

# Optimalisering van spraaktherapie: De toepassing van trainingsprincipes voor het leren van motorische vaardigheden

Edwin Maas

*University of Arizona, Tucson AZ, USA*

## Samenvatting

De behandeling van neurologische en ontwikkelingspraakstoornissen kan veel tijd en moeite kosten, en tijd is vaak beperkt. Het is derhalve belangrijk om manieren te vinden om maximaal gebruik te maken van deze beperkte middelen. Het doel van dit artikel is een aantal trainingsprincipes die nuttig zijn bevonden voor het bevorderen van motorische vaardigheden te bespreken met betrekking tot de mogelijke toepassing in spraaktherapie. Gebaseerd op het feit dat spraak een complexe motorische vaardigheid is die geleerd moet worden, is het een redelijke aanname dat dergelijke trainingsprincipes een zelfde positieve invloed kunnen hebben op het leren van spraak. Na een korte inleiding worden een aantal belangrijke factoren geïntroduceerd en besproken met betrekking tot de huidige – beperkte – literatuur waarin deze factoren zijn onderzocht voor het leren van spraak, zowel bij mensen met als zonder spraakstoornissen. In sommige gevallen komen de bevindingen voor spraak overeen met de bevindingen voor andere motorische vaardigheden; dit geldt echter niet in alle gevallen. De voorlopige conclusie op basis van deze beperkte literatuur is derhalve dat we er niet zonder meer vanuit kunnen gaan dat trainingsprincipes afgeleid van andere motorische taken dezelfde invloed hebben op het leren van spraak. Kortom, er is meer direct spraak-gericht onderzoek nodig naar de optimale factoren om spraakstoornissen te behandelen. Deze trainingsprincipes geven echter wel een duidelijke richting aan voor dergelijk systematisch onderzoek naar de optimalisering van behandeling voor spraakstoornissen.

## Summary

Treatment for neurological and developmental speech disorders can require considerable resources, and such resources are often limited. It is therefore important to find ways to maximize the use of these limited resources. The purpose of this article is to review a number of learning principles that have been found to facilitate the learning of motor skills, and discuss their potential relevance to speech motor learning in general and treatment for speech disorders in particular. Given that speech is a complex motor

skill that requires learning, it is reasonable to assume that such motor learning principles could also positively influence learning of speech motor skills. After a brief introduction we discuss several important practice and feedback conditions in relation to the current – limited – literature on application of these factors to speech motor learning in people with and without speech disorders. In some cases, findings from speech motor learning are consistent with those in the nonspeech motor learning literature; however, this is not true in all cases. The tentative conclusion based on this literature is therefore that we cannot automatically assume that motor learning principles have the same effects on speech motor learning. In short, more direct research focused on speech motor learning is needed to determine optimal practice conditions in treatment for speech disorders. However, these principles derived from the nonspeech motor learning literature do provide a clear direction, and sets of hypotheses to guide such systematic research into optimizing treatment for speech disorders.

## Introductie

In de behandeling van spraakstoornissen, net als elders in de gezondheidszorg, zijn tijd en geld beperkt. De uitdaging voor logopedisten is om zo optimaal mogelijk gebruik te maken van deze beperkte middelen. Daarbij hoort het maximaliseren van de verbetering in spraakproductie, gemeten aan de hand van retentie en generalisatie van het spraakvermogen. Dit is niet eenvoudig, zeker niet voor bepaalde spraakstoornissen zoals verbale apraxie (in kinderen en volwassenen), waarvoor vaak veel therapie nodig is (bijv. Campbell, 1999; Shriberg, Aram, & Kwiatkowski, 1997). Onderzoek naar het leren van andere motorische vaardigheden heeft aangetoond dat bepaalde omstandigheden (bijv. meer oefengelegenheden) het leren (meer) bevordert ten opzichte van andere omstandigheden (bijv. minder oefengelegenheden). Deze bevindingen worden soms *principles of motor learning* (hier: trainingsprincipes) genoemd; de term “principes” wordt gebruikt om aan te geven dat deze effecten erg voorspelbaar zijn en vrijwel altijd optreden (al zal duidelijk worden dat dit niet altijd gewaarborgd is). Aangezien spraak ook een motorische vaardigheid is, kan onderzoek naar andere motorische vaardigheden relevant zijn voor het begrip van factoren die het leren van spraak bevorderen. Dit artikel introduceert een aantal trainingsprincipes afgeleid van onderzoek naar andere motorische vaardigheden, en bespreekt de beschikbare studies waarin deze principes zijn onderzocht in het spraakdomein.

