

VU Research Portal

Neural entrainment in coordination dynamics

Houweling, S.

2010

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

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

citation for published version (APA)

Houweling, S. (2010). *Neural entrainment in coordination dynamics*.

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

Neuraal entrainment in coördinatiedynamica

Het onderzoek in dit proefschrift heeft betrekking op de rol van neurale synchronisatie in de uitwisseling van informatie tussen verschillende delen van het zenuwstelsel. Om de neurale correlaten van motorische controle te begrijpen is het essentieel deze informatie-uitwisseling nauwkeurig in kaart brengen. Hiermee is een uitgebreid netwerk gemoeid dat onder andere de motorische gebieden in de cortex, het corpus callosum en de kleine hersenen beslaat. Motorische vaardigheden vereisen dat de neurale activiteit die uitgewisseld wordt tussen de verschillende hersendelen adequaat wordt georkestreerd. Een aantal ritmische processen treden op tijdens beweging, waarbij verschillende frequenties gepaard gaan met verschillende taakbepalingen en daaruit voortvloeiende cognitieve vereisten. De ritmische activiteit in bepaalde hersenstructuren wordt bovendien geprojecteerd op motorische eenheden, wat resulteert in het activeren van de betrokken spieren. Dit samenspel staat centraal in het proefschrift. **Hoofdstuk 1** geeft een algemene inleiding tot de probleemstelling, en introduceert de methoden die werden gebruikt voor het verkrijgen en analyseren van de data.

De experimentele taak in de deelstudies van het proefschrift bestond uit het uitvoeren van ritmische vingerbewegingen of het ritmisch produceren van isometrische kracht. De hersenactiviteit tijdens de experimenten werd geregistreerd met magnetoencefalografie (MEG) en de elektrische activiteit van de motorneuronen met electromyografie (EMG). Om te bepalen van waar in de hersenen de elektrische activiteit, zoals die gemeten werd aan de oppervlakte, afkomstig was werd een beamformer methode gebruikt. Hiermee konden hersengebieden die

tijdens de taak actief waren geïdentificeerd worden en kon hun lokale activiteit bepaald worden.

De twee gerapporteerde experimenten die zijn uitgevoerd bouwen voort op eerder onderzoek naar bimanuele coördinatie bij het produceren van polyritmes (hierbij zijn de frequenties relatieve priemgetallen met uitzondering van 1, dus bijvoorbeeld 2:3 en 5:8). Polyritmes zijn bij uitstek geschikt om de functionele verbinding tussen linker en rechter hemisfeer te onderzoeken, omdat de (sub)corticale hersenactiviteit zo eenduidig gerelateerd kan worden aan de ritmische bewegingen of isometrische krachtproductie van de linker en rechter ledematen. Deze interacties tussen links en rechts werden gebruikt om voorspellingen van een heuristisch model, waarin interhemisferische inhibitie tijdens unimanuele en bimanuele coördinatie een belangrijke rol speelt, te toetsen. Het is algemeen onderkend dat bij alle bewegingen sommige excitatoire bilaterale verbindingen tussen symmetrisch gelegen hersendelen leiden tot een aanhoudende neurale overspraak. Hierbij moet vervolgens de onbedoelde contralaterale motorische activiteit continu onderdrukt worden om unilaterale bewegingen voort te brengen. Als vervolgens de inhibitie verzwakt of wegvalt, wordt de unimanuele uitvoering instabiel en resulteren de bilaterale interacties in een neurale overspraak of zelfs spiegelbewegingen.

De hoofdstukken 2, 3 en 4 leggen zich toe op de neurale veranderingen die plaatsvinden tijdens het leren van een complexe, bimanuele taak. Leren kan beschouwd worden als een neurale proces dat adaptatie aan taakeisen ondersteunt. Deze adaptatie wordt zichtbaar als een verbetering op het gedragsniveau en wordt vergezeld door relatief langzame neurale veranderingen. Hoofdstuk 5 richt zich daarentegen op neurale veranderingen op korte termijn: tijdens polyritmisch tikken wordt het tempo van een geluidssignaal dat de bewegingsfrequentie voorschrijft langzaam verhoogd. Bij een kritieke bewegingsfrequentie wordt de bimanuele coördinatie van de uitvoering van het polyritme instabiel. Dit resulteert in een overgang van een solide naar een onstabiele uitvoering en maakt de gedetailleerde bestudering van de neurale overspraak tijdens deze zogenoemde bewegingsinstabiliteiten mogelijk.

