

## De cerebrale organisatie van audiomotor- transformaties in muziek

Bij het musiceren wordt muziek(klank) in de hersenen in beweging omgezet, een proces dat wij 'audiomotor-transformatie' kunnen noemen. Audiomotor-transformatie is verantwoordelijk voor het alledaagse vermogen om mee te zingen in de kerk, op een feestavond of in het stadion. Dit proces is ook verantwoordelijk voor het vermogen om een bekend thema spontaan te zingen of te neurieën of een zelf-bedacht deuntje te fluiten.

Audiomotor-transformatie maakt het mogelijk voor de musicus om de goede toonhoogte over te nemen, de klankkleur van het instrument aan te passen aan het ensemble, het ritme na te bootsen en in de maat te spelen. Net als bij het zingen maakt audiomotor-transformatie het mogelijk om een bestaande of zelf-bedachte melodie op een instrument te realiseren, in de oorspronkelijke toonsoort of in een andere toonsoort, maar ook om een geïmproviseerde bas of tweede stem erbij te spelen of de melodie te harmoniseren.

Het vermogen om klank in beweging om te zetten berust op het feit dat perceptie en motoriek in het brein geïntegreerd zijn. Imaging technieken zoals fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) maken het mogelijk om deze integratie in de hersenen zichtbaar te maken. Er is aangetoond dat hersengebieden die de motoriek aansturen, geactiveerd worden bij het zien van een bekende handeling, niet alleen bij het observeren van de handeling zelf, maar ook bij het zien van gereedschap of voorwerpen die gemanipuleerd kunnen worden. Specifieke zenuwcellen, zogenaamde spiegelneuronen, worden geactiveerd zowel bij het uitvoeren van een handeling als bij het waarnemen van die handeling, niet alleen bij het zien, maar ook bij het horen van de handeling.

Het horen van muziek leidt daarom tot activatie in hersengebieden die de motoriek aansturen, niet alleen bij musici, maar ook bij niet-musici. De invloed van muziek op de motoriek is algemeen. Als wij muziek horen, beginnen wij immers te zingen en te dansen. Echter bij klassiekgeschoolde musici leidt het passief luisteren naar stukken uit het eigen repertoire al tot activatie van hersengebieden die betrokken zijn bij de motoriek

van de hand. Dit verklaart waarom musici de vingers vaak voelen bewegen als ze naar opnames luisteren van muziek die zij zelf kunnen spelen.

Het is echter bekend, dat klassiekgeschoolde musici vaak niet in staat zijn om op het gehoor na te spelen, te transponeren, te harmoniseren of te improviseren. Improvisatie maakt geen deel uit van het curriculum en behoort sinds het midden van de negentiende eeuw bovendien niet meer tot de beroepscompetenties. Waarschijnlijk daarom is er bij het luisteren naar muziek die niet tot het repertoire behoort, weinig hersenactivatie waar te nemen in gebieden die betrokken zijn bij de motoriek van de hand. Of dit ook voor improviserende musici geldt, was tot nu toe onbekend. Improviserende musici waren om onverklaarbare redenen nog niet onderzocht. Dit onderzoek heeft daar verandering in gebracht.

Eerder onderzoek bij niet-improviserende musici heeft aangetoond dat het beluisteren van bekende muziek de premotor cortex activeert, maar onbekende muziek niet. Dat is ook te verklaren uit het feit dat deze musici onbekende muziek waarschijnlijk niet op het gehoor kunnen spelen. Wij vermoedden dat improviserende musici dat wel zouden kunnen. Wij verwachtten daarom dat er bij improviserende musici geen verschil zou worden gevonden tussen bekende en onbekende muziek. In beide gevallen zou het luisteren naar muziek de motoriek aanspreken d.w.z. gebieden activeren die met de motoriek van de hand konden worden geassocieerd.

