

Objectieve beoordeling van spraakproblemen bij sprekers met dysartrie

Frits van Brenk

University of Strathclyde, Glasgow, UK

Samenvatting

Het onderzoek en de behandeling van neurogene spraakstoornissen is gebaat bij het gebruik van betrouwbare onderzoeksmaten en -methodes. In recente jaren zijn nieuwe technieken en methodes ontwikkeld die de differentiaaldiagnose, behandeling, en voortgangsmonitoring van spraakstoornissen kunnen ondersteunen. In het kader van het toepassen van evidence-based practice in de klinische praktijk zijn objectieve meetmethodes meer dan welkom. In deze tutorial wordt een aantal methodes behandeld die breed toepasbaar zijn en een lage gebruiksdrempel hebben. Deze methodes zijn in eerste instantie toegespitst op dysartrie, maar zouden ook toegepast kunnen worden bij het onderzoek naar andere taal- en spraakstoornissen. In de tutorial wordt het systematisch en quasi-automatisch meten van verstaanbaarheid, spreeknelheid, articulatiesnelheid, en maximale prestatietaken besproken. Voor elk van deze methodes geldt dat deze door logopedisten en onderzoekers uitgevoerd kunnen worden met behulp van gemakkelijk beschikbare of open-source programma's. Daarnaast wordt in dit artikel een overzicht gegeven van een aantal recent ontwikkelde experimentele onderzoeksmethodologieën die spraakvariabiliteit meten, als kwantitatieve beoordeling van spraakproblemen. Aangezien afwijkingen in de precieze controle van spraakbewegingen de belangrijkste stoornis is in dysartrie, is het meten van variabiliteit en stabiliteit gedurende spraak een uitstekende manier om spraakmotorcontrole in dysartrie te bestuderen. Hoewel deze methodologieën op het gebied van technische implementatie en validiteit nog werk behoeven, hebben zij de potentie om als klinisch waardevol instrument gebruikt te worden in de logopedische praktijk.

Summary

Research and treatment of neurogenic speech disorders benefit from the use of reliable measurements and treatment methods. In recent years, new techniques and methods are developed that can support differential diagnosis, treatment, and progress monitoring of speech disorders. In the context of applying evidence-based practice in the SLT clinic, these objective measurement methods are more than welcome. This tutorial discusses a number of methods that are widely applicable and relatively easy to use.

These methods are primarily focused on dysarthria, but could also be applied in the investigation of other language and speech disorders. In this tutorial, methodologies with regard to systematic and quasi-automatic measurement of intelligibility, speech rate, articulation rate, and maximum-performance tasks are discussed. Each of these methods may be carried out by speech therapists and researchers using readily available or open-source software. In addition, this article provides an overview of a number of recently developed experimental research methodologies measuring speech variability as a quantitative assessment of speech problems. A major problem in dysarthria is the precise control of speech movements. As such, measurements of variability and stability of speech are prime targets to study speech motor control in dysarthria. Although these research methodologies still need to work with respect to technical implementation and validity, they have the potential to be a valuable tool in the SLT clinic.

Achtergrond

De productie van spraak vereist een complexe organisatie, interactie en uitvoering van motorische, sensorische, cognitieve, en taalkundige processen. Bij aangeboren en verworven spraakstoornissen is er een verstoring van één of meerdere van deze processen, wat resulteert in een suboptimale verstaanbaarheid. Het gebruik van betrouwbare maten bij het vaststellen van spraakproblemen is essentieel voor de karakterisering, (differentiaal) diagnose, behandeling en voortgangsmonitoring van spraakstoornissen. De methodes die in de logopedische praktijk gebruikt worden bij onderzoek naar spraakstoornissen kunnen grofweg opgedeeld worden in verstaanbaarheidstaken en maximale prestatietaken. In recente jaren zijn nieuwe technieken en methodes voor onderzoek naar spraakstoornissen ontwikkeld. Een aantal van deze technieken hebben een dusdanig brede toepasbaarheid en lage gebruiksdrempel om niet alleen van waarde te zijn voor wetenschappelijk onderzoek, maar ook mogelijk toegevoegd kunnen worden aan het instrumentarium van logopedisch behandelaren. Deze tutorial beoogt een tweeledig doel. Allereerst wordt een overzicht gegeven van een aantal onderzoeksmethodes die verstaanbaarheid en spraakprestaties meten. Voor elk van deze methodes geldt dat deze door logopedisten en onderzoekers uitgevoerd kunnen worden met behulp van gemakkelijk beschikbare of open-source programma's. Daarnaast wordt een overzicht gegeven van een aantal experimentele onderzoeksmethodologieën in de kwantitatieve beoordeling van spraakproblemen die de potentie hebben om als een klinisch waardevol instrument gebruikt te worden in de logopedische praktijk, maar desondanks op het gebied van technische implementatie en validiteit nog werk behoeven.

Deze tutorial is geschreven met als voornaamste spraakpathologie dysarthrie, maar een aantal van de besproken methodologieën zou gebruikt kunnen worden bij het evalueren van de spraak van sprekers met hoorstoornissen, laryngectomieën, glossectomieën, schisis, dysfonie, en verdere ongespecificeerde articulatiestoornissen. Voor de methodes die verstaanbaarheid en spraakprestaties meten en direct toegankelijk zijn voor gebruik in de klinische praktijk, wordt een kort overzicht gegeven wat deze beoogt te meten, het benodigde

instrumentarium, een omschrijving van de bijbehorende spreektaak, een kort protocol om de spreektaak af te nemen, het analyseproces, en een korte aanwijzing bij het interpreteren van de data.

Dit artikel vervolgt met een beschrijving van de pathologie van verstaanbaarheid in de meest voorkomende geïsoleerde soorten van dysartrie. Daarna wordt een overzicht gegeven van een aantal methoden voor het vaststellen van verstaanbaarheid in dysartrie. Vervolgens wordt een kort overzicht geschetst van recent beschikbare technieken die de analyse van spraak bij dysartrie kunnen ondersteunen. Afsluitend wordt de relevantie en mogelijke toepassing van de besproken technieken in de klinische praktijk besproken bij het analyseren van spraak in sprekers met dysartrie.

Pathologie van verstaanbaarheid in dysartrie

Zoals hierboven reeds aangegeven, is de productie van spraak gemoeid met een complexe organisatie van motorische, sensorische, cognitieve, en taalkundige processen. Op het motorisch niveau wordt spraak aangestuurd door het neurale systeem en de musculatuur van de spraakorganen. De drie spraakorganen die hierbij aangestuurd worden kunnen onderverdeeld worden in het subglottale systeem, de larynx, en het supralaryngeale spraakkanaal (Smith, 1992). De spraakmotorische processen die zorgen voor een succesvolle aansturing van deze spraakorganen worden doorgaans onderverdeeld in twee deelprocessen. Het eerste deelproces behelst de planning en programmering van sensori-motorische programma's die het activatiepatroon van spieren op een specifieke tijd, duur, en kracht vastleggen en klaarzetten. Het tweede deelproces behelst de neuromusculaire uitvoering: de uiteindelijke activatie van de respiratoire, fonatoire, en articulatorische spieren door het centrale en perifere zenuwstelsel. Een verstoring in elk van de spraakmotorprocessen leidt tot een onderscheidende spraakstoornis (Duffy, 2005; Ackermann, Hertrich, & Ziegler, 2010). Spraakapraxie kan optreden wanneer de planning en programmering van articulatorische bewegingen is aangetast. Een aantasting in de neuromusculaire activatie en beweging van articulatorische bewegingen leidt tot dysartrie (Darley, Aronson, & Brown, 1975). De onderzoeksmethoden die besproken worden in deze tutorial zijn voornamelijk gericht op deze laatstgenoemde spraakstoornis. Een gangbare definitie van dysartrie wordt gegeven door Duffy (2005, p. 5): *“Dysartrie is een collectieve naam voor een groep van spraakstoornissen die veroorzaakt wordt door afwijkingen in de kracht, snelheid, bereik, stabiliteit, spanning, of accuratesse van bewegingen die benodigd zijn voor de controle van de respiratoire, fonatoire, resonatoire, articulatorische, en prosodische aspecten van spraakproductie. De verantwoordelijke pathofysiologische verstoringen worden veroorzaakt door afwijkingen in het centrale of perifere zenuwstelsel, en weerspiegelen meestal zwakheid; spasticiteit; incoördinatie; ongecontroleerde bewegingen, of overmatige, gereduceerde, of variabele spierspanning.”*

Met deze definitie wordt de neurologische grondslag van de spraakstoornis benadrukt, de stoornis wordt gedefinieerd als een bewegingsstoornis, en een indeling op basis van dysartriesoort wordt mogelijk gemaakt. Er worden zeven soorten dysartrie onderscheiden (Darley,

Aronson, & Brown, 1969a, 1969b; Duffy, 2005). Deze soorten zijn hypokinetische, hyperkinetische, ataxische, slappe, spastische, unilaterale upper motor neuron, en gemengde dysartrie. Elk type dysartrie wordt verondersteld verband te houden met een specifieke laesielocatie van het neurale circuit dat betrokken is bij spraakproductie. Het onderscheid tussen de dysartriesoorten zoals gedefinieerd door Darley et al. (1969a, 1969b), wordt grotendeels geaccepteerd tot op de dag van vandaag (Duffy, 2005; Kent et al., 2000; Lansford & Liss, 2014).

De hierboven genoemde dysartriesoorten kunnen afwijkingen tonen in een of meerdere van de belangrijkste aspecten van het spraakmechanisme, te weten respiratie, fonatie, resonantie, articulatie, en prosodie. Voor een goede beoordeling van de spraakproblemen in dysartrie is het essentieel kennis te hebben van de onderliggende neurologische problemen, en de bijbehorende te verwachten onderscheidende spraakkenmerken. In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de zeven dysartriesoorten, met hun bijbehorende neuromusculaire afwijkingen en een kort overzicht van primaire en onderscheidende spraakproblemen, c.f. Duffy (2000, 2005).

Tabel 1: Overzicht van de dysartriesoorten met bijbehorende neuromusculaire afwijkingen en een kort overzicht van primaire en onderscheidende spraakproblemen, c.f. Duffy (2000, 2005).

