

VU Research Portal

Neural dynamics of human motor control

Boonstra, T.W.

2007

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

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

citation for published version (APA)

Boonstra, T. W. (2007). *Neural dynamics of human motor control*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam]. Print Partners Ipskamp.

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

Samenvatting

Neurale dynamica van de bewegingssturing

De mens is in staat om met grote precisie naar doelen te bewegen, ritmische patronen te produceren, krachten op de omgeving uit te oefenen en voorwerpen op te pakken. Deze motorische vaardigheden komen tot stand dankzij een gecoördineerd samenspel van onze spieren. Bij dit samenspel is een groot aantal neurale structuren betrokken, waaronder het ruggenmerg, de basale kernen en de cerebrale cortex. Hoe deze neurale structuren elkaar via informatie-uitwisseling beïnvloeden wordt al geruime tijd onderzocht, maar dit heeft nog niet tot algemeen aanvaarde antwoorden geleid. De in dit proefschrift beschreven experimenten hadden tot doel meer inzicht te verschaffen in de interacties tussen de neurale structuren die bij bewegingssturing betrokken zijn. In deze experimenten werden factoren gemanipuleerd die de taakuitvoering beïnvloeden, zoals spiervermoeidheid, slaapdeprivatie, bewegingssnelheid en de moeilijkheidsgraad van de taak. Verwacht werd dat deze manipulaties zouden leiden tot modulaties in neurale activiteit, zoals gemeten met electromyografie (EMG) en magneto-encephalografie (MEG). Gedetailleerde analyse van deze modulaties zou vervolgens inzicht moeten geven in de aard en functie van de bestudeerde activiteit.

In hoofdstuk 1 wordt het theoretisch kader van het onderzoek geschetst. Binnen het onderzoek naar de relatie tussen hersenen en gedrag zijn verschillende benaderingen te onderscheiden, elk met hun eigen uitgangspunten. Enerzijds zijn er benaderingen waarin voornamelijk geprobeerd wordt de verschillende hersenstructuren, die betrokken zijn bij de sturing van bewegingen, in kaart te brengen om zo een idee te krijgen van hun functies. Andere benaderingen richten zich juist op het samenspel van activiteit tussen deze hersenstructuren. Het onderzoek in dit proefschrift behoort tot de tweede categorie en volgt een benadering die stoelt op de dynamische-systeemtheorie. Vanuit deze invalshoek wordt de neurale activiteit beschouwd in termen van gekoppelde neurale oscillatoren. Wiskundig gezien kunnen dergelijke systemen allerlei gedragingen vertonen waarin verschillende regimes zijn te onderscheiden. Zo blijkt uit empirisch onderzoek dat verschillende neuronen of groepen van neuronen synchroon gedrag vertonen dat beïnvloed wordt door wat de proefpersoon waarneemt of doet. In hoofdstuk 1 wordt kort de literatuur over het centrale begrip neurale synchronisatie en de

functionele betekenis daarvan besproken. Om meer inzicht te krijgen in de rol van synchronisatie bij bewegingssturing werd een reeks van experimenten uitgevoerd, waarin, zoals gezegd, verschillende variabelen werden gemanipuleerd om de effecten daarvan op de neurale synchronisatie te bestuderen.

In hoofdstuk 2 worden twee experimenten behandeld waarin het effect van spiervermoeidheid op de synchronisatie tussen motorische eenheden wordt onderzocht. Een motorische eenheid bestaat uit een motorneuron in het ruggenmerg en de spiervezels die door dit neuron worden aangestuurd. Motorneuronen worden op hun beurt aangestuurd door hoger gelegen neurale structuren. De verwachting was dat de gezamenlijke aansturing van verschillende motorische eenheden, en daarmee de mate van hun synchronisatie, zou toenemen bij toenemende spiervermoeidheid.