Wij nodigden twaalf improviserende, klassiekgeschoolde musici uit, meest kerkorganisten, om deel te nemen aan een fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) onderzoek naar hersenactivaties die teweeggebracht worden door de auditieve perceptie van muziek, niet alleen bekende, maar ook onbekende muziek. Om activaties uit te sluiten die niet aan muziekexpertise toegeschreven kunnen worden, hebben wij de hersenactivaties van de twaalf musici vergeleken met die van twaalf niet-musici.

De deelnemers luisterden telkens naar een opname van een tweestemmig, tonaal muziekstuk gespeeld op koperblaasinstrumenten. De helft van de 48 muziekstukken was bekend, de andere 24 zijn speciaal t.b.v. dit onderzoek gecomponeerd en waren dus per definitie onbekend. Op deze manier hoopten wij een onderscheid te kunnen maken tussen hersenactivaties die door bekende muziek werden opgewekt, en activaties die door onbekende muziek werden opgewekt.

Twee opdrachten werden in willekeurige volgorde uitgevoerd: 1) beeld je in dat je dit stuk zelf speelt, zonder je handen te bewegen; 2) geef in gedachten een lopend commentaar op de uitvoering, zonder te praten. Op deze manier hoopten wij een onderscheid te kunnen maken tussen hersenactivaties die door het luisteren naar muziek werden opgewekt en hersenactivaties die rechtstreeks met audiomotor-transformatie konden worden geassocieerd.

## Resultaten

De resultaten van dit eerste experiment bevestigden onze hypothese. In tegenstelling tot eerder onderzoek werd er geen verschil in activatie gevonden tussen bekende en onbekende muziek. In beide gevallen leidde het luisteren naar muziek tot activatie van de ventrale premotor cortex. Een opvallende vondst was echter de activatie van de rechter posterior superior pariëtale cortex, een hersengebied waarvan wij weten dat het bij sensorimotor-transformatie is betrokken.

Uit eerder onderzoek weten wij dat dit hersengebied geactiveerd wordt als klassiek geschoolde musici van blad spelen, d.w.z. bij visuomotor-transformatie, het omzetten van het notenbeeld in een speelbeweging. Uit ons onderzoek blijkt duidelijk, dat ditzelfde hersengebied ook betrokken is bij audiomotor-transformatie d.w.z. bij het omzetten van auditief waargenomen muziek in een speelbeweging.

Wat in het eerste fMRI onderzoek nog niet uitdrukkelijk was aangetoond, was een eventueel verschil tussen hersenactivaties bij improviserende en niet-improviserende musici. Wij hebben daarom twaalf niet-improviserende, klassiek geschoolde pianisten uitgenodigd om deel te nemen aan hetzelfde fMRI-experiment. Ook deze musici hebben wij aanvankelijk met niet-musici vergeleken. Zij hebben tijdens de scan naar dezelfde muziekstukken geluisterd en dezelfde opdrachten uitgevoerd.

Onze verwachting was dat activaties in hersengebieden die de motoriek aansturen bij improviserende musici groter zouden zijn dan bij niet-improviserende musici, vooral tijdens het luisteren naar onbekende muziek. Verder verwachtten wij dat de activaties die wij bij improviserende musici in de rechter posterior superior pariëtale cortex hadden waargenomen, bij de niet-improviserende musici juist kleiner zouden zijn.

## Resultaten

Vergelijking tussen improviserende en niet-improviserende musici liet zien dat de hersenactivaties in de linker hersenhelft bij beide groepen musici vrijwel gelijk waren. Er zijn verschillende verklaringen aan te voeren voor deze grote overeenkomst. Wij weten dat de linker hersenhelft gespecialiseerd is voor het hanteren van gereedschap. Het muziekinstrument is in feite ook een stuk gereedschap. Wij concluderen daarom dat het vaardige gebruik van een muziekinstrument, de instrumentale techniek, voornamelijk te maken heeft met functies die in de linker hersenhelft plaatsvinden die voor beide groepen musici gelijk zijn.