Voor de studie naar het leerproces was een groep van proefpersonen zonder muzikale training uitgenodigd om een 2:3 polyritme uit te voeren gedurende een sessie van ongeveer 80 minuten (20 minuten pre-test-protocol, 40 minuten

oefenen/leren, en 20 minuten post-test-protocol; tijdens zowel de pre- als de post-tests werden unimanuele bewegingen [links en rechts] en isofrequente bimanuele bewegingen uitgevoerd). Uit de analyse van de gedragsgegevens bleek dat de verbetering in de coördinatie van dit bimanuele patroon voornamelijk werd bereikt door een aangepaste timing van de langzame hand. Vervolgens werd de samenhang onderzocht tussen deze verbetering op gedragsniveau en de neurale activiteit, zoals gemeten met MEG en EMG, in de frequentiebanden 7–11 Hz (α -band), 20–30 Hz (β -band) en 40–70 Hz (γ -band).

In **Hoofdstuk 2** werden de effecten van het oefenen van het 3:2 polyritme op de neurale activiteit tijdens unimanuele en isofrequente bimanuele taken bestudeerd, zoals uitgevoerd tijdens de pre- en post-tests. De grootste veranderingen in spectraal vermogen werden gevonden in de motorische schorsgebieden en het cerebellum. Deze veranderingen vonden plaats over het hele frequentiespectrum. Voor de rechter motorische schors waren de after-effecten van het oefenen groter dan voor de linker motorische schors. Binnen het cerebellum werd een dergelijk links/rechts verschil niet gevonden. Uit een analyse gebaseerd op de bewegingscyclus bleek dat in beide motorische schorsgebieden een amplitude modulatie van de β -activiteit optrad, terwijl in het cerebellum een amplitude modulatie van de α -activiteit werd gevonden. Deze modulatie van α -amplitude werd sterker na het oefenen. Tevens werd de koppeling tussen de bilaterale motorische schorsgebieden sterker, wat een verbeterde timing weerspiegelde. Verder nam de interhemisferische γ -synchronisatie tussen de motorische schorsgebieden af, wat er op zou kunnen wijzen dat er na het oefenen minder aandacht vereist is voor de taakuitvoering. Voorts bleek dat de veranderingen in synchronisatie tussen deze verschillende hersengebieden een gevolg van het oefenen was en niet berustte op een leereffect.

De modulatie in lokale synchronisatie van β -activiteit in de motorische schorsgebieden tijdens de bewegingscyclus werd sterker naarmate de uitvoering verbeterde. Dit effect was voornamelijk het gevolg van veranderingen in de motorische schors corresponderend met de langzame hand. In **Hoofdstuk 3** werd geconcludeerd dat een toename van β -modulatie een verbetering van de timing weerspiegelt. Deze toename in modulatie ging gepaard met een kortdurende toename in synchronisatie tussen de contralaterale activiteit in de motorische schors en de EMG-activiteit. In **Hoofdstuk 4** werd gevonden dat een verbeterde

uitvoering van de polyritmische taak vergezeld ging met een sterkere synchronisatie tussen de activiteit in de motorische schorsgebieden en het EMG van de betrokken spieren in de onderarm. Deze bevinding suggereert dat cortico-spinale synchronisatie een belangrijke rol speelt bij de timing van spieractiviteit.

