

VU Research Portal

Endpoint control in fast point-to-point elbow rotations:

Pinter, I.J.

2012

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Pinter, I. J. (2012). *Endpoint control in fast point-to-point elbow rotations: Contribution of the dynamical properties of the peripheral motor system to the control of movement.* [, Vrije Universiteit Amsterdam].

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Nederlandse samenvatting

In ons dagelijks leven zijn we in staat om snelle en doelgerichte bewegingen te maken ondanks dat de bewegingstrajecten en de externe lading iedere keer variëren. Hierdoor variëren ook de benodigde netto gewrichtsmomenten en de spieractivatiepatronen. Binnen de bewegingssturing zijn er verschillende ideeën over hoe het brein in de context van deze variëteit aan bewegingen een goed stuursignaal naar de spieren kan genereren. Sommige bewegingswetenschappers stellen dat het brein uit een gewenst bewegingstraject de benodigde netto gewrichtsmomenten berekent en deze vervolgens omzet in een stuursignaal. Hiervoor is gedetailleerde kennis nodig van zowel het perifere motorisch systeem (het spierskeletstelsel inclusief de spierspoelreflexbanen) als van de externe condities (bijv. de massa van een object dat gedragen wordt, of de bewegingsrichting in het zwaartekrachtsveld). Zelfs al is ons brein in staat om deze kennis te verwerven (Wolpert en Ghahramani 2000) dan blijft het de vraag of, om doelgerichte bewegingen te sturen, inderdaad intensief gebruik gemaakt wordt van rekenkundige processen om gewrichtsmomenten te berekenen.

Als alternatief zijn er bewegingswetenschappers die stellen dat het brein alleen het eindpunt van de beweging plant en stuurt (Bizzi en Abend 1983; Feldman 1986; Gribble, et al. 1998B; Kistemaker, et al. 2006). Hun ideeën zijn gebaseerd op de bevinding dat het perifere motorisch systeem in gedrag vergelijkbaar is met een massa-veer-demper systeem. Kenmerkend voor zo'n systeem is dat het (indien stabiel) altijd relaxeert in een evenwichtstoestand of evenwichtspunt zolang er in dit evenwichtspunt geen externe stoorkracht actief is. Het brein zou bij het aansturen van bewegingen het evenwichtspunt van het perifere motorisch systeem (EP) kunnen instellen. Deze vorm van bewegingssturing noem ik eindpuntsturing. Het heeft als voordeel dat er geen intensief gebruik wordt gemaakt van rekenkundige processen. Een gepland eindpunt van een beweging kan direct omgezet worden in een stuursignaal dat een EP specificiert. De gewrichtsmomenten en spieractivatiepatronen ontstaan op basis van de visco-elastische eigenschappen van het perifere motorisch systeem.

In dit proefschrift onderzoek ik of er evidentie is voor eindpuntsturing in point-to-point elleboogrotaties door te onderzoeken of gedetailleerde kennis van de externe lading gebruikt wordt bij het genereren van een stuursignaal. Om conclusies te kunnen trekken over het gegenereerde stuursignaal was het niet wenselijk dat proefpersonen tijdens hun bewegingen hun stuursignaal aanpasten om de experimentele manipulatie te compenseren. Daarom zijn de experimenten in dit proefschrift zo opgezet dat proefpersonen niet de tijd en/of de informatie hadden om hun stuursignaal aan te passen tijdens het deel van de beweging dat ik onderzoek.

In het in hoofdstuk 2 omschreven experiment bracht ik vlak voor de aanvang van de beweging een kleine (25%) verandering in het inertiale moment aan net buiten het

gezichtsveld van de proefpersoon. Ik vond dat als de verandering in inertiale moment onverwacht kwam (eerste trial na de verandering), het eerste omkeerpunt van de beweging niet veranderde ondanks dat het stuursignaal niet was aangepast op het nieuwe inertiale moment. Dit betekent dat de visco-elastische eigenschappen van het perifeer motorisch systeem de netto gewrichtsmomenten hadden aangepast om de onderarm (met het nieuwe inertiale moment) van start- naar eindpositie te brengen, weliswaar met andere kinematica van de beweging. Ook vond ik dat als het nieuwe inertiale moment over de daaropvolgende 11 trials constant werd gehouden, proefpersonen hun stuursignaal gingen aanpassen. Hieruit concludeer ik dat proefpersonen in ieder geval meer doen dan hun eindpunt reguleren. Of voor deze aanpassing kennis van het nieuwe inertiale moment werd gebruikt om op basis van geplande bewegingstrajecten de benodigde gewrichtsmomenten en spieractivatiepatronen te berekenen is met deze experimentele opzet (aanpassing aan inertia) niet te bepalen. Het is mogelijk dat proefpersonen de mate van cocontractie aanpasten in een poging om de gewrichtstijfheid en daarmee de snelheid van de beweging te beïnvloeden.