Naast het gebruik van gereedschap, is de linker hersenhelft ook gespecialiseerd voor taal. De talige studie van muziek en muziektheorie neemt in de klassieke muziek een grote plaats in. Noten, toetsen, intervallen, akkoorden, en toonsoorten worden allemaal met namen aangeduid. Het is daarom geen verrassing dat klassiekgeschoolde musici een groot beroep doen op de linker hersenhelft. In dit opzicht is er ook geen verschil

tussen de twee groepen musici die hier bestudeerd zijn. Immers, beide groepen kunnen noten lezen en beide zijn klassiek geschoold.

Hoewel er in de linker hersenhelft nauwelijks verschillen werden waargenomen tussen de twee groepen musici, waren de verschillen in de rechter hersenhelft groot. Er waren bij niet-improviserende musici geen activaties in de rechter hersenhelft te zien die rechtstreeks in verband gebracht konden worden met audiomotor-transformaties.



**Figuur.** Hersenactivaties van improviserende (**links**) en niet-improviserende (**rechts**) musici. Activaties in de linker hersenhelft komen vrijwel overeen. Activaties in de rechter hersenhelft bij improviserende musici (omcirkeld) wijzen op audiomotor-transformatie.

Het ontbreken van significante activaties in de rechter hersenhelft bij niet-improviserende musici suggereert dat er weinig of geen audiomotor-transformatie plaatsvindt. Dat verklaart mogelijk waarom activaties van auditieve cortex bij deze groep musici ook niet groter waren dan bij niet-musici. Wij verwachtten daarom dat niet-improviserende musici ook minder goed op het gehoor zouden kunnen naspelen en transponeren, een hypothese die wij in een gedragsexperiment getoetst hebben.

Wij lieten in dit experiment beide groepen musici naar opnames luisteren van korte fragmenten uit onbekende muziekstukken. Wij gebruikten hiervoor dezelfde twee-stemmige stukken die zij één keer in de scanner hadden gehoord. Aan de musici werd gevraagd om de muziek op het gehoor na te spelen en/of te transponeren. Opnames werden gemaakt op een MIDI-klavier waardoor het mogelijk was om hun spel digitaal te vergelijken met de beluisterde opname. Hiervoor werden *music information retrieval* algoritmes gebruikt.

## Resultaten

Improviserende musici scoorden significant hoger op de reproductie van toonhoogte en ritme van de melodie, zowel bij het naspelen als bij het transponeren. Reproductie van het ritme van de baslijn was ook exacter. Het verschil tussen naspelen en transponeren was kleiner bij improviserende musici. Onze eerdere conclusie dat activatie van de rechter hersenhelft geassocieerd kon worden met audiomotor-transformatie, wordt gesteund door de hogere scores op naspelen en transponeren die in dit onderzoek bij improviserende musici werden geobserveerd.

## Discussie

Om de resultaten van dit onderzoek te begrijpen, moeten wij eerst weten hoe het brein werkt. De verregaande integratie van perceptie en motoriek maakt duidelijk, dat de zintuigen twee verschillende functies hebben. De eerste en misschien de belangrijkste functie is de rol die zintuigen spelen in de motoriek. Het is belangrijk, dat relevante informatie zo snel mogelijk in dienst van de motoriek gesteld wordt, zelfs vóórdat wij iets kunnen zien of horen. Er is dus een tijdsverschil tussen de zintuiglijke input die de motoriek bereikt en de waarneming die het bewustzijn bereikt d.w.z het zien en horen. Zintuiglijke input wordt dus opgesplitst in twee verschillende routes die ook anatomisch gescheiden zijn: een snelle route met alleen de essentiële informatie die wij nodig hebben om te handelen (overleven), en een 'langzame' route die veel meer cerebrale bewerking vereist, omdat het de basis vormt van wat wij zien en horen. Deze twee routes heten de *dorsale* route respectievelijk de *ventrale* route.

