

## Samenvatting

Ons vermogen om gereedschappen te hanteren is een belangrijke stap in de evolutie geweest. Deze bedrevenheid wordt vaak toegeschreven aan de ontwikkeling van ons denkvermogen, maar ze komt evenzeer voort uit de ontwikkeling van visueel-motorische vaardigheden. Als je naar iets reikt komt hetgeen wat je je hand ziet doen overeen met hetgeen wat je je hand voelt doen (kinesthesie). Ons visueel-motorisch systeem integreert visuele en kinesthetische informatie om motor commando's te plannen voor de aansturing van de spieren. Gereedschappen veranderen de relatie tussen wat onze spieren doen en het effect van deze acties. Een manier om daar mee om te gaan is het veranderen van de koppeling tussen wat we zien en wat we voelen. Oftewel, we moeten adapteren aan de nieuwe ruimtelijke relatie tussen visuele en kinesthetische informatie. De wijze waarop dit gebeurt kan ons veel vertellen over de werking van visueel-motorisch handelen. De adaptatie aan een verstoring van de normale relatie tussen visus en kinesthesie wordt beperkt door de opbouw van het visueel-motorische systeem. De karakteristieken van de adaptatie reflecteren zodoende de eigenschappen van dit systeem.

In de studies die staan beschreven in dit proefschrift wordt onderzocht hoe het visueel-motorisch systeem visuele en kinesthetische informatie gebruikt om doelgerichte armbewegingen te plannen. In verschillende experimenten meten we hoe proefpersonen de kinesthetisch waargenomen positie van hun hand matchen met een visueel waargenomen positie door ze een echte kubus naar een gesimuleerde kubus te laten bewegen. Daarnaast wordt bekeken hoe dit verandert tijdens adaptatie aan een verstoring in de relatie tussen visuele en kinesthetische informatie. We bestuderen welke ruimtelijke informatie wordt gebruikt om het eindpunt van de armbeweging naar de gesimuleerde kubus te bepalen en hoe deze informatie is gerepresenteerd.

### Eindpunt specificatie

Het eindpunt van een beweging kan in het motor commando worden beschreven als een positie ten opzichte van de persoon zelf; in egocentrische coördinaten (positiecodering), maar ook ten opzichte van de startpositie van de hand. In dit laatste geval beschrijft het motor commando de richting en afstand van de vereiste verplaatsing van de hand (vectorcodering). Vector codering impliceert dat het visueel-motorisch systeem informatie gebruikt over de startpositie van de hand bij de bepaling van het eindpunt. In het geval van positiecodering wordt informatie over de startpositie van de hand niet gebruikt.

Het bepalen van een eindpunt van een armbeweging gaat niet zonder het maken fouten. Deze fouten kunnen ontstaan door ruis in de geplande parameters en

veroorzaken variabiliteit in de eindpunten. Afhankelijk van welke parameters gespecificeerd worden ontstaan karakteristieke patronen van eindpuntfouten. Door de fouten te analyseren kan men achterhalen welke parameters in het motor commando worden beschreven. In de studie van hoofdstuk 2 bewegen de proefpersonen een echte, voor de proefpersoon niet zichtbare kubus naar een visuele simulatie van een kubus. De gesimuleerde kubus wordt achtereenvolgens op verschillende posities aangeboden. Het eindpunt van één van deze bewegingen is dan het startpunt van een volgende beweging. Onder deze condities voorspelt het principe van vectorcodering dat de variabiliteit van eindpunten de som is van de variabiliteit in startposities en de variabiliteit in de planning van de verplaatsing. Positiecodering voorspelt dat de variabiliteit in verplaatsingen de som is van de variabiliteit in start- en eindposities. Uit de metingen blijkt dat onder de onderzochte omstandigheden de eindpunten van bewegingen positie gecodeerd zijn.