Bij het leren van een bimanuele-coördinatietaak is een nauwkeurige timing van rechter en linker spieractiviteit essentieel. De beide handen worden echter niet onafhankelijk van elkaar bestuurd, wat kan leiden tot een interferentie tussen de handbewegingen. Een uitgangspunt van het eerder genoemde model van interhemisferische inhibitie is dat deze interferentie door neurale overspraak vermindert naarmate de stabiliteit van de uitvoering toeneemt. De leerstudies in de Hoofdstukken 2, 3 en 4 leverden echter voor dit uitgangspunt geen empirische steun op. Het is mogelijk dat de veranderingen tijdens het relatief lang durende leerproces zo subtiel waren, dat ze niet waargenomen konden worden. Daarom werd ook een studie naar transitie uitgevoerd, waarbij de neurale overspraak plotseling verandert. Deze studie is gerapporteerd in **Hoofdstuk 5**.

In het betreffende experiment diende een groep van percussionisten een 5:8 polyritme te tikken onder geleide van een metronoom waarvan het tempo continu werd verhoogd. Een correcte uitvoering vereist een integratie van de activiteit in verschillende neurale gebieden, waaronder een juist afgestemde koppeling tussen linker en rechter motorische schors. Bij een frequentie van de snelle vinger van ongeveer 5 Hz werd de uitvoering van het patroon echter instabiel, getuige een abrupte afname in de 5:8 frequentievergrendeling tussen de linker en rechter tiksignalen. Deze bewegingsinstabiliteit werd vergezeld door een verhoogde neurale overspraak tussen de beide motorische schorsen, zoals geïndexeerd door de verhouding tussen het gemeten spectrale vermogen aan beide bewegingsfrequenties. Bovendien veranderde het patroon van desynchronisatie en synchronisatie van β -activiteit dat de tikken vergezelt in de motorische schorsgebieden (overeenkomend met de 'aan/uit' cycli van de ritmische beweging) naarmate het ritme steeds sneller werd uitgevoerd: de β -modulatie nam af, terwijl de tijd tussen de episodes van desynchronisatie en synchronisatie steeds kleiner werd. Deze bevindingen leidden tot de conclusie dat de interacties tussen de verschillende hersengebieden zowel tussen als binnen de motorische schorsen invloed ondervinden van de grenzen van dit mechanisme: de tijd die nodig is om lokale veranderingen in synchronisatie in een ensemble neuronen te bewerkstel-

ligen zou de centrale sturing van de betrokken spieren kunnen beperken. Met de gevonden verschillen tussen het bimanuele en unimanuele tikken werd bovendien geargumenteed dat het (unilaterale) neurofysiologische mechanisme dat ten grondslag ligt aan cortico-spinaal entrainment mede een rol speelt bij het instabiel worden van het polyritmisch bewegingspatroon. Dat de neurale overspraak op de bewegingsfrequenties plaats vond suggereerde dat de bilaterale fase vergrendeling gedurende de bewegingscyclus rust op hoog frequente (β) oscillaties en dus beïnvloed wordt door zijn fase dynamica.

In de epiloog, **Hoofdstuk 6**, worden de bevindingen die gepresenteerd zijn in de eerdere hoofdstukken ingebed in, en gecontrasteerd tegen, huidige ideeën over de functionele rol van oscillatoire neurale activiteit en synchronisatie door het hele motorische netwerk heen. De samenwerking tussen verschillende structuren in het zenuwstelsel lijkt te worden gefaciliteerd door de synchronisatie van hun neurale activiteit. De functionele rol van oscillatoire neurale activiteit en synchronisatie door het motorische netwerk heen maakt van het bestuderen van motorische controle via fase oscillatoren een productieve aanpak. En *vice versa* lenen paradigma's in motorische controle zich ook uitstekend voor het onderzoeken van de onderliggende mechanismes van synchronisatie. Na een algemene discussie betreffende neurale mechanismes en de functies die hen toegeschreven zijn, wordt een toekomstige lijn van onderzoek geschetst die voortbouwt op de kennis die verkregen is middels het werk zoals gerapporteerd in dit proefschrift. Tot slot draagt dit proefschrift met de inzichten die zijn voortgekomen uit de gepresenteerde studies bij aan een beter begrip van zowel de vorm als van de functie van de oscillatoire processen die op meerdere niveaus in het centrale en perifere zenuwstelsel zijn waargenomen.