Dysartriesoort	Neuromusculaire afwijkingen	Primaire en onderscheidende spraakproblemen
Ataxisch	Incoördinatie	Variatie in luidheid, overtollige en gelijkmatige beklemtoning, onregelmatige onderbreking van articulatie, afwijkende klinkerarticulatie, onregelmatige DDK-taken.
Hypokinetisch	Rigiditeit, verminderd bewegingsbereik	Monotoonheid, monoluidheid, verminderde luidheid, vocale flutter, verminderde beklemtoning, variabele spreesnelheid, snelle / onscherpe DDK-taken, herhaalde fonemen, palilalie.
Hyperkinetisch	Ongecontroleerde bewegingen	Toegenomen variatie in luidheid, geforceerde ademhaling, stemonderbrekingen, tremor van stem, gespannen of ademige stem, onregelmatige DDK-taken, klinkerverlenging, afwijkende klinkerarticulatie.
Slap	Zwakheid	Ademigheid, diplofonie, stridor, korte fragmenten, vocale flutter, hypernasaliteit, snelle afname in kwaliteit articulatie en verbetering in rust.
Spastisch	Spasticiteit	Gespannen en harde stem, langzame spreesnelheid, langzame en regelmatige DDK-taken.
Unilaterale UNM	Zwakheid, incoördinatie, spasticiteit	Heesheid, onnauwkeurige articulatie, overtollige en gelijkmatige beklemtoning, onregelmatige onderbreking van articulatie.
Gemengd	Twee of meer van bovengenoemde afwijkingen	Een combinatie van bovengenoemde karakteristieken.

Omdat hypokinetische en ataxische dysartrie (na hyperkinetische dysartrie met alle subtypes) de meest prevalentie motorische spraakstoornissen zijn, en over het algemeen een eenduidig en consistent patroon van spraakstoornissen laten zien (Duffy, 2005), zijn deze soorten overwegend onderwerp van onderzoek en methodeontwikkeling. Hoewel alle dysartiesoorten aan bod komen bij de interpretatie van de beoordelingstaken, zijn hypokinetische dysartrie en ataxische dysartrie dan ook de focus van deze tutorial.

De objectieve beoordeling van spraak in sprekers met dysartrie

De ontwikkeling en introductie van nieuwe methoden voor het meten van verstaanbaarheid en spraakaansturing in dysartrie is gericht op laagdrempeligheid, toepasbaarheid en objectiviteit. De betrouwbaarheid van deze maten wordt gebruikelijk vastgesteld door deze te correleren met subjectieve, auditieve beoordelingen van verstaanbaarheid. Deze auditieve beoordelingen worden beschouwd als de gouden standaard in het beoordelen van articulatie en spraakaansturing. De onderliggende hypothese is dat verstaanbaarheid een goede globale indicator is van de kwaliteit van articulatie. Hierbij wordt zo(veel) mogelijk de invloed van taalkundige context en cognitie tot een minimum beperkt.

Gepubliceerde testen ter beoordeling van dysartrische spraak

Er zijn inmiddels enkele beoordelings- en verstaanbaarheidstesten beschikbaar voor Nederlandstalige sprekers met dysartrie. De eerste is het Nederlandstalig Spraakverstaanbaarheidsonderzoek (NSVO; De Bodt et al., 2006). Met dit onderzoek wordt verstaanbaarheid op foneemniveau gemeten. Door het gebruik van niet-bestaande woorden wordt de invloed van de taalkundige context beperkt: Het geheugeneffect wordt beperkt door random woordenlijsten te gebruiken, waardoor er meer inspanning door de luisteraar nodig is. Deze test wordt gekenmerkt door een goede betrouwbaarheid van oordelen tussen verschillende luisteraars, en er zijn weinig luisteraars nodig.

Voor het onderzoeken van verstaanbaarheid op zinsniveau is een aanvulling ontwikkeld met het Nederlandstalig Spraakverstaanbaarheidsonderzoek - Zinsniveau (NSVO-Z; Martens, Van Nuffelen, Van den Putte, Wuyts, & De Bodt, 2010).

Speciaal voor het diagnosticeren en differentiëren van dysartrie bij Nederlandstalige sprekers is het recent ontwikkeld Nederlandstalig dysartrieonderzoek volwassenen (NDO-V; Knuijt et al., 2014). Een aantal spreektaken in deze test komt ook in deze tutorial aan bod, te weten de spreektaken die zich lenen voor (geautomatiseerde) objectieve akoestische analyse.

Het opnemen van spraak

Voor de objectieve beoordeling van spraakproblemen bij dysartrie en andere spraakstoornissen is een eerste voorwaarde om digitale opnames te verkrijgen van de spraak die on-

derzocht wordt. Dit is een onmisbaar methodologisch onderdeel bij het wetenschappelijk onderzoek naar spraakstoornissen, en zou bij de intake en behandeling van cliënten door logopedisten niet anders moeten zijn. Er is een aantal goede redenen om alle spreektaken die uitgevoerd worden in de klinische praktijk op te nemen en te bewaren. Allereerst is spraak (en geluid) bij het luisteren zonder vastlegging een voorbijgaande informatiebron. Mogelijk belangrijke informatie die alleen op dat moment beluisterd wordt, kan vergeten worden. Een opgenomen spraakfragment kan later gebruikt worden voor objectieve analyses, zoals in deze tutorial besproken wordt. Verder kunnen de spraakfragmenten vergeleken worden met opnames van eerdere momenten en met andere sprekers. De spraakfragmenten kunnen opnieuw beluisterd worden door cliënt en therapeut ter ondersteuning van feedback voor de cliënt. Longitudinale opnames kunnen de progressie van een cliënt vastleggen. Bij het maken en bewaren van digitale opnames in de klinische praktijk dient de toestemming van de cliënt gezocht te worden. Daarnaast mag een cliënt ook aangemoedigd worden om zijn of haar spraak op te nemen bij spraakoefeningen die thuis uitgevoerd worden.

De werkwijze van het consequent vastleggen en vergelijken van spraakopnames helpt bij het bepalen van objectieve criteria voor het aanpassen, starten of beëindigen van spraaktherapie. Onder druk van kwaliteitscriteria, tijdsbesparing en kostenbesparing resulteert dit, wanneer routinematig toegepast, in een consistentere, efficiënter en kwalitatief hoogwaardig therapieverloop. Wanneer besloten wordt om geen akoestische spraakanalyses in te zetten, blijft het nuttig om de routine van het digitaal opnemen van spraak eigen te maken. De eerdergenoemde voordelen van vergelijken en terugluisteren zijn grotendeels van toepassing op de perceptuele beoordeling van spraak. Er is een aantal gratis programma's beschikbaar die gebruikt kunnen worden voor het opnemen, visualiseren, manipuleren en analyseren van spraak. De in spraakonderzoek meest gebruikte programma's zijn Audacity (Audacity Team, 2014), Speech Filing System (Huckvale, 2000), Wavesurfer (Sjölander & Beskow, 2000), en Praat (Boersma, 2002). Bij het opnemen en analyseren van de spreektaken die in deze tutorial aan bod komen, wordt Praat gebruikt. Voor het correct uitvoeren van de analyses wordt niet meer dan een basale kennis van de werking van Praat gevraagd. Deze kennis kan zo nodig opgedaan worden met behulp van een van de vele handleidingen die vrij beschikbaar zijn op internet (zie bijvoorbeeld Weenink (2002) voor een Nederlandstalige handleiding), of via het uitgebreide help-menu in het programma zelf.

Spreektaken en methodes voor het beoordelen van verstaanbaarheid

Hieronder volgt een overzicht van drie spreektaken en twee meetmethodes die ontworpen zijn voor het beoordelen van verstaanbaarheid. Een aantal van deze spreektaken is ook geschikt om articulatiesnelheid en spreesnelheid te meten, dit zal aan bod komen in de volgende sectie. Bij de toepassing van de hierna genoemde spreektaken wordt er vanuit gegaan dat een digitale opname van de spreektaken wordt uitgevoerd.

Contextuele spreektaken

Teneinde verstaanbaarheid te beoordelen bij een meer natuurlijke spreekstijl kan een spreektaak in de vorm van een monoloog of dialoog toegepast worden (Illes, Metter, Hanson, & Iritani, 1988; Preminger & Tasell, 1995; Tjaden, 2000). Een voorbeeld van een spreektaak is sprekers te vragen om wat te vertellen over een vakantie die ze in het verleden hebben meegemaakt, of om een ideale vakantie te beschrijven.

Voor iedere spreker wordt minimaal 1 minuut spraak opgenomen. Wanneer sprekers stoppen met praten voordat de benodigde hoeveelheid spraak is opgenomen, worden ze aangemoedigd om uit te wijden over een of meerdere elementen die ze genoemd hadden gedurende de monoloog.

Onvoorspelbare zinnen

Een tweede spreektaak is het beoordelen van verstaanbaarheid met behulp van een leestaak met onvoorspelbare zinnen. Het gebruik van onvoorspelbare zinnen zorgt ervoor dat voorspelbare elementen van contextuele informatie die begripelijkheid faciliteren, zoals syntactische, semantische en pragmatische cues worden verwijderd. Vanuit het oogpunt van het perceptueel beoordelen van dysartrische spraak, wordt het beoordelen van verstaanbaarheid accurater wanneer deze cues verwijderd worden (Yorkston, Strand, & Kennedy, 1996). McHenry en Parle (2006) ontwikkelden een corpus van 50 zinnen, elk met een lengte van zeven woorden. De zinnen zijn grammatisch correct, maar semantisch ongebruikelijk of onlogisch, wat gedurende het lezen de identiteit van de eerstvolgende woorden onvoorspelbaar maakt. Een Nederlandstalige set van onvoorspelbare zinnen is gebruikt bij het onderzoeken van verstaanbaarheid in sprekers met dysartrie door Beijer, Rietveld, Ruiters, & Geurts (2014). De gebruikte zinnen bestaan uit 6 woorden, en zijn gestructureerd in de vorm lidwoord - zelfstandig naamwoord - werkwoord - voorzetsel - lidwoord - naamwoord. Voorbeelden van zinnen zijn *'Een brood hangt voor een drang'* en *'Een gek vocht door het land'*.

De spreektaak met onvoorspelbare zinnen wordt over het algemeen uitgevoerd als volgt. Een lijst van 10 willekeurig gekozen zinnen wordt aangeboden aan elke spreker. De participanten worden geïnstrueerd de zinnen eenmalig te lezen. Om te voorkomen dat sprekers de woorden kunnen herinneren, wordt het niet toegestaan om de zinnen van tevoren te lezen.

Leespassages

Een laatste spreektaak die gebruikt kan worden bij het beoordelen van verstaanbaarheid is het lezen van een kort verhaal of passage. De leespassages zijn over het algemeen fonetisch gebalanceerd, en bevat nagenoeg alle spraakgeluiden die voorkomen in de betreffende taal. Veelgebruikte, fonetisch gebalanceerde leespassages in het Nederlands zijn onder andere 'Finland', de niet oro-nasale paragraaf van 'Papa en Marloes' (Beijer et al., 2014) en 'De auto' uit Dysamix (Paemeleire, Desmet, Savonet, & Van Beneden, 2011).