## Motorische vaardigheden

Met ‘motorische vaardigheden’ (*motor skills*) bedoelen we bewegingen die geleerd moeten worden op basis van oefening en ervaring, en niet bewegingen die genetisch bepaald zijn zonder oefening zoals reflexen en ademhalingsbewegingen (Schmidt & Lee, 2005). Voorbeelden van motorische vaardigheden zijn de bewegingen betrokken bij het spelen van tennis en andere sporten, het bespelen van muziekinstrumenten, typen, breien, dansen, SMS-en, jongleren, schaatsen, autorijden, afwassen, pannenkoeken omdraaien in de pan zonder

spatel te gebruiken, en vele andere bewegingen. Spraak is ook een motorische vaardigheid die ervaring en oefening vereist. Hoewel spraakverwerving normaliter relatief automatisch en grotendeels onbewust plaatsvindt voor een moedertaal, is ook spraak een vaardigheid die geleerd wordt aan de hand van ervaring, met verbetering en verfijning tot in de tienerjaren (Smith & Zelaznik, 2004). Het uitvoeren van dergelijke bewegingen vereist dat het motor systeem informatie heeft over de relaties tussen een aantal bewegingsaspecten, met name de startpositie van de relevante anatomische structuren (bijv. tongpositie), het doel van de beweging (bijv. tong tegen de alveolairrand voor een /d/ klank), de motorische instructies die de tong in beweging zetten (bijv. contractie van de superieure longitudinalis spier), en het sensorische resultaat van de beweging (bijv. auditieve waarneming van de /d/ klank, gevoel van contact tussen tong en gehemelte). Wanneer het motor systeem over deze informatie beschikt kan het voorspellen wat het gevolg zal zijn van een bepaalde motorische instructie voor een gegeven articulator in een gegeven startpositie. Tevens kan het motor systeem deze relatie omdraaien door te bepalen welke motorische instructies nodig zijn om een bepaalde klank te produceren vanuit een gegeven startpositie. De aanname dat motorische vaardigheden gebaseerd zijn op het vermogen van het motor systeem om dergelijke relaties te manipuleren is een fundamentele veronderstelling in verschillende theorieën, al verschillen de specifieke vormen en terminologie (bijv. *recall schemas en recognition schemas* in Schema Theorie, Schmidt, 1975; *inverse internal models* en *forward internal models* in het DIVA model, Guenther, Ghosh, & Tourville, 2006). Het leren van motorische vaardigheden is derhalve een kwestie van ervaring opdoen met relevante bewegingen zodat het motor systeem dergelijke relaties kan ontdekken en vastleggen.

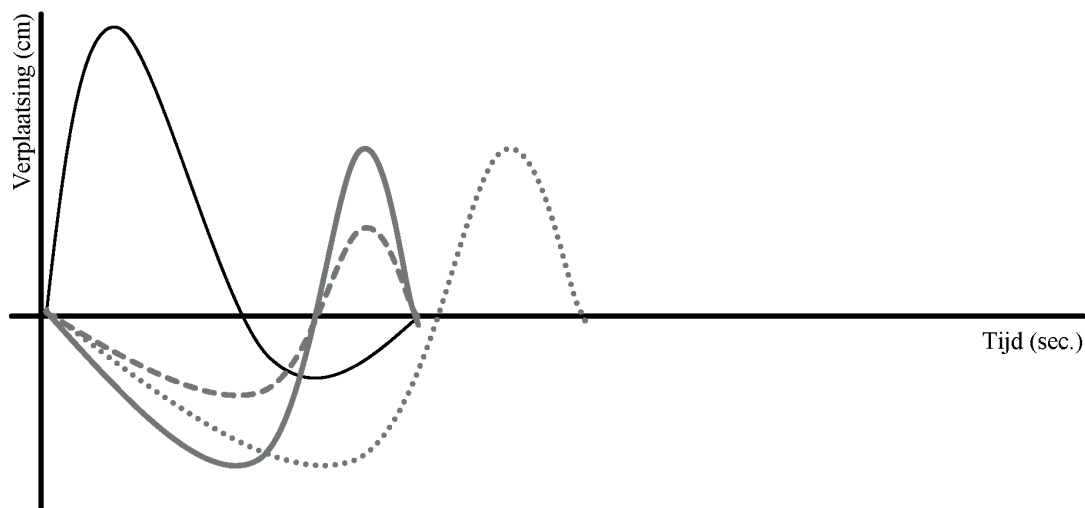
Er zijn een aantal factoren die het leren van motorische vaardigheden beïnvloeden. Een intuïtief voorbeeld van een dergelijke factor is dat meer oefening of ervaring tot betere prestaties leidt dan minder oefening of ervaring (volgens het principe ‘oefening maakt meester’, oftewel meer is beter). Voordat we op een aantal van deze factoren ingaan is het echter belangrijk om een aantal definities en voorbehouden te bespreken.