Al in de negentiende eeuw heeft Helmholtz begrepen dat het brein niet alleen de omgeving waarneemt en daarop reageert, maar dat het brein zelf een 'idee' vormt van wat wij zien en horen en dat 'idee' vervolgens met de input van de zintuigen vergelijkt en corrigeert. Wat wij zien en horen is dus de 'conclusie' van het brein en niet de kale input van de zintuigen. Daarnaast 'voorspelt' het brein de zintuiglijke consequenties van ons eigen handelen en corrigeert de beweging, terwijl deze nog onderweg is, op basis van snelle zintuiglijke input afkomstig uit de dorsale route. Voor de performer is de snelle (dorsale) route daarom de belangrijkste. Op basis van de klankvoorstelling (de voorspelling van de consequenties van ons handelen) en de snelle input van de dorsale route, is de performer in staat om adequaat te reageren zelfs vóórdat het klankresultaat zijn bewustzijn bereikt.

De activiteiten die wij bij improviserende musici in de rechter hersenhelft hebben waargenomen, kunnen wij anatomisch in de dorsale route localiseren. Daarmee kan de functie van deze activiteiten ook worden vastgesteld. Hier wordt (nog niet-gehoorde) klank in beweging omgezet vóórdat herkenning van akkoorden of intervallen überhaupt plaats kan vinden. De sterkere activatie van de auditieve cortex in improviserende musici wijst dus niet op een beter getraind gehoor, maar op een snelle wederzijdse verbinding tussen zintuigen en motoriek.

De inzet van de dorsale route betekent ook dat de musicus een beroep doet op procedurele kennis van de music syntax. Als wij het over grammatica hebben, bedoelen wij meestal het leren van rijtjes op de middelbare school. Maar het kind dat op jonge leeftijd moeiteloos de werkwoordsvormen van de moedertaal weet te hanteren, heeft ook de grammatica geleerd, zij het op een totaal andere manier. Deze kennis van de grammatica noemen wij procedureel om deze te onderscheiden van 'boekenkennis' van de grammatica.

De motoriek maakt juist gebruik van procedurele kennis die via de dorsale route verkregen wordt. Het is aannemelijk dat de improviserende musicus vooral procedurele kennis van de muzieksyntax hanteert. Omdat de organisten die aan dit onderzoek hebben deelgenomen, klassiek geschoold zijn, zal er naar alle waarschijnlijkheid tussen de beide groepen geen verschil in (boeken)kennis van de muzieksyntax bestaan.

De rol die improvisatie speelt in het verkrijgen van procedurele kennis van de muzieksyntax, is nog niet onderzocht. Onderzoek laat zien dat patronen of 'chunks' eenvoudig door herhaling opgepikt worden, zonder dat het individu dit zelf in de gaten heeft. Dat zal iedere musicus beämen. Het herhalen van de etude leidt al tot beheersing van de patronen die erin voorkomen. Hiërarchische syntax is echter een andere kwestie. Het herhalen van etudes leidt niet automatisch tot vaardigheid in het harmoniseren.

Er wordt aangenomen, dat imitatie een grote rol speelt bij de verwerving van complexe syntax. Niet eindeloze imitatie van het patroon zelf, maar imitatie van variaties op het patroon die de regels van de syntax volgen. Dat is wat er gebeurt bij de taalverwerking in de interactie tussen ouders en kind. Door kleine verschillen in woordvolgorde waar te nemen en te imiteren, leert het kind wat volgens de grammatica wel kan en wat niet kan. Het succes van improvisatie als een middel om procedurele kennis van de syntax te verwerven, heeft juist te maken met het feit dat er niet eindeloos herhaald wordt zoals bij het aanleren van klassiek repertoire, maar dat de volgorde van de noten binnen de grenzen van de syntax juist gevarieerd wordt.

## Conclusies

Het verdwijnen van improvisatie in de negentiende eeuw heeft consequenties gehad, niet alleen voor de concertpraktijk en het muziekonderwijs, maar ook voor de klassieke musicus zelf. Met het verdwijnen van naspelen, transpositie, harmonisatie en extemporisatie uit de beroepscompetenties, heeft de verwerking van muziek in de hersenen ook een verandering ondergaan. De linker hersenhelft is belangrijker geworden dan de rechter; de ventrale route is belangrijker geworden dan de dorsale; theoretische kennis is belangrijker geworden dan procedurele kennis en visuomotor-transformatie is belangrijker geworden dan audiomotor transformatie.