Meerdimensionale Likertschaal

De eerste meetmethode voor het beoordelen van verstaanbaarheid betreft het gebruik van een meerdimensionale Likertschaal. Voor het verkrijgen van verstaanbaarheidsscores van dysartrie wordt vaak een Likertschaalexperiment gebruikt (Folker et al., 2010; Zyski & Weisiger, 1987). Hoewel het gebruik van een Likertschaal laagdrempelig is, zijn er aantal nadelen aan deze methode. De interbeoordelersbetrouwbaarheid is laag, en er zijn relatief veel luisteraars nodig om de spreiding tussen de oordelen te doen dalen. Verder wordt bij het beoordelen van spraak de indruk van de luisteraar beïnvloed door de taalkundige context en geheugen. Bij het gebruik van een één-dimensionale schaal is er weinig inspanning benodigd door luisteraars. Daarnaast kan snel een plafondeffect optreden bij relatief goed verstaanbare dysartrische spraak. Een aantal van deze nadelen kunnen ondervangen worden door gebruik te maken van een schaal die meerdere dimensies tegelijkertijd meet, bijvoorbeeld verstaanbaarheid én luisteraarsinspanning. Dobinson (2007) ontwikkelde een negen-puntsschaal voor het gelijktijdig beoordelen van verstaanbaarheid en luisteraarsinspanning, en bleek succesvol te zijn in het beoordelen van verstaanbaarheid bij hypokinetische dysartrie en ataxische dysartrie (Lowit, Dobinson, Timmins, Howell, & Kröger, 2010; van Brenk & Lowit, 2012). Deze Likertschaal is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Negen-puntsschaal voor het beoordelen van verstaanbaarheid en luisteraarsinspanning, c.f. Dobinson (2007).

Verstaanbaarheid	Inspanning	Waardering
In staat om volledig te begrijpen wat de spreker zei	Makkelijk	9
	Besteed een beetje aandacht	8
In staat om volledig te begrijpen wat de spreker zei, maar moest extra inspanning bij het luisteren geven	Aandachtig luisteren	7
	Diep concentreren	6
In staat om gedeeltelijk te begrijpen wat de spreker zei	Bijna alles (75% of meer)	5
	Het meeste (50% of meer)	4
	Niet veel	3
In staat om een aantal afzonderlijke woorden te begrijpen, maar niet in staat om te begrijpen wat de spreker zei		2
Niet in staat om te begrijpen wat de spreker zei		1

Deze meerdimensionale Likertschaal is geschikt voor het gebruik bij de drie voorgaande spreektaken: fragmenten uit contextuele spraak, onvoorspelbare zinnen, en fragmenten uit leespassages.

Transcriptie van fragmenten en zinnen

De tweede meetmethode om verstaanbaarheid te beoordelen kan met behulp van transcriptie van fragmenten en zinnen. Luisteraars worden geïnstrueerd de zinnen orthografisch te transcriberen. Teneinde het effect van herinnering te minimaliseren, worden zinnen (uit

fragmenten) eenmalig aangeboden. De transcriptiemethode kan gebruikt worden om de drie bovengenoemde spreektaken contextuele spraak, onvoorspelbare zinnen, en leespassages te analyseren. Met name de spreektaak met onvoorspelbare zinnen uit Beijer, Rietveld, Ruiters, & Geurts (2014) is zeer geschikt voor transcriptie. De zinnen in deze taak zijn meestal zes of zeven woorden lang, wat er voor zorgt dat luisteraars in staat zijn de zinnen te herinneren en transcriberen zonder herhaald luisteren. Door het beperkte aantal zinnen in de test kan bij de afnemer snel een familiariteit met het spraakmateriaal ontstaan. Een mogelijke oplossing is de database uit te (laten) breiden met een groot aantal identiek gestructureerde zinnen.

Om een maat voor verstaanbaarheid te verkrijgen, wordt het gemiddelde aantal correct getranscribeerde woorden per zin berekend (Hustad, 2008; Tjaden & Wilding, 2011; Yorkston & Beukelman, 1978). Voor elke spreker wordt dan de verstaanbaarheidsscore bepaald door het berekenen van het gemiddelde percentage correct getranscribeerde woorden (Neel, 2009).

Spreektaken en methodes voor het meten van maximale prestatietaken

Hieronder volgt een overzicht van methoden om maximale prestatietaken objectief te meten. Voor elk van de taken wordt weergegeven wat er gemeten wordt, welke spreektaak en instructie bij voorkeur gebruikt worden, welke analysemethode toegepast kan worden, en enkele aanwijzingen bij de interpretatie van de resultaten.

Fonatie en respiratie meten met maximale fonatietijd

De fonatoire en respiratoire functies kunnen worden bepaald door het onderzoeken van de maximale fonatietijd. De maximale fonatietijd wordt gebruikelijk onderzocht met behulp van een aangehouden klinker-taak (Duffy, 2005; Kent, Kent, & Rosenbek, 1987; Wang, Kent, Kent, Duffy, & Thomas, 2009). Sprekers met dysartrie laten vaak een gereduceerde controle over de fonatoire en (in mindere mate) respiratoire functie zien, resulterende in kortere fonatietijden (Duffy, 2005).

Spreektaak

Het is gebruikelijk de fonatietijd te bepalen met behulp van de aangehouden klinker /a:/.

Instructie

Sprekers worden als volgt geïnstrueerd: “Neem diep adem, en zeg /a:/ zo lang en gelijkmatig als mogelijk, totdat u buiten adem bent.” De afnemer geeft een voorbeeld van ongeveer 2-3 seconden. Neem voor de spreektaak drie pogingen af, en gebruik de langste poging voor verdere analyse. Toonhoogte en luidheidsniveau worden niet gespecificeerd. Wanneer de toonhoogte en/of de luidheid significant afwijkt van het normale conversatieniveau, instrueer dan de spreker de taak meer natuurlijk te herhalen.

Analyse

De duur van de fonatietijd wordt als volgt bepaald. Open de geluidsopnames met de aangehouden klinker-taak in Praat, waarbij de blauwe toonhoogtecontour zichtbaar is. Meet de duur vanaf de start van de stemgeving (waar de toonhoogtecontour begint) tot het eerste moment waar de toonhoogtecontour onderbroken wordt.

Interpretatie

De bereikte maximale fonatietijd varieert aanzienlijk bij normale sprekers, hangt sterk af van de leeftijd en in mindere mate van het geslacht van de spreker (Kent et al., 1987; Morsomme, Jamart, Boucquey, & Remade, 1997). De maximale fonatietijd varieert van 10 tot 20 seconden voor oudere sprekers, en 15 tot 34 seconden voor jongere sprekers, waarbij mannen iets langere fonatietijden laten zien. Fonatietijden korter dan 8-9 seconden zijn een indicatie van een aangetaste fonatoire of respiratoire functie. Een kortere fonatietijd kan voorkomen bij praktisch alle dysartriesoorten (Duffy, 2005; Kent et al., 1987). Verdere differentiatie tussen afnemende fonatoire of respiratoire functies kan verkregen worden door het vaststellen van de s/z ratio (de Angelis et al., 1997).

Grondtoonbereik en luidheidsbereik meten met glijtonen

De fonatoire functie kan ook worden bepaald met het uitvoeren van glijtonen. Het maximum bereik in grondtoon en luidheid kunnen een indicatie geven van de ernst van de dysartrie (Eigentler et al., 2012).

Spreektaak

Het is gebruikelijk het grondtoonbereik te bepalen met behulp van de aangehouden klinker /a:/.

Instructie

Voor het grondtoonbereik worden sprekers als volgt geïnstrueerd: “Neem diep adem, zing /a:/ beginnend op normale toonhoogte, en zing daarna zo hoog mogelijk.” en “Neem diep adem, zing /a:/ beginnend op normale toonhoogte, en zing daarna zo laag mogelijk.”

Voor het luidheidsbereik worden sprekers als volgt geïnstrueerd: “Neem diep adem, zeg /a:/ beginnend op normale luidheid, en ga daarna zo luid mogelijk.” en “Neem diep adem, zeg /a:/ beginnend op normale luidheid, en ga daarna zo zacht mogelijk.”

Analyse

Het grondtoonbereik wordt als volgt bepaald. Open de geluidsopnames met de grondtoon-taken in Praat, waarbij de blauwe toonhoogtecontour zichtbaar is. Meet de hoogste grondtoonfrequentie bij de spreektaak 'omhoog', en de laagste grondtoonfrequentie bij de spreektaak 'laag'. Het verschil tussen deze metingen is het bereik in hertz. Voor het luidheidsbereik wordt dezelfde procedure gevolgd, waarbij tijdens de analyse in Praat de gele luidheidscontour zichtbaar gemaakt wordt. Het bereik wordt uitgedrukt in decibel.

Interpretatie

Het grondtoonbereik hangt mede af van de normale grondtoon, en is dus anders voor elke spreker. In vergelijking met andere dysartriesoorten, wordt het grondtoonbereik het meest gereduceerd bij hypokinetische en slappe dysartrie (Duffy, 2005). Behalve voor perceptuele beoordeling, kan het grondtoonbereik als een longitudinale onderzoeksfactor gebruikt worden.

Voor het luidheidsbereik wordt verwacht dat de spreker minstens 25 decibel luider kan roepen dan het normale luidheidsniveau (Knuijt & de Swart, 2007). Een gereduceerd luidheidsbereik is kenmerkend voor hypokinetische, slappe, en unilaterale neuron motor dysartrie (Duffy, 2000). Ook deze taak is zeer geschikt voor een longitudinale aanpak.

Het meten van snelheid en regulariteit van articulatorische bewegingen met DDK-taken

Diadochokinese (DDK)-taken zijn ontworpen om de snelheid en regulariteit van syllabeherhalingen te meten. In de logopedische praktijk wordt vaak volstaan om alleen de snelheid van syllabe-herhalingen te meten door het tellen van herhalingen en met behulp van een stopwatch. Hoewel een langzaam syllabe-herhaalpatroon een indicatie is van de zwaarte van dysartrie (Ackermann, Hertrich, & Hehr, 1995; Duffy, 2005), geldt dit niet onverkort voor alle types van dysartrie. Meerdere studies vonden vergelijkbare syllabeherhaalsnelheden bij sprekers met hypokinetische dysartrie en controlesprekers (Connor, Ludlow, & Schulz, 1989; Tjaden & Watling, 2003). Als onderliggende oorzaak wordt gesuggereerd dat de toegenomen rigiditeit in hypokinetische dysartrie voor een gereduceerd articulatorisch bereik zorgt. Door de kortere afgelegde afstand is de spreker dan wel in staat om een herhaalsnelheid te behalen die binnen normale grenzen valt, hoewel het uiteindelijke articulatie-doel niet behaald wordt (Connor et al., 1989; McAuliffe, Ward, & Murdoch, 2006). Het is daarom essentieel bij de diagnose en beoordeling van dysartrie met behulp van DDK-taken dat niet alleen de herhaalsnelheid, maar ook de regulariteit van de herhalingen gemeten wordt. Daarnaast geeft de regulariteit van de piek-intensiteit van de klinkers een indicatie van de kwaliteit van stemgeving bij het uitvoeren van een DDK-taak. De snelheids- en regulariteitsmetingen bij DDK-taken kunnen als ondersteunend middel gebruikt worden bij differentiaaldiagnose. Het op langere termijn vastleggen en vergelijken van de prestaties gedurende een DDK-taak geeft informatie over de progressie van de spraakstoornis.