In beide experimenten voerden de proefpersonen een taak uit waarin zij continu een bepaalde kracht moesten leveren door de kniestrekkers in beide benen isometrisch aan te spannen. In het eerste experiment werd spiervermoeidheid geïnduceerd door de lichaamshouding van de proefpersoon te veranderen, zodat het steeds moeilijker werd om deze houding vol te houden. In het tweede experiment moest de geproduceerde kracht verhoogd worden bij dezelfde houding. Synchronisatie werd gekwantificeerd in termen van de coherentie tussen oppervlakte-EMG's. In twee frequentiebanden werd synchronisatie gevonden, namelijk tussen 6 en 11 Hz en tussen 13 en 18 Hz. Deze synchronisatie was sterker tussen de activiteit van spieren binnen één been dan tussen dezelfde (homologe) spieren van beide benen. Naarmate proefpersonen vermoeider raakten nam ook de synchronisatie tussen de activiteit van de homologe spieren toe in de frequentieband van 6 tot 11 Hz. Dit verschijnsel is vergelijkbaar met het 'motor overflow'-fenomeen, waarbij aanspanning van een enkele ledemaat leidt tot spieractiviteit in de andere ledemaat. De toegenomen synchronisatie en het 'motor overflow'-fenomeen hangen mogelijk met elkaar samen, omdat beide optreden tijdens spiervermoeidheid en tevens duiden op een toenemende koppeling tussen ledematen. De waargenomen synchronisatie tussen motorische eenheden in de frequentieband van 13 tot 18 Hz vertoonde echter geen duidelijke verandering met spiervermoeidheid, maar leek meer beïnvloed te worden door de ingenomen houding.

In hoofdstuk 3 wordt de relatie tussen 'motor overflow' en de synchronisatie tussen motorische eenheden van homologe spieren verder onderzocht. Dit

gebeurt aan de hand van een experiment waarin de synchronisatie tussen motorische eenheden van (vermoede) homologe bovenarmspieren werd vergeleken bij buiging en strekking van de elleboog. Net als in hoofdstuk 2 werd synchronisatie gevonden in de frequentieband van 8 tot 12 Hz en deze nam weer toe met spiervermoeidheid. De toename in synchronisatie met vermoeidheid was sterker voor de elleboogstrekkers dan voor de -buigers. Deze bevinding komt overeen met de onderzoeksresultaten van eerdere studies waarin een sterkere 'motor overflow' wordt gerapporteerd voor strekkers dan voor buigers.

In tegenstelling tot het onderzoek uit hoofdstuk 2 werd geen synchronisatie gevonden in de frequentieband van 13 tot 18 Hz. Dit is in overeenstemming met het idee dat synchronisatie in deze frequentieband gerelateerd is aan balanshandhaving en dus niet zal optreden tussen bovenarmspieren. De resultaten ondersteunen het idee dat de gezamenlijke aansturing van homologe spieren functioneel georganiseerd is.

Het in hoofdstuk 4 gerapporteerde experiment beschrijft het effect van slaapdeprivatie op hersenactiviteit tijdens een taak waarin proefpersonen op geleide van auditieve signalen ritmisch kracht moesten produceren. Tijdens de uitvoering van deze taak werd MEG-activiteit gemeten. Het experiment vond plaats op twee opeenvolgende dagen. Gedurende de hele nacht tussen beide dagen werden de proefpersonen wakker gehouden, zodat ze op de tweede dag tenminste 24 uur niet geslapen hadden. Het effect hiervan op de hersenactiviteit werd bepaald aan de hand van de distributie van spectraal vermogen en de sterkte van de corticale activiteit in aan het gehoor en de motoriek gerelateerde velden. Principale Componenten Analyse (PCA) toonde aan dat de activiteit in deze velden een kleinere amplitude had na slaapdeprivatie. Verder verschoof het vermogen in de alpha-frequentieband van meer occipitale naar meer frontale MEG-kanalen.

Uit de gedragsdata bleek dat de maxima in krachtproductie aan de tonen voorafgingen, hetgeen er op wijst dat de proefpersonen op de auditieve stimuli anticipeerden. Slaapdeprivatie resulteerde in een afname van deze anticipatie bij hogere bewegingstempi. Deze resultaten wijzen alle op een verandering van de centrale verwerking van sensorische informatie als gevolg van slaapdeprivatie.

In hoofdstuk 5 werden de aan het gehoor en de motoriek gerelateerde velden van neurale activiteit nader onderzocht door de amplitude- en fasedynamica van de MEG-signalen te analyseren in verschillende frequentiebanden. Wederom werd PCA gebruikt om de MEG-activiteit tussen de verschillende

experimentele condities te vergelijken, te weten: a) luisteren naar een ritme, b) met de vinger meetikken met het ritme, en c) het aangeboden ritme blijven produceren nadat de auditieve stimulus is weggevallen. Door de veranderingen in amplitude en fase te vergelijken bleek het mogelijk om geïnduceerde (induced) MEG-activiteit te onderscheiden van opgewekte (evoked) MEG-activiteit. Bij opgewekte reacties treden amplitudemodulatie en fasekoppeling met een gebeurtenis gelijktijdig op, terwijl dit bij geïnduceerde activiteit niet het geval is.

