet in de statistische berekeningen voorkomt. Deze onzekerheid komt echter wel terug bij het berekenen van de hoek van de dart op het moment van loslaten. Doordat de normaalvector een gemiddelde is van meerdere normaalvectoren blijft de onzekerheid relatief beperkt.

Bij bijna elke darter ging er af en toe wel eens een dart naast het bord. Dit zorgt uiteraard voor een afwijking in de statistiek. Het kwam ook voor dat het bord gemist werd, maar de plaat achter het bord geraakt werd. Dit zorgde voor een ander geluid dan wanneer de dart in het bord landde. De verandering van geluid was voor de darter een aanwijzing dat de dart het bord mistte. Dit zal dus waarschijnlijk invloed gehad hebben op de volgende worp.

Naast het feit dat het geluid een grote invloed had op de volgende worp, was de worp ook niet bruikbaar voor de analyse. Hierdoor is er op dat moment geen correlatie tussen de worp voor het missen van het dartbord en de worp erna. Dit heeft de hoeveelheid bruikbare meetseries sterk beperkt en heeft zelfs geleid tot de beslissing om de data van twee proefpersonen niet te gebruiken. Bij deze proefpersonen gingen er te veel darts naast het bord.

Het dartbord was gemonteerd op een rijdend statief. Het stond vrij stabiel, maar het was een mogelijkheid dat het een klein beetje verschoof. Dit was voor de onderzoeker niet merkbaar, maar dit kan dus wel een onzekerheid opleveren. De onzekerheid is hierbij dus onbekend en het is ook niet geconstateerd.

De losse markers op de duim zaten bij elke darter zo veel mogelijk hetzelfde, maar er is natuurlijk een onzekerheid in de positie van deze markers. Hiernaast is de positie van de marker een redelijke maatstaf voor de positie van de dart, maar het blijft een hele ruwe benadering.

De meeste darters gaven aan dat ze wat tactiele informatie misten tijdens het gooien van de darts doordat de elektrodes op de vingers zaten. Het gevoel in de vingers werd vaak aangegeven als een belangrijk stukje informatie voor het goed uit kunnen voeren van het laatste gedeelte van de worp (het loslaten). Een laatste draai aan de dart (ook wel spin genoemd) die gepland stond in de hersenen kon niet uitgevoerd worden doordat het kopertape te glad was. De hersenen leken dit echter vrij goed op te lossen door deze draaiing niet meer te plannen en hiervoor te compenseren in andere variabelen. Een goed getrainde darter zal hier waarschijnlijk meer last van ondervonden hebben.

In het theorie gedeelte is er uitgegaan van twee afzonderlijke vormen van feedback die geen invloed hebben op elkaar. De vraag is echter of dit wel volledig klopt. Het is ook een mogelijkheid dat de visuele informatie wordt gebruikt om de kinesthetische informatie te bevestigen of te ontcrachten. Deze

informatie zou dit onderzoek een andere invalshoek hebben kunnen geven en dit zou een goed punt kunnen zijn om verder te onderzoeken.

Een opmerking van een van de darters was dat het 'gevoel van de worp' (kinesthetische informatie) vervaagt na een bepaalde tijd. Zodra de tijd tussen het gooien van de dart en het laten zien van het resultaat te lang is, zou het eventueel kunnen zijn dat een gevoel van bijvoorbeeld 'te veel naar rechts' vervaagt.

Advies voor vervolg onderzoeken

- Voor het goed uit kunnen voeren van het experiment zijn twee onderzoekers een vereiste. Het meten wordt hierdoor makkelijker en de data makkelijker verwerkbaar, omdat de metingen gestart kunnen worden op het moment dat de pointer al op de juiste plaats staat. Het aantal metingen kan hierdoor ook verhoogd worden, omdat het meten sneller gaat.
- Het gebruik van een stevige, vaste stelling voor de montage van het dartbord is een vereiste. Hierdoor is er meer zekerheid tijdens het meten dat het dartbord op de plaats blijft staan.
- Op tijd beginnen met het zoeken van vrijwilligers maakt het makkelijker om andere zaken goed te plannen. Het vinden van mensen die 3 uur van hun dag kwijt kunnen is lastig en aangezien iedereen volle agenda's heeft, wordt het nog lastiger. Mensen willen vaak wel graag helpen, maar hebben op korte termijn vaak geen tijd.
- Probeer mensen te zoeken die redelijk goed kunnen darten. Hierdoor heb je minder worpen die naast het bord belanden en is de statistiek veel sterker.
- Een plaat van kurk rondom het dartbord kan de geluiden van het missen van het bord wegnemen. Hierdoor zal het geluid van het missen van het bord geen invloed meer uitoefenen op de volgende worp. Naast dit feit is het dan ook mogelijk om de mis geworpen darts mee te nemen in de analyse.

Bronvermelding

- ¹⁾ F.H. Martini, J.L. Nath, E.F. Bartholomew - Fundamentals of Anatomy & Physiology Ninth Edition p.501
- ²⁾ Faisal et al., 2008 - Nature Reviews Neuroscience 9, 292-303 (April 2008)
- ³⁾ Visual specialization and brain evolution in primates - Proceedings of the Royal Society. Series B: Biological Sciences, 265, 1933–1937
- ⁴⁾ J.B.J. Smeets, M.A. Frens, E. Brenner - Throwing darts: timing is not the limiting factor, 2002
- ⁵⁾ Voor meer informatie over het programma neem contact op met Technische Ondersteunende Dienst
FBW: abc.fbw@vu.nl