Hieronder wordt een methode beschreven waarmee de herhalingsnelheid, de herhalingsregulariteit, de piek-intensiteit en de piek-intensiteitregulariteit van DDK-taken grotendeels automatisch gemeten kan worden.

Spreektaak

Het is gebruikelijk om afwisselende bewegingssnelheden te meten met de spreektaken /pa/, /ta/, en /ka/. Sequentiële bewegingssnelheden worden gemeten met de spreektaak /pataka/.

Instructie

Sprekers worden als volgt geïnstrueerd: “Neem diep adem en herhaal /pa/ - /pa/ -/pa/ zo snel en gestaag als mogelijk. Blijf dit herhalen totdat u buiten adem bent, of tot ik een signaal geef dat u kunt stoppen”. De afnemer geeft een voorbeeld van ongeveer 2-3 seconden. Het doel is een minimum van 10 herhalingen te verkrijgen. Neem voor elk van de spreektaken drie pogingen af, en gebruik de snelste poging met voldoende analyselengte voor verdere beoordeling.

Analyse

Van elke DDK-taak wordt de eerste syllabe niet gebruikt, omdat sprekers deze vaak produceren met een langere duur en hogere intensiteit. De laatste syllabe van elke taak wordt ook niet gebruikt, omdat deze vaak disproportioneel langer gemaakt wordt door finale verlenging (Ackermann et al., 1995).

De volgende analyses kunnen worden uitgevoerd bij DDK-taken.

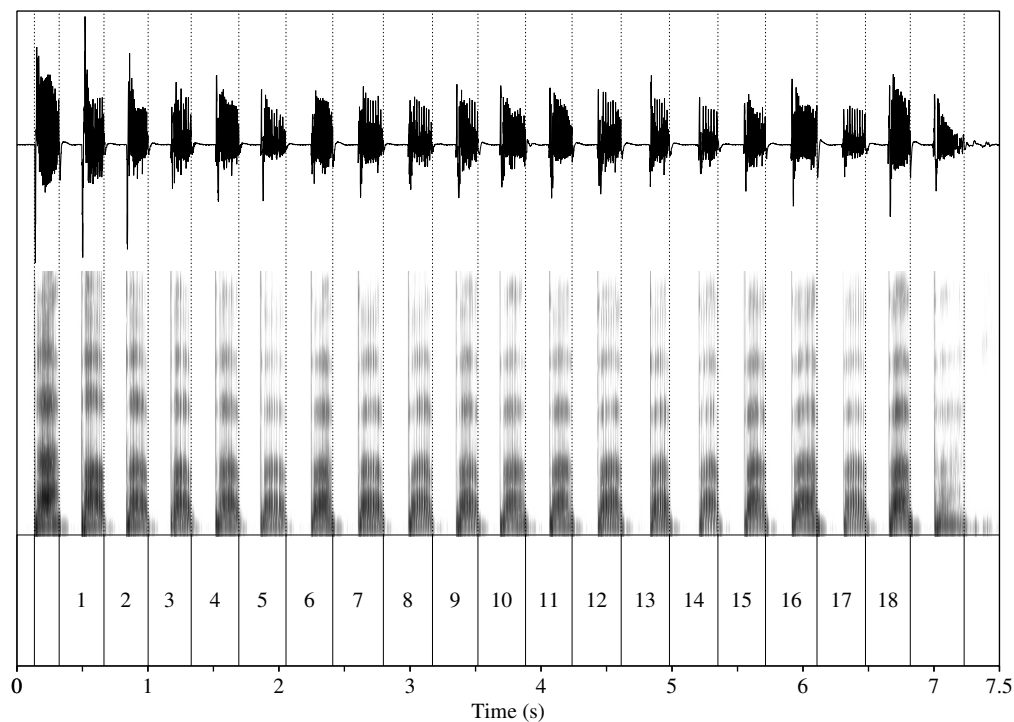
- Gemiddelde syllabeherhalingsnelheid (in syllabes per seconde)
- Variabiliteit van syllabeduur (coëfficiënt van variatie)
- Gemiddelde piekintensiteit per syllabe (in dB)
- Variabiliteit van piekintensiteit (coëfficiënt van variatie)

Een voorbeeld van het annoteren van een DDK taak is weergegeven in figuur 1, in dit geval syllabe /pa/ geproduceerd door een spreker met hypokinetische dysartrie. De syllabeduur wordt bepaald door het vaststellen van het tijdsinterval tussen twee opeenvolgende klinkereindes, gebaseerd op informatie uit het oscillogram en spectrogram.

Variabiliteit van syllabeduur wordt berekend door de standaarddeviatie (SD) van de gemiddelde syllabelengte te delen door de gemiddelde syllabelengte x 100, wat een coëfficiënt van variatie (CV) oplevert, uitgedrukt als een percentage.

Gemiddelde piekintensiteit wordt berekend door de maximale intensiteit van elke klinker te middelen. Variabiliteit van gemiddelde piekintensiteit (uitgedrukt als CV) wordt berekend door de SD van de gemiddelde piekintensiteit te delen door de gemiddelde piekintensiteit x 100. Een voordeel van het gebruik van de coëfficiënt van variatie ten opzichte van de standaarddeviatie is dat het een relatieve maat van spreiding is. De CV kan daarom gebruikt worden bij het vergelijken van populaties met uiteenlopende gemiddelden.

De volgende procedure kan gebruikt worden bij de analyse van DDK-taken. Een aantal stappen bij het berekenen van syllabeduren en syllabeintensiteiten zijn vastgelegd in Praat-scripts ontwikkeld door Miete Lennes (2011), en zijn opgenomen als aanvullend materiaal bij dit artikel. Voor hulp bij Praat wordt verwezen naar de handleiding van Weenink (2002). De analysemethode van DDK-taken in Praat bestaat uit drie belangrijke stappen. In de eerste stap wordt een TextGrid gemaakt, een object met labelinformatie, dat onder het spraaksignaal zichtbaar kan worden gemaakt. Het TextGrid bestaande uit een of meerdere IntervalTiers en /of PointTiers, een serie gemarkeerde tijdsintervallen of tijdstippen. De tweede stap behelst het laden en uitvoeren van een Praat-script. De derde stap omvat de analyse en het berekenen van de resultaten. Open de geluidsopnames met de DDK-taken in Praat. Voeg een gelijknamig TextGrid met een IntervalTier toe aan de geluidsopnames, en annotateer elke syllabe met duurgrenzen, inclusief de eerste en de laatste syllabe. Nummer in het IntervalTier alle syllabes behalve de eerste en de laatste, deze worden leeggelaten om eerdergenoemde redenen. Sla de TextGrids op. Open het script `bereken_ddk_duur.praat` in Praat, verander de leesdirectory waar nodig, en voer het script uit. Doe dit ook met het



Figuur 1: Voorbeeld van een analyse van syllabeduren in een diadochokinesetaak uitgevoerd in Praat. Bovenste paneel: oscillogram. Middelste paneel: spectrogram. Onderste paneel: annotatiegrid met genummerde syllaben.

scriptbereken_ddk_intensiteit.praat. De resulterende bestanden ddk_duur.txt en ddk_intensiteit.txt worden automatisch gemaakt, en geven syllabeduren en syllabeintensiteiten weer voor elke geluidsopname. Deze resultaatbestanden kunnen gebruikt worden voor het berekenen van de standaarddeviatie en coëfficiënt van variatie voor elke DDK-taak, bijvoorbeeld in een statistisch programma zoals MS Excel of SPSS.

Interpretatie

Wanneer DDK-taken slechts kort aangehouden worden, kan dit duiden op afwijkingen in het fonatoire en respiratoire systeem. De behaalde snelheid is een indicatie van articulatorische vaardigheid. Gezonde sprekers zijn in staat met /pa/ en /ta/ een snelheid te halen van 5 tot 7 syllabes per seconde. Spreektaak /ka/ heeft gemiddeld een langzamere snelheid, tussen 4,5 en 6,5 syllabes per seconde. De taak /pataka/ wordt gemiddeld het snelst uitgevoerd. Hierbij kan een snelheid van 4 tot 7,5 syllabes per seconde verwacht worden (Duffy, 2005; Kent et al., 1987), waarbij geslacht en leeftijd een minimale invloed hebben (van Brenk, Terband, van Lieshout, Lowit, & Maassen, 2013). De syllabeherhaalsnelheid kan gebruikt worden bij het identificeren van dysartrie, waarbij voorzichtigheid geboden is. Voor hypokinetische dysartrie rapporteren studies een lagere syllabeherhaalsnelheid (o.a. Ackermann et al., 1995) hoewel dit bij latere onderzoeken tegengesproken wordt (Tjaden &

Watling, 2003). Voor ataxische dysartrie kan een significant lagere syllabeherhaalsnelheid verwacht worden. De coëfficiënt van variatie van syllabeherhaalsnelheid mag voor gezonde sprekers lager dan 10% verwacht worden (Padovani, Gielow, & Behlau, 2009), terwijl zowel sprekers met hypokinetische als ataxische dysartrie hier duidelijk boven zitten, waarbij voor hypokinetische dysartrie een CV van 12%-15% gerapporteerd wordt (Ackermann et al., 1995; Tjaden & Watling, 2003) en 15%-25% voor ataxische dysartrie (Kent et al., 2000; Tjaden & Watling, 2003). Hyperkinetische dysartrie wordt gekenmerkt door een onregelmatige productie van DDK-taken. Spastische dysartrie wordt gekenmerkt door een langzame maar regelmatige productie van DDK-taken (Duffy, 2000, 2005).

Door verschillen in opnameapparatuur, opnametechniek, en spreker eigen karakteristieken kunnen er over de gemiddelde piekintensiteit geen algemene richtlijnen gegeven worden. Interpretatie van gegevens over gemiddelde piekintensiteit hebben alleen zin in het kader van een longitudinale analyse bij dezelfde spreker. Interpretatie van resultaten van de CV van piekintensiteit worden bemoeilijkt door een afwezigheid van relevante literatuur. In een van de weinig beschikbare studies werd een significant hogere CV van piekintensiteit gerapporteerd in sprekers met ataxische dysartrie in vergelijking met gezonde sprekers (Hertrich & Ackermann, 1993). Bij slappe dysartrie kan het luidsheidsniveau binnen een DDK-taak sterk afnemen, wat de CV doet toenemen (Duffy, 2000). Ook hier wordt de longitudinale aanpak het meest aanbevolen.