### Mismatches tussen visuele en kinesthetische informatie

Om te kunnen adapteren aan veranderingen in de relatie tussen visuele en kinesthetische informatie moet de mismatch tussen deze bronnen van positie informatie goed worden geregistreerd door het visueel-motorisch systeem. Beide bronnen van informatie hebben hun eigen onnauwkeurigheden, welke bovendien richtingsafhankelijk zijn. Deze onnauwkeurigheden kunnen effect hebben op de detectie van mismatches en zodoende de adaptatie aan een mismatch beïnvloeden. In de studies van hoofdstuk 3 bepalen we hoe goed mismatches tussen visus en kinesthesie van verschillende groottes en in verschillende richtingen worden gedetecteerd. Vervolgens toetsen we de mate waarin proefpersonen adapteren aan deze mismatches. De resultaten laten zien dat mismatches in diepte minder snel worden waargenomen dan zijwaartse mismatches, maar dat de mate van adaptatie vergelijkbaar is voor deze verschillende verstoringen.

### Egocentrische parameters voor adaptatie

De wijze waarop het visueel-motorisch systeem adapteert aan visueel-kinesthetische mismatches is afhankelijk van de parameters die gebruikt kunnen worden om de relatie tussen visus en kinesthesie te veranderen. De resultaten van hoofdstuk 2 laten zien dat eindpunten van armbewegingen in termen van egocentrische parameters worden gecodeerd. Mogelijk hangt adaptatie samen met de mate waarin de mismatch geïnterpreteerd kan worden als een verandering in deze egocentrische parameters. In hoofdstuk 4 onderzoeken we adaptatie aan translaties, rotaties en expansies van de visuele informatie over positie. Deze verstoringen verschillen in hoeverre ze aan egocentrische parameters gerelateerd kunnen worden. Laterale translaties lijken op veranderingen in de oriëntatie van de ogen, de oriëntatie van het hoofd, of de oriëntatie van de arm. Expansies kunnen benaderd worden als veranderingen in de afstand vanaf de ogen of het hoofd. Rotaties om een punt in de externe ruimte zijn

veel moeilijker te relateren aan egocentrische parameters. De resultaten laten zien dat de proefpersonen meer adapteren aan translaties dan aan expansies en nauwelijks aan rotaties. In een volgend experiment is bekeken of de adaptatie meer gerelateerd is aan parameters die oog- of hoofd-, of armoriëntatie beschrijven. Als de adaptatie op het niveau van de ogen of het hoofd plaatsvindt, verwacht je een gelijk effect van de adaptatie voor beide armen (transfer van adaptatie). Wanneer de adaptatie vooral plaatsvindt op het niveau van de arm die is blootgesteld aan de verstoorde informatie, verwacht je verschillende effecten voor de twee armen. We vonden dat de mate van adaptatie aan expansies gelijk was voor beide armen en dat de adaptatie aan translaties vooral gekoppeld was aan de arm.

### **Adaptatie aan oogcentrische en schoudercentrische verstoringen**

Uit de studies van hoofdstuk 4 bleek dat bij adaptatie aan een translatie de transfer van adaptatie naar de andere arm niet volledig was. Een deel van de adaptatie vindt dus plaats op het niveau van de ogen (of het hoofd) en een deel op het niveau van de arm. In hoofdstuk 5 bestuderen we of proefpersonen selectief kunnen adapteren op het niveau van de ogen of de arm. We onderzoeken de effecten van adaptatie aan rotaties van de visuele informatie om het oog (oogcentrisch) en om de schouder (schoudercentrisch). Mogelijk adapteren proefpersonen op het niveau van het oog aan oogcentrische verstoringen en op het niveau van de schouder aan schoudercentrische verstoringen. De proefpersonen blijken adequate te compenseren voor beide type verstoringen. Onderzoek naar de transfer van adaptatie laat echter zien dat proefpersonen niet selectief parameters veranderen op het niveau van de ogen of de schouder, maar dat de adaptatie op meerdere niveaus plaatsvindt.