De resultaten van de PCA maakten het mogelijk om verschillende reacties in de hersenactiviteit te onderscheiden, die gerelateerd waren aan auditieve en motorische processen. Bewegingssturing ging samen met veranderingen in amplitude- en faseverdeling in de bèta-frequentieband binnen een bewegingscyclus. Het verwerken van de auditieve stimuli leidde tot een gelijktijdige toename van amplitude en fasekoppeling met deze stimuli in de thèta- en alpha-band, hetgeen wees op een opgewekte reactie. Dit resultaat kwam overeen met eerdere bevindingen in het onderzoek naar auditieve informatieverwerking. De aan motoriek gerelateerde veranderingen in amplitude en fasekoppeling met de beweging vonden niet gelijktijdig plaats, hetgeen wees op een geïnduceerde reactie. Geconcludeerd werd daarom dat de verschillende waargenomen veranderingen in hersenactiviteit werden teweeggebracht door verschillende onderliggende processen.

In hoofdstuk 6 wordt een studie beschreven naar de veranderingen in neurale synchronisatie tijdens het leren van een motorische taak. MEG- en EMG-activiteit werden gemeten terwijl de proefpersonen een 5:3-polyritme aanleerden, hetgeen inhoudt dat beide handen met een verschillend tempo dienden te bewegen in een frequentieverhouding van vijf staat tot drie. Omdat de bewegingsfrequenties van beide handen verschilden, was de neurale activiteit van beide motorcortices makkelijk te onderscheiden in de MEG-signalen. Voortbordurend op de resultaten van hoofdstuk 5 over de aan motoriek gerelateerde velden, werd Synthetic Aperture Magnetometry (SAM) analyse toegepast om de bilaterale activiteit van beide motorcortices in de bèta-band te scheiden. Deze analyse toonde een snelle verandering van bèta-activiteit in beide motorcortices, die gerelateerd was aan de activiteit van de contralaterale hand. Dit is in overeenstemming met het anatomische gegeven dat de linker motorcortex verbonden is met de spieren aan de rechter kant van het lichaam en vice versa. De mate van bèta-modulatie nam toe gedurende het experiment en was positief gecorreleerd met het succes waarmee de proefpersonen het 5:3-polyritme uitvoerden. Deze correlatie was het sterkst

voor de motorcortex contralateraal van de langzame hand. Dit komt overeen met resultaten van gedragsstudies die aantoonde dat een polyritme wordt geleerd door het op de juiste manier timen van de bewegingen van de langzame hand ten opzichte van die van de snelle hand.

In hoofdstuk 7, de epiloog, worden de resultaten van de experimenten geïnterpreteerd in termen van het in hoofdstuk 1 geïntroduceerde theoretische kader. Geconcludeerd wordt dat neurale synchronisatie een belangrijk kenmerk is van de hersenactiviteit die gepaard gaat met de uitvoering van motorische taken. Met name twee synchronisatiepatronen waren duidelijk te onderscheiden, te weten de 10 Hz-synchronisatie tussen homologe spieractiviteit (hoofdstuk 2 en 3) en de bèta-modulatie van activiteit van de contralaterale motorcortex gedurende ritmische taken (hoofdstuk 5 en 6). Deze synchronisatiepatronen werden bovendien systematisch beïnvloed door veranderingen in verschillende taakfactoren, hetgeen er op duidt dat synchronisatie een functionele rol speelt. De onderzoeksresultaten zijn in overeenstemming met het geadopteerde theoretische kader en dragen bij aan de huidige discussie over informatieverwerking in het brein. Met name de afname van bèta-synchronisatie gedurende ritmische bewegingstaken is wat dat betreft opmerkelijk: corticale bèta-activiteit werd onderdrukt gedurende korte episodes van bewegingssturing en corticospinale synchronisatie was grotendeels afwezig gedurende ritmische taken. Deze resultaten suggereren dat neurale bewegingssturing verschillend is voor dynamische en statische taken: bij laatstgenoemde taken werd, zoals beschreven in hoofdstuk 1, consistent corticospinale synchronisatie gevonden in de bèta-band. Blijkbaar speelt synchronisatie geen prominente rol bij de uitwisseling van motorische informatie tussen corticale en spinale gebieden tijdens de uitvoering van ritmische taken.

De bevindingen uit het onderzoek worden in de epiloog verder gerelateerd aan recente literatuur over informatieverwerking door het zenuwstelsel en de verschillende vormen van synchronisatie die daarbij kunnen optreden. Gebaseerd op deze discussie worden uitbreidingen van het oorspronkelijke theoretische kader voorgesteld en mogelijkheden besproken om deze experimenteel te toetsen.