Articulatiesnelheid en spreesnelheid

De spreesnelheid wordt gebruikelijk uitgedrukt in syllabes per seconde, waarbij het aantal gerealiseerde syllabes gedeeld wordt door de totale duur, inclusief pauzes. De articulatiesnelheid wordt gedefinieerd als het aantal gerealiseerde syllabes gedeeld door de totale duur, exclusief pauzes (Nishio & Niimi, 2001). Het handmatig meten van de articulatiesnelheid en spreesnelheid in een contextuele spreektaak kan bewerkelijk zijn. Bij een leespassage kan dit makkelijker zijn wanneer het aantal syllabes die de tekst bevat bekend is, en men van een stopwatch gebruik maakt om de tijdsduur van de passage te meten. Echter, bij het meten van articulatiesnelheid en spreesnelheid dient het *gerealiseerde* aantal syllabes te worden bepaald. Afhankelijk van de mate van de spraakstoornis zal de spreker een aantal syllabes onvolledig of niet produceren. Wanneer het *verwachte* aantal syllabes wordt gebruikt, heeft dit als resultaat dat de articulatiesnelheid en spreesnelheid overschat worden.

Spreektaak

De meest gebruikte spreektaken voor het bepalen van de articulatiesnelheid en spreesnelheid zijn de leespassage en de contextuele spreektaak.

Instructie

De spreekinstructies bij de contextuele spreektaak, gebruikelijk een monoloog of dialoog, blijft beperkt tot het aanmoedigen van een spreker vrijuit te spreken. Om een zo natuurlijk mogelijk spraakfragment te verkrijgen, kunnen verdere instructies zoveel mogelijk vermeden worden. Bij de leespassage kan de spreker geïnstrueerd worden om de tekst met een gebruikelijke snelheid en normale luidheid te lezen.

Analyse

Een aantal stappen bij het berekenen van articulatiesnelheid en spreesnelheid zijn vastgelegd in een Praat-script, en is opgenomen als aanvullend materiaal bij dit artikel. Dit script is ontwikkeld door De Jong en Wempe (2009), en telt het aantal gerealiseerde syllabes in geluidsbestanden in een opgegeven directory. De methode om het aantal syllabes te berekenen is gebaseerd op het detecteren van intensiteitspieken die corresponderen met klinkernuclei in syllabes. Hierbij is de achterliggende gedachte dat elke klinkernucleus correspondeert met een syllabe. Het detecteren van intensiteitspieken wordt gedaan middels een minimaal benodigde dip in amplitude tussen twee pieken. Het script plaatst grenzen tussen spraak en stiltes gebaseerd op een aangegeven drempelwaarde van intensiteit. Open de geluidsoptname met de spreektaak of leestaak en het script bereken_spreesnelheid.praat in Praat, verander de leesdirectory naar de plaats waar de geluidsbestanden geplaatst zijn, en voer het script uit. De resultaten worden weergegeven in een nieuw Info venster. Het Object venster bevat nu de geluidsbestanden en bijbehorende gemaakte TextGrids. De TextGrids kunnen dan geïnspecteerd worden op accuratesse. Het script kan geoptimaliseerd worden door de minimale dip-waarde en de stiltedrempelwaarde te veranderen.

Interpretatie

De gerealiseerde spreesnelheid en articulatiesnelheid en de samenhang daartussen hangt af van het type dysartrie. Zo wordt bijvoorbeeld de spraak van sprekers met hypokinetische dysartrie gekenmerkt door een lagere articulatiesnelheid ten opzichte van normale sprekers, terwijl bij ataxische dysartrie een lagere articulatiesnelheid en spreesnelheid gevonden wordt. Bij slappe en spastische dysartrie kan ook een langzame articulatiesnelheid en spreesnelheid verwacht worden (Duffy, 2000). Bij de aanwezigheid van een verlaagd spreektempo kan het verschil in spreesnelheid en articulatiesnelheid een indicatie geven over de absoluut behaalde snelheid van articulatie in relatie tot de toegenomen duur en frequentie van pauzes, wat een maat is voor articulatorische prestatie (Nishio & Niimi, 2001, 2006).

Experimentele onderzoeksmethoden voor de kwantitatieve beoordeling van spraakproblemen

Het produceren van vloeiende en verstaanbare spraak kan alleen tot stand komen door snelle, precieze, en gecoördineerde bewegingen van de articulatoren. Er zijn verschillende factoren die deze articulatorische bewegingen beïnvloeden. Deze factoren kunnen door de spreker zelf geïnitieerd zijn, zoals het versnellen of vertragen van de spreesnelheid, door toegenomen cognitieve of linguïstische eisen bijvoorbeeld door het verlengen van de fraselengte of toenemende syntactische complexiteit, door het spreken met verdeelde aandacht bijvoorbeeld door het simultaan uitvoeren van bewegings- of luistertaken, of door het spreken tijdens het obstrueren van bewegingen van de mondholte bijvoorbeeld met een pen.

Ook externe factoren kunnen de spraakaansturing beïnvloeden, zoals een verhoogde emotionele staat; als gevolg van het verouderingsproces, en bij de aanwezigheid van spraak- of anatomische afwijkingen. Betreffende dysartrie hebben afwijkingen in één of meerdere van

de vijf eerder genoemde elementen, te weten respiratoire, fonatoire, resonatoire, articulatorische, en prosodische aspecten, invloed op de spraakproductie. Instrumentele spraakanalyses kunnen helpen bij het vaststellen van de invloed van deze factoren op spraakproductie. De relatieve invloed van een aantal aan dysartrie gerelateerde kenmerken van spraak op verstaanbaarheid zijn bijvoorbeeld onderzocht door De Bodt, Huici, & Van De Heyning (2002) middels een multiple regressiemodel. In deze studie werd het articulatorische aspect als belangrijkste bijdrage aan verstaanbaarheid gevonden. Een objectieve en geautomatiseerde methode om verstaanbaarheid van dysartrische spraak vast te stellen is zeer wenselijk en waardevol voor zowel de klinische praktijk als in het wetenschappelijke veld. Een mogelijke, veelbelovende methode is het analyseren van spraakvariabiliteit. Wanneer een syllabe, woord, of zin zo exact mogelijk wordt herhaald, zijn er kleine, meetbare variaties aanwezig in de eigenschappen van een spraaksignaal, hoewel deze niet noodzakelijkerwijs opgemerkt kunnen worden door het menselijk oor. Deze variaties komen tot stand door veranderingen in de articulatorische configuratie van het spraakkanaal, door veranderingen in de coördinatie van verschillende articulators, of door veranderingen in de coördinatie van het subglottale en laryngeale systeem. Vooral bij spraakstoornissen waar de aansturingen van musculaire bewegingen is aangetast, kan verondersteld worden dat er gedurende de productie van een serie van identieke spraakuitingen een meetbaar afwijkend niveau van spraakvariabiliteit aanwezig is. Het gebruik van een gevoelige en precieze instrumentele techniek bij het bestuderen van spraak kan eventuele subklinische spraakafwijkingen aan het licht brengen. Aangezien afwijkingen in de precieze controle van spraakbewegingen de belangrijkste stoornis is in dysartrie, is het meten van variabiliteit en stabiliteit gedurende spraak een uitstekende manier om spraakaansturing in dysartrie te bestuderen. Dit is belangrijk als klinisch doel, vooral bij de ondersteuning van identificatie, beoordeling, en behandeling van dysartrie.

De spatiotemporele index

Variabiliteit kan gemeten worden op segmentele en suprasegmentele spraakniveaus. Op het segmentele niveau, heeft het onderzoek bij dysartrie zich vooral gericht op variabiliteit gedurende de productie van klinkers en consonanten (Ackermann, Konczak, & Hertrich, 1997; Hertrich & Ackermann, 1999), pauzes (Rosen, Kent, & Duffy, 2003), en voice onset time (Auzou et al., 2000). Op het suprasegmentele niveau heeft onderzoek bij dysartrie zich gericht op variabiliteit in grondtoon (Goberman & Blomgren, 2008), intensiteit (Rosen, Kent, Delaney, & Duffy, 2006), en prosodie in het algemeen (Patel & Campellone, 2009). Recentelijk heeft onderzoek zich gericht op het meten van variabiliteit in langere frases. De achterliggende gedachte hierachter is dat het moeilijk is om invariante, stabiele bewegingspatronen te vinden in spraakbewegingen op het niveau van fonemen en syllabes, zoals lipopeningen en lipsluitingen. Onderliggend is het ook niet mogelijk om discrete eenheden van spraakaansturing te identificeren. Dit heeft Smith et al. (1995) ertoe geleid om een methode te ontwikkelen die de stabiliteit van langere spraakfragmenten meet. Onderlipbewegingen werden gemeten gedurende een vijftien maal herhaalde productie van de zin 'Buy Bobby a puppy'. De vijftien bewegingscontouren werden gebruikt om de spatiotemporele index

(STI) te berekenen, als maat voor de stabiliteit van spraakaansturing (en daarmee de inverse, variabiliteit). Het berekenen van spraakvariabiliteit middels de STI veronderstelt dat een serie van bewegingscontouren passen in een gemiddeld patroon dat de doelsequentie van spraakbewegingen representeert. Deze bewegingscontouren worden gelijktijdig genormaliseerd in de tijdsrichting (temporeel) en de amplituderichting (spatieel). De STI wordt dan berekend als de som van de standaarddeviaties in amplitudeverschillen van elk van de bewegingscontouren ten opzichte van het gemiddelde bewegingscontour, op verschillende tijdsintervallen gedurende het spraakfragment. Dit getal wordt dan gebruikt als maat voor spraakvariabiliteit (Smith et al., 1995; Smith, Johnson, McGillem, & Goffman, 2000). De STI is succesvol toegepast in onderzoek naar hypokinetische dysartrie. Kleinow, Smith, & Ramig (2001) waren in staat onderscheid te maken tussen sprekers met hypokinetische dysartrie en gezonde sprekers op basis van variabiliteit in onderlipbewegingen, en toonden aan dat luidere spraak resulteert in stabielere articulatie, een strategie die wordt toegepast bij de Lee Silverman Voice Treatment (Ramig, Sapir, Fox, & Countryman, 2001). McHenry (2003) gebruikte de STI van onderlipbewegingen om verschillen aan te tonen tussen spreker groepen die varieerden in de zwaarte van de dysartrie.