In het experiment omschreven in hoofdstuk 3 gebruik ik een verstoring waarvan het aannemelijk is dat ons brein er kennis van heeft: de zwaartekracht. Literatuur omtrent het sturen van bewegingen in het zwaartekrachtsveld laat zien dat in de aansturing van doelgerichte armbeweging de momenten van de zwaartekracht op de arm worden geanticipeerd (Crevecoer, et al. 2009; Gentili, et al. 2007). De vraag is of deze anticipatie tot stand komt op basis van een berekening van de momenten van de zwaartekracht op basis van een gepland bewegingstraject (a-priori-kennis). Om dit te onderzoeken heb ik elleboogrotatie gemeten in een opstelling die in zijn geheel (inclusief proefpersoon) gekanteld kan worden in het zwaartekrachtsveld. De proefpersonen maakten na een kanteling anatomisch gezien dezelfde elleboogrotatie, maar met andere momenten van de zwaartekracht op de onderarm. De resultaten van deze meting laten zien dat voor de eerste trial in nieuwe oriëntatie het stuursignaal niet specifiek is aangepast op de momenten van de zwaartekracht. Als in de tweede en de daaropvolgende trials a-posteriori-kennis van de momenten van de zwaartekracht aanwezig is, wordt het stuursignaal wel specifiek aangepast op bewegen in het horizontale vlak. Omdat ik vind dat specifieke a-priori-kennis van de momenten van de zwaartekracht niet werd gebruikt bij het genereren van een stuursignaal, lijkt het me niet waarschijnlijk dat proefpersonen op basis van geplande bewegingstrajecten de benodigde netto gewrichtsmomenten berekenden.

Voor de eerste trial in een nieuwe oriëntatie ten opzichte van de zwaartekracht concludeer ik dat het stuursignaal niet specifiek is aangepast op de momenten van de zwaartekracht. Toch vind ik geen grote eindpuntfouten in deze trials. Om te onderbouwen dat deze resultaten niet strijdig zijn zal ik moeten laten zien dat de dynamische eigenschappen

van het perifere motorisch systeem rond de elleboog grotendeels kunnen compenseren voor de momenten van de zwaartekracht op de onderarm. In hoofdstuk 4 valideer ik een eerder ontwikkeld spierskeletmodel van de elleboog (Kistemaker, et al. 2006) om een goede representatie te krijgen van de intrinsieke elastische eigenschappen van de spieren. In hoofdstuk 5 laat ik zien dat indien een model wordt gebruikt met een uitgebreide representatie van de visco-elastische eigenschappen van het perifere motorisch systeem (uit zowel intrinsieke spiereigenschappen als uit de spierspoelfeedback), dit model voorspelt dat eindpuntfouten klein blijven in het geval dat het stuursignaal niet specifiek is aangepast op de momenten van de zwaartekracht.

Hoofdstuk 4 omschrijft een experiment waarmee de moment-hoek relaties van de elleboog worden gemeten. Met deze moment-hoek relaties heb ik een eerder ontwikkeld spierskeletmodel van de elleboog (Kistemaker, et al. 2006) gevalideerd: dat wil zeggen dat ik de spierparameters van het model heb bijgesteld, zodat de door het model voorspelde moment-hoek relaties overeenkomen met de gemeten moment-hoek relaties. Het gevalideerde model geeft hiermee een realistische representatie van de elastische eigenschappen van het perifere motorisch systeem rond de elleboog (de Vlugt, et al. 2006). En hiermee ook van de mate waarmee de elleboog kan compenseren voor een positieafhankelijk moment van de zwaartekracht.

In hoofdstuk 5 wordt een vergelijking gemaakt tussen vier type modellen van de elleboog die in de literatuur over bewegingssturing zijn gebruikt voor het interpreteren van gemeten responses op een externe verstoring van een armbeweging. Deze modellen verschillen in de mate waarin de visco-elastische eigenschappen van het perifere motorisch systeem worden gesimplificeerd. Voor elk type model werden drie soorten verstoringen in externe condities gesimuleerd: een positieafhankelijk extern moment (zwaartekracht), een snelheidsafhankelijk extern moment en een inertiaële verstoring. Het stuursignaal werd niet aangepast op de verstoring. Ik vond dat de vier type modellen verschillende responses op een gegeven verstoring lieten zien. Bijvoorbeeld: het toevoegen van de zwaartekracht had weinig invloed op de eindhoek, indien een model wordt gebruikt met een gedetailleerde omschrijving van de visco-elastische eigenschappen. Dit in tegenstelling tot als er een meer gesimplificeerd model wordt gebruikt; dan wordt namelijk de eindhoek sterk beïnvloed door het moment van de zwaartekracht op de onderarm en is er een aanpassing in het stuursignaal nodig om de eindhoek te controleren voor het moment van de zwaartekracht. Dit betekent dat de conclusies omtrent bewegingssturing, die zijn afgeleid uit gemeten responses op een externe verstoring, afhangen van het type model dat wordt gebruikt om de visco-elastische eigenschappen van het perifere motorisch systeem te omschrijven.

In dit proefschrift laat ik zien dat door de regulerende visco-elastische eigenschappen van het perifere motorisch systeem gedetailleerd kennis over de externe condities niet essentieel is voor het genereren van een stuursignaal voor point-to-point elleboogrotaties. Uit de experimenten blijkt dat proefpersonen hun stuursignaal wel aanpassen op kleine veranderingen in externe condities. Verder blijkt dat bij het aansturen van point-to-point elleboogrotaties specifieke a-priori-kennis over de momenten van de zwaartekracht op de onderarm niet wordt gebruikt. Dit ondermijnt het idee dat het brein de benodigde netto gewrichtsmomenten berekent vanuit een gepland bewegingstraject. Dat de proefpersonen hun bewegingen aanstuurden door een evenwichtspunt van het perifere motorisch systeem in te stellen waarmee zowel de evenwichtshoeken als de stijfheid in dit punt wordt voorgeschreven, blijft een mogelijkheid. Hiermee kan met eindpuntsturing een goede verklaring worden gegeven voor het feit dat we in ons dagelijks leven onder steeds variërende omstandigheden onze doelgerichte armbewegingen kunnen aansturen.