De cyclische spatiotemporele index

Een speciale versie van de STI is de cyclische STI (cSTI), en is gericht op kortere spraakfragmenten. De cSTI biedt een maat voor het berekenen van de uniformiteit van herhaalde spraakbewegingen die een cyclische natuur hebben, bijvoorbeeld de openingsbewegingen en sluitingsbewegingen van de onderlip en bovenlip gedurende een diadochokinesetaak (van Lieshout & Moussa, 2000; van Lieshout, Bose, Square, & Steele, 2007). De cSTI is onder meer succesvol toegepast bij de analyse van spraakbewegingen in spraakapraxie (van Lieshout et al., 2007), bij slikproblemen in patiënten met de ziekte van Parkinson (Bennett, van Lieshout, & Steele, 2007), en bij volwassen stotteraars (van Lieshout, Ben-David, Lipski, & Namasivayam, 2014).

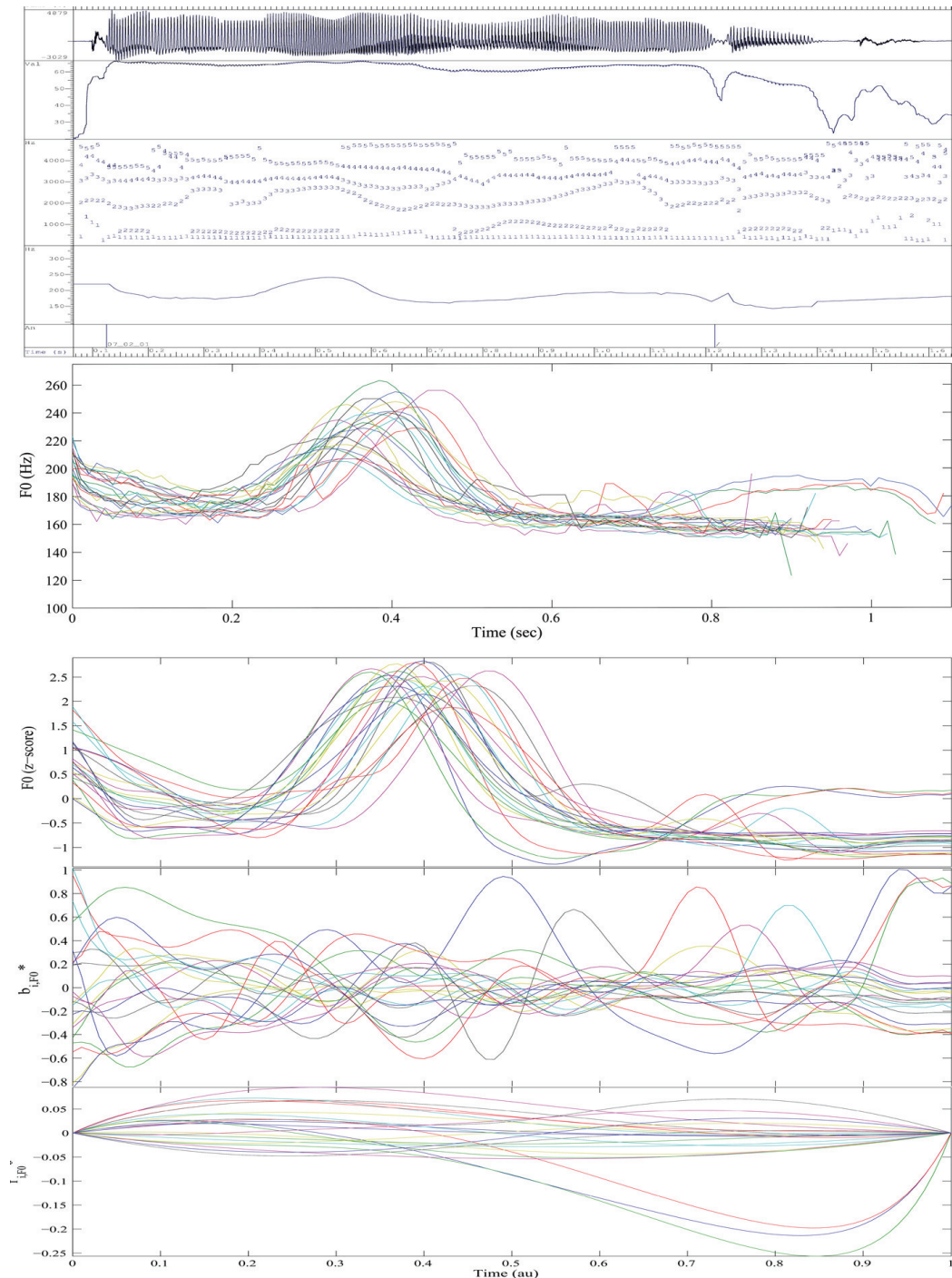
Functionele data analyse

Een derde instrument in het meten van spraakvariabiliteit is functionele data analyse (FDA). FDA gebruikt een aantal van de principes van de STI bij het middelen van een serie van spraakbewegingscontouren. De spatiële normalisatiestap is dezelfde als die gebruikt wordt in STI, terwijl bij de temporele normalisatiestap elk contour in de serie verlengd of verkort wordt om eenzelfde lengte te verkrijgen. De contouren worden niet-lineair geschaald, dat wil zeggen, de aanpassing die nodig is tussen het begin- en eindpunt varieert per contour. Het niet-lineaire karakter van de temporele normalisatie zorgt ervoor dat er informatie verkregen kan worden over zowel spatiële als temporele variabiliteit, een waardevolle toevoeging bij het bestuderen van spraakbewegingen in dysartrie.

Eerder onderzoek naar articulatorische variabiliteit met behulp van STI en FDA heeft zich gericht op het meten van direct verkregen bewegingspatronen, zoals onderlipbewegin-

gen verkregen met bijvoorbeeld een electromagnetische midsagittale articulograaf of een electropalatograaf. Recentelijk onderzoek heeft zich gericht op functionele data analyse van akoestische informatie, zoals variaties in amplitude of formanten (Howell, Anderson, Bartrip, & Bailey, 2009). In vergelijking met kinematische dataverzameling, heeft akoestische dataverzameling het voordeel dat gespecialiseerde en dure apparaten overbodig zijn; slechts een goede microfoon en geluidsrecorder zijn nodig om data te verzamelen. Daarnaast zijn akoestische opnames niet invasief, wat dataverzameling vergemakkelijkt en op locatie kan worden uitgevoerd. Dit betekent dat variabiliteitsanalyses op basis van akoestische data relatief eenvoudig ingebed kan worden in de klinische praktijk. Functionele data analyse van akoestische data is succesvol toegepast bij de differentiaaldiagnose van dysartrie. Anderson, Lowit, & Howell (2008), waren in staat onderscheid te maken tussen sprekers met hypokinetische dysartrie en ataxische dysartrie op basis van verschillen in spatiële en temporele variabiliteit van amplitudecontouren op basis van akoestische data. Van Brenk & Lowit (2012) onderzochten de relatie tussen variabiliteitsindices verkregen door FDA enerzijds en verstaanbaarheidsoordelen en maximale prestatietaken anderzijds in sprekers met hypokinetische dysartrie en ataxische dysartrie. Intensiteit, grondtoon, eerste formant, en tweede formant werden geëxtraheerd uit het akoestische spraaksignaal gedurende een zinsherhalingstaak. Voor elk van deze spraakeigenschappen werd de temporele variabiliteit en spatiële variabiliteit bepaald met FDA. De resultaten lieten significante correlaties zien tussen de verschillende meetmethoden van spraakaansturing. Voor de sprekers met ataxische dysartria correleerden de FDA variabiliteitsindices goed met de verstaanbaarheidsoordelen, terwijl voor de sprekers met hypokinetische dysartrie de variabiliteitsindices goed correleerden met prestaties gedurende diadochokinesetaken. Een voorbeeld van de stappen in functionele data analyse van het akoestische signaal is weergegeven in figuur 2, uit van Brenk & Lowit (2012).

Voorgaande voorbeelden laten zien dat het gebruik van variabiliteitsmetingen met FDA behulpzaam kunnen zijn bij de beoordeling en differentiaaldiagnose van dysartrie, ook in de klinische praktijk. Een verhoogde spatiële variabiliteit van luidheid zou bijvoorbeeld kunnen duiden op hyperkinetische dysartrie, met als onderliggende neurologische afwijking ongecontroleerde bewegingen. Een verhoogde spatiële variabiliteit van toonhoogte kan wijzen op overtollige en inconsistente prosodie (van Brenk & Lowit, 2012). Een verhoogde spatiële variabiliteit in formantcontouren kan duiden op afwijkende en instabiele klinkerarticulatie, kenmerkend voor ataxische en hyperkinetische dysartrie (Lucero, Munhall, Gracco, & Ramsay, 1997; Ramsay, Munhall, Gracco, & Ostry, 1996; Ramsay & Silverman, 2006; Lucero, 2005). Een verhoogde temporele variabiliteit van spraakbewegingen kan een onderbreking van articulatie meten die kenmerkend is voor unilaterale upper neuron motor dysartrie en hypokinetische dysartrie (Duffy, 2000).



Figuur 2: Voorbeeldresultaat van functionele data analyse (FDA). Bovenste paneel: annotatie interface met daarin de golfvorm, amplitudecontour, F1 - F5 formantcontouren, en F0 contour van de zin “Tony knew you were lying in bed”. Tweede paneel: F0 contouren van ongeveer 20 herhalingen. Derde paneel: F0 contouren na normalisatie en FDA registratie. Vierde paneel: afwijking in spatiële richting van elk F0 contour ten opzichte van het gemiddelde contour. Onderste paneel: afwijking in temporele richting van elk F0 contour ten opzichte van het gemiddelde contour. Uit: van Brenk en Lowit (2012).

Mel-frequentie geschaalde cepstrale coëfficiënten

Een andere recent ontwikkelde methode voor het bepalen van spraakvariabiliteit op basis van akoestische data is ontwikkeld door Cummins, Lowit, & van Brenk (2014). In deze studie werd gebruikt gemaakt van mel-frequentie geschaalde cepstrale coëfficiënt (MFCC) parameters bij het analyseren van spraak in sprekers met hypokinetische dysartrie, ataxische dysartrie, en gezonde sprekers als controlegroep. De MFCC parameters representeren spectrale en temporale eigenschappen van spraak die belangrijk zijn voor spraakperceptie. Een dynamische-tijds-compressiealgoritme werd gebruikt om de uiting-tot-uiting spectrotemporele variabiliteit te bepalen van de MFCC parameters van een serie herhaalde uitingen (Cummins, 2009). De resultaten lieten zien dat variabiliteit significant gecorreleerd was met verstaanbaarheidsscores, en dat er een onderscheid gemaakt kon worden tussen controlesprekers en sprekers met ataxische dysartrie op basis van variabiliteit. Het analyseproces dat gebruikt is in deze studie, is grotendeels geautomatiseerd met behulp van Praat scripts en Matlab scripts. Deze scripts zijn beschikbaar als aanvullend materiaal bij de online publicatie van betreffende studie (Cummins et al., 2014).

De besproken technieken en studies laten zien dat het meten van spraakvariabiliteit een belangrijke, objectieve bijdrage kan leveren aan het diagnoseproces en de voortgangsmonitoring bij dysartrie. De beschikbare semi-geautomatiseerde dataverzamelings- en analysemethododes bij het meten van variabiliteit op basis van akoestisch data zorgen ervoor dat deze methodiek een praktische toevoeging kan zijn aan het instrumentarium voor spraakpathologen en logopedisten.

Discussie

De karakterisering, diagnose, behandeling en longitudinale evaluatie van spraakstoornissen is gebaat bij de beschikbaarheid van betrouwbare meetinstrumenten die spraakproblemen kunnen kwantificeren en kwalificeren. In dit kader is de recent geïntensiveerde aandacht voor evidence-based practice (EBP) in de logopedische praktijk een verlengde hiervan. Evidence-based practice is *“het gewetensvolle, oordeelkundig en expliciete gebruik van het huidige beste bewijsmateriaal bij het maken van beslissingen over individuele patiënten. De praktijk van evidence-based medicine betekent het integreren van individuele klinische expertise met het beste beschikbare bewijs uit systematisch onderzoek”* (Roddam & Skeat, 2010, p. 10). Een gedeelte van de opgebouwde klinische expertise benodigd bij het integreren van EBP komt voort uit wetenschappelijk onderzoek. Daarin liggen tegelijkertijd ook een aantal uitdagingen voor de logopedist om nieuwe meetinstrumenten en methodologieën te integreren in het dagelijks handelen. Het kan zijn dat de benodigde vaardigheden of kennis ontbreken of onvoldoende aanwezig zijn. Daarnaast kan de tijd ontbreken om nieuwe literatuur te vinden en te lezen. Er kan te weinig tijd beschikbaar zijn om nieuwe technieken te integreren of veranderingen aan te brengen in de praktijk (Baker & McLeod, 2011; Stephens & Upton, 2012). Het doel van deze tutorial was een aantal technieken te behandelen die

een dusdanig brede toepasbaarheid en lage gebruiksdrempel hebben om van waarde te zijn voor wetenschappelijk onderzoek en voor de logopedist. De besproken methodes met betrekking tot het meten van verstaanbaarheid, articulatiesnelheid, spreesnelheid, en maximale prestatietaken zijn opgenomen in de overtuiging dat het overwinnen van de leercurve en de tijdsinvestering zich terug betaalt in kwalitatief hoogwaardige, efficiëntere én vooral effectievere spraaktherapie. Een eerste stap hierbij is het consequent digitaal opnemen van spreektaken gedurende de intake en behandeling. Vervolgens kan een longitudinale vergelijking gemaakt worden, of kunnen sprekers met elkaar vergeleken worden. Al vanaf het moment van intake kan er met behulp van deze methodes een goed geïnformeerde inschatting gemaakt worden van de ernst van de stoornis, en van het te volgen behandelplan. Een goed gedocumenteerde afname in verstaanbaarheid of in maximale prestatietaken gedurende het behandeltraject kan een objectieve onderbouwing zijn voor het inzetten van een intensievere of andere therapie.

De verregaande automatisering van methodes die variabiliteit en stabiliteit van articulators meten gedurende spraak belooft dat deze methodes een vertaalslag kunnen maken vanuit de wetenschappelijke praktijk naar de klinische praktijk. In het beoordelen van dysartrische spraak worden gebruikelijk de vijf dimensies van afwijkende spraak onderzocht. Bij het toepassen van variabiliteitsmaten worden met name de articulatorische en prosodische aspecten van spraakproductie onderzocht. Recente studies lieten zien dat het meten van spraakvariabiliteit een belangrijke bijdrage kan leveren om spraakaansturing in dysartrie te bestuderen, en als ondersteuning kan dienen bij de identificatie, beoordeling, en behandeling ervan (Anderson et al., 2008; Cummins et al., 2014; van Brenk & Lowit, 2012).

Voor zowel de besproken methodes met betrekking tot het onderzoeken van verstaanbaarheid, spreesnelheid en maximale prestatietaken, als de methodes om spraakvariabiliteit te onderzoeken geldt dat deze niet alleen toepasbaar bij dysartrie, maar ook bij andere spraakstoornissen. Variabiliteit van onderlipbewegingen en spraakintensiteit is gebruikt om de rol van spraakaansturing in de spraakontwikkeling van kinderen te onderzoeken (Schotz, Frid, & Lofqvist, 2013). Daarnaast is verbale apraxie bij kinderen en volwassenen een veelbelovend onderzoeksgebied. Dyspraxie wordt gekarakteriseerd bij het onvermogen om spraakmotorprogramma's te vertalen naar motoractiviteit, en gekenmerkt door een hoge variabiliteit van spraak gedurende stimulusherhalingen, en een laag doelwoordvariabiliteit en -accuratesse. Het meten van spraakmotorvariabiliteit in verbale apraxie is in de afgelopen jaren inmiddels bij een aantal studies uitgevoerd (Haley, Jacks, & Cunningham, 2013; Marquardt, Jacks, & Davis, 2004; Terband, Maassen, van Lieshout, & Nijland, 2011; van Lieshout et al., 2007). Hoewel het onderzoeken van variabiliteit een bruikbaar instrument kan zijn bij de beoordeling van neurogene communicatiestoornissen, is enig voorbehoud geboden. De huidige spraak-naar-resultaat opstelling is nog niet voldoende geautomatiseerd om als een makkelijk toepasbaar analyseinstrument in de dagelijkse praktijk van logopedisten te dienen. Enige verdere ontwikkelingen in signaalverwerking, softwareautomatisering en hardwareintegratie zijn essentieel om deze methode te integreren als klinisch instrument.

Dankwoord

Dit onderzoek werd mede mogelijk gemaakt door een beurs van de Scottish Funding Council. De auteur bedankt Anja Lowit voor haar bijdrage aan dit artikel, en twee reviewers voor hun commentaar op eerdere versies van het manuscript.

Referenties

- Ackermann, H., Hertrich, I., & Hehr, T. (1995). Oral diadochokinesis in neurological dysarthrias. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 47(1), 15-23.
- Ackermann, H., Hertrich, I., & Ziegler, W. (2010). Dysarthria. *The Handbook of Language and Speech Disorders* (pp. 362-390). John Wiley & Sons.
- Ackermann, H., Konczak, J., & Hertrich, I. (1997). The Temporal Control of Repetitive Articulatory Movements in Parkinson's Disease. *Brain and Language*, 56(2), 312-319.
- Anderson, A., Lowit, A., & Howell, P. (2008). Temporal and spatial variability in speakers with Parkinson's Disease and Friedreich's Ataxia. *Journal of Medical Speech - Language Pathology*, 16(4), 173-180.
- Audacity Team. (2014). Audacity: gratis, open source, cross-platform software voor het opnemen en bewerken van geluiden. Retrieved from <http://audacity.sourceforge.net/>.
- Auzou, P., Ozsancak, C., Morris, R. J., Jan, M., Eustache, F., & Hannequin, D. (2000). Voice onset time in aphasia, apraxia of speech and dysarthria: a review. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 14(2), 131-150.
- Baker, E., & McLeod, S. (2011). Evidence-based practice for children with speech sound disorders: Part 2 Application to clinical practice. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 42(2), 140-151.
- Beijer, L. J., Rietveld, A. C. M., Ruiter, M. B., & Geurts, A. C. H. (2014). Preparing an E-learning-based Speech Therapy (EST) efficacy study: Identifying suitable outcome measures to detect within-subject changes of speech intelligibility in dysarthric speakers. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 28(12), 927-950.
- Bennett, J. W., van Lieshout, P. H. H. M., & Steele, C. M. (2007). Tongue control for speech and swallowing in healthy younger and older subjects. *International Journal of Orofacial Myology*, 33, 5-18.
- Boersma, P. (2002). Praat, a system for doing phonetics by computer. *Glott International*, 5(9/10), 341-345.
- Connor, N. P., Ludlow, C. L., & Schulz, G. M. (1989). Stop consonant production in isolated and repeated syllables in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 27(6), 829.
- Cummins, F. (2009). Rhythm as entrainment: The case of synchronous speech. *Journal of Phonetics*, 37(1), 16-28.
- Cummins, F., Lowit, A., & van Brenk, F. (2014). Quantitative Assessment of Interutterance Stability: Application to Dysarthria. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 57, 81-89.

- Darley, F. L., Aronson, A. E., & Brown, J. R. (1969a). Clusters of deviant speech dimensions in the dysarthrias. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 12(3), 462.
- Darley, F. L., Aronson, A. E., & Brown, J. R. (1969b). *Differential diagnostic patterns of dysarthria*. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 12(2), 246.
- Darley, F. L., Aronson, A. E., & Brown, J. R. (1975). *Motor speech disorders*. Philadelphia: Saunders.
- De Angelis, E. C., Mourao, L. F., Ferraz, H. B., Behlau, M. S., Pontes, P. A. L., & Andrade, L. A. F. (1997). Effect of voice rehabilitation on oral communication of Parkinson's disease patients. *Acta Neurologica Scandinavica*, 96(4), 199-205.
- De Bodt, M., Guns, C., van Nuffelen, G., Stevelinck, S., Van Borsel, J., Verbeke, G., - Wuyts, F. (2006). NSVO: Nederlandstalig SpraakVerstaanbaarheidsOnderzoek. Vlaamse Vereniging voor Logopedisten (VVL).
- De Bodt, M., Huici, M., & Van De Heyning, P. (2002). Intelligibility as a Linear Combination of Dimensions in Dysarthric Speech. *Journal of Communication Disorders*, 35(3), 283-92.
- De Jong, N. H., & Wempe, T. (2009). Praat script to detect syllable nuclei and measure speech rate automatically. *Behavior Research Methods*, 41(2), 385-390.
- Dobinson, C. (2007). An investigation into the use of computers for conducting home practice of speech exercises for people with dysarthria (Unpublished PhD Thesis). Newcastle University, Newcastle upon Tyne.
- Duffy, J. R. (2000). Motor Speech Disorders: Clues to Neurologic Diagnosis. In Adler, C. H. & Ahlskog, J.E. (Eds.), *Parkinson's Disease and Movement Disorders* (pp. 3553). Humana Press.
- Duffy, J. R. (2005). *Motor Speech Disorders: Substrates, Differential Diagnosis, and Management* (2nd ed.). St. Louis: Mosby.
- Eigentler, A., Rhomberg, J., Nachbauer, W., Ritzer, I., Poewe, W., & Boesch, S. (2012). The scale for the assessment and rating of ataxia correlates with dysarthria assessment in Friedreich's ataxia. *Journal of Neurology*, 259(3), 420-426.
- Folker, J., Murdoch, B., Cahill, L., Delatycki, M., Corben, L., & Vogel, A. (2010). Dysarthria in Friedreich's Ataxia: A Perceptual Analysis. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 62(3), 97-103.
- Goberman, A. M., & Blomgren, M. (2008). Fundamental Frequency Change During Offset and Onset of Voicing in Individuals with Parkinson Disease. *Journal of Voice*, 22(2), 178-191.
- Haley, K. L., Jacks, A., & Cunningham, K. T. (2013). Error Variability and the Differentiation Between Apraxia of Speech and Aphasia With Phonemic Paraphasia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 56(3), 891-905.
- Hertrich, I., & Ackermann, H. (1993). Dysarthria in Friedreich's ataxia: Syllable intensity and fundamental frequency patterns. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 7(3), 177-190.
- Hertrich, I., & Ackermann, H. (1999). Temporal and Spectral Aspects of Coarticulation in Ataxic Dysarthria: An Acoustic Analysis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42(2), 367-381.
- Howell, P., Anderson, A., Bartrip, J., & Bailey, E. (2009). Comparison of Acoustic and Kine-

- matic Approaches to Measuring Utterance-Level Speech Variability. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 52(4), 1088-1096.
- Huckvale, M. (2000). Speech filing system: Tools for Speech Research. Retrieved from <http://www.phon.ucl.ac.uk/resource/sfs/>.
- Illes, J., Metter, E. J., Hanson, W. R., & Iritani, S. (1988). Language production in Parkinson's disease: Acoustic and linguistic considerations. *Brain and Language*, 33(1), 146-160.
- Kent, R. D., Kent, J. E., Duffy, J. R., Thomas, J. E., Weismer, G., & Stuntebeck, S. (2000). Ataxic Dysarthria. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 43(5), 1275-1289.
- Kent, R. D., Kent, J. E., & Rosenbek, J. C. (1987). Maximum Performance Tests of Speech Production. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 52(4), 367-387.
- Kleinow, J., Smith, A., & Ramig, L. O. (2001). Speech Motor Stability in IPD. Effects of Rate and Loudness Manipulations. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 44(5), 1041-1051.
- Knuijt, S., & de Swart, B. J. M. (2007). Handleiding Radboud Dysartrieonderzoek. Nijmegen: UMC St Radboud. Retrieved from <http://www.umcn.nl/logopedie>.
- Knuijt, S., Kalf, J. G., Gerven, M. van, Deckers-Kocken, J. M., Kromhout, L., Goossens, H. B., & Swart, B. J. M. (2014). Nederlandstalig dysartrieonderzoek - volwassenen: NDO-V. Bohn Stafleu van Loghum.
- Lansford, K. L., & Liss, J. M. (2014). Vowel acoustics in dysarthria: Speech disorder diagnosis and classification. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 57(1), 57-67.
- Lennes, M. (2011). SpeCT - The Speech Corpus Toolkit for Praat. Retrieved from <http://www.helsinki.fi/~lennes/praat-scripts/>.
- Lowit, A., Dobinson, C., Timmins, C., Howell, P., & Kröger, B. (2010). The effectiveness of traditional methods and altered auditory feedback in improving speech rate and intelligibility in speakers with Parkinson's disease. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 12(5), 426-436.
- Lucero, J. C. (2005). Comparison of Measures of Variability of Speech Movement Trajectories Using Synthetic Records. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 48(2), 336-344.
- Lucero, J. C., Munhall, K. G., Gracco, V. L., & Ramsay, J. O. (1997). On the Registration of Time and the Patterning of Speech Movements. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 40(5), 1111-1117.
- Marquardt, T., Jacks, A., & Davis, B. (2004). Token-to-token variability in developmental apraxia of speech: three longitudinal case studies. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 18(2), 127-144.
- Martens, H., Van Nuffelen, G., Van den Putte, L., Wuyts, F., & De Bodt, M. (2010). Meten van spraakverstaanbaarheid op zinsniveau bij volwassenen met een spraakstoornis: introductie van het Nederlandstalig spraakverstaanbaarheidsonderzoek-zinsniveau (NSVO-Z). *Logopedie*, 2, 21-26.
- McAuliffe, M. J., Ward, E. C., & Murdoch, B. E. (2006). Speech production in Parkinson's disease: I. An electropalatographic investigation of tongue-palate contact patterns. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 20(1), 1-18.
- McHenry, M. A. (2003). The Effect of Pacing Strategies on the Variability of Speech Mo-

- vement Sequences in Dysarthria. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 46(3), 702-710.
- McHenry, M. A., & Parle, A. M. (2006). Construction of a Set of Unpredictable Sentences for Intelligibility Testing. *Journal of Medical Speech - Language Pathology*, 14(4), 269.
- Morsomme, D., Jamart, J., Boucquey, D., & Remade, M. (1997). Presbyphonia: voice differences between the sexes in the elderly. Comparison by Maximum Phonation Time, Phonation Quotient and Spectral Analysis. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 22(1), 9-14.
- Nishio, M., & Niimi, S. (2001). Speaking rate and its components in dysarthric speakers. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 15(4), 309-317.
- Nishio, M., & Niimi, S. (2006). Comparison of Speaking Rate, Articulation Rate and Alternating Motion Rate in Dysarthric Speakers. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 58(2), 114-131.
- Padovani, M., Gielow, I., & Behlau, M. (2009). Phonarticulatory diadochokinesis in young and elderly individuals. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 67(1), 58-61.
- Paemeleire, F., Desmet, L., Savonet, A., & Van Beneden, G. (2011). Dysmix. Werkboek dysartrie bij volwassenen deel 1. Destelbergen: Sig vzw.
- Patel, R., & Campellone, P. (2009). Acoustic and Perceptual Cues to Contrastive Stress in Dysarthria. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 52(1), 206-222.
- Preminger, J. E., & Tasell, D. J. V. (1995). Quantifying the Relation Between Speech Quality and Speech Intelligibility. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38(3), 714-725.
- Ramig, L. O., Sapir, S., Fox, C., & Countryman, S. (2001). Changes in vocal loudness following intensive voice treatment (LSVT®) in individuals with Parkinson's disease: A comparison with untreated patients and normal age-matched controls. *Movement Disorders*, 16(1), 79-83.
- Ramsay, J. O., Munhall, K. G., Gracco, V. L., & Ostry, D. J. (1996). Functional data analyses of lip motion. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 99(6), 3718-3727.
- Ramsay, J. O., & Silverman, B. W. (2006). *Functional Data Analysis* (2nd ed.). New York: Springer.
- Roddam, H., & Skeat, J. (2010). *Embedding Evidence-Based Practice in Speech and Language Therapy: International Examples*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Rosen, K. M., Kent, R. D., Delaney, A. L., & Duffy, J. R. (2006). Parametric Quantitative Acoustic Analysis of Conversation Produced by Speakers With Dysarthria and Healthy Speakers. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 49(2), 395-411.
- Rosen, K. M., Kent, R. D., & Duffy, J. R. (2003). Lognormal distribution of pause length in ataxic dysarthria. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 17(6), 469-486.
- Schotz, S., Frid, J., & Lofqvist, A. (2013). Development of speech motor control: Lip movement variability. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(6), 4210-4217.
- Sjölander, K., & Beskow, J. (2000). Wavesurfer: an open source speech tool. *Interspeech*, 464-467.
- Smith, A. (1992). The control of orofacial movements in speech. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 3(3), 233-267.
- Smith, A., Goffman, L., Zelaznik, H. N., Ying, G., & McGillem, C. (1995). Spatiotemporal sta-

- bility and patterning of speech movement sequences. *Experimental Brain Research*, 104(3), 493-501.
- Smith, A., Johnson, M., McGillem, C., & Goffman, L. (2000). On the assessment of stability and patterning of speech movements. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 43(1), 277-86.
- Stephens, D., & Upton, D. (2012). Speech and language therapists' understanding and adoption of evidence-based practice. *International Journal of Therapy and Rehabilitation*, 19(6), 328-334.
- Terband, H., Maassen, B., van Lieshout, P., & Nijland, L. (2011). Stability and composition of functional synergies for speech movements in children with developmental speech disorders. *Journal of Communication Disorders*, 44(1), 59-74.
- Thibeault, M., Menard, L., Baum, S. R., Richard, G., & McFarland, D. H. (n.d.). Articulatory and acoustic adaptation to palatal perturbation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129, 2112-2120.
- Tjaden, K. (2000). A Preliminary Study of Factors Influencing Perception of Articulatory Rate in Parkinson's Disease. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 43(4), 997-1010.
- Tjaden, K., & Watling, E. (2003). Characteristics of Diadochokinesis in Multiple Sclerosis and Parkinson's Disease. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 55(5), 241-259.
- Van Brenk, F., & Lowit, A. (2012). The relationship between acoustic indices of variability of speech motor control in dysarthria and other measures of speech performance. *Journal of Medical Speech - Language Pathology*, 20(4), 24-29.
- Van Brenk, F., Terband, H., van Lieshout, P., Lowit, A., & Maassen, B. (2013). Rate-Related Kinematic Changes in Younger and Older Adults. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 65(5), 69-77.
- Van Lieshout, P. H. H. M., & Moussa, W. (2000). The assessment of speech motor behavior using electromagnetic articulography. *The Phonetician*, 1, 9-22.
- Van Lieshout, P. H. H. M., Bose, A., Square, P. A., & Steele, C. M. (2007). Speech motor control in fluent and dysfluent speech production of an individual with apraxia of speech and Broca's aphasia. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 21(3), 159-88.
- Van Lieshout, P. H. H. M., Ben-David, B., Lipski, M., & Namasivayam, A. (2014). The impact of threat and cognitive stress on speech motor control in people who stutter. *Journal of Fluency Disorders*, 40, 93-109.
- Wang, Y., Kent, R. D., Kent, J. F., Duffy, J. R., & Thomas, J. E. (2009). Acoustic analysis of voice in dysarthria following stroke. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 23(5), 335-347.
- Weenink, D. (2002). Spraaksignaalanalyse per computer. Retrieved from http://www.fon.hum.uva.nl/david/ba_spc/oud/spc_nederlands.pdf.
- Yorkston, K. M., Strand, E. A., & Kennedy, M. R. T. (1996). Comprehensibility of Dysarthric Speech: Implications for Assessment and Treatment Planning. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 5(1), 55-66.
- Zyski, B. J., & Weisiger, B. E. (1987). Identification of dysarthria types based on perceptual analysis. *Journal of Communication Disorders*, 20(5), 367-378.