Ten eerste is het noodzakelijk om een onderscheid te maken tussen prestatie tijdens het oefenen en daadwerkelijk leren. Daadwerkelijk leren is het bewerkstelligen, door oefening of ervaring, van relatief permanente veranderingen in het vermogen om vaardige bewegingen te maken (Schmidt & Lee, 2005). Dit betekent dat daadwerkelijk leren gemeten moet worden aan de hand van prestatie op een later tijdstip, nadat het oefenen beëindigd is (retentie), en/of prestatie op ongeoefende bewegingen die verwant zijn aan de geoefende bewegingen (generalisatie). Prestatie tijdens het oefenen wordt namelijk ten dele beïnvloed door factoren die het daadwerkelijk leren kunnen maskeren, zoals vermoeidheid en motivatieveranderingen. Dit onderscheid is van cruciaal belang omdat de factoren die de prestatie tijdens het oefenen positief beïnvloeden vaak juist tegenovergestelde effecten kunnen hebben op het leren (retentie en generalisatie). Dat wil zeggen, als men op de prestatie tijdens het oefenen zou afgaan om te bepalen of de therapie werkt of optimaal is, kan men dus juist tot de verkeerde conclusie komen. Dit onderstreept de noodzaak om in de klinische setting regelmatig de retentie en generalisatie te meten (bijv. door in het begin van de therapieessie de patiënt kort de geoefende en ongeoefende doelpatronen onafhankelijk te laten produceren, zonder hulp of feedback).

Ten tweede is het belangrijk op te merken dat deze trainingsprincipes afgeleid zijn van onderzoek naar het uitvoeren van relatief simpele motorische taken (meestal laboratorium-taken) door volwassenen zonder motorische stoornissen. Aangezien spraak een erg complexe motorische vaardigheid is, en mogelijk zelfs onder controle staat van een apart en uniek motor systeem (Ziegler, 2003), is het een open vraag of deze trainingsprincipes dezelfde invloed hebben op het leren van spraak in het algemeen, en in mensen met spraakstoornissen in het bijzonder. Dit betekent dat alhoewel trainingsprincipes afgeleid van andere motorische vaardigheden een nuttig raamwerk bieden met specifieke hypothesen die getest kunnen worden, deze principes ook daadwerkelijk getest moeten worden met betrekking tot spraak en specifieke spraakstoornissen. We kunnen niet zonder meer aannemen dat het leren van spraak precies werkt zoals het leren van andere motorische vaardigheden. Het doel van dit artikel is derhalve de huidige literatuur te bespreken waarin dergelijke trainingsprincipes direct onderzocht zijn met betrekking tot de spraak.

Ten derde moet onderscheid gemaakt worden tussen de abstracte structuur of het patroon van een beweging en de specifieke uitvoering ervan, omdat deze aspecten van een beweging in sommige gevallen anders reageren op bepaalde factoren. Met abstracte structuur wordt hier bedoeld het relatieve timing- en amplitudepatroon van een beweging. Beschouw als voorbeeld het omdraaien van pannenkoeken in de koekenpan zonder spatel. Dit kan gedaan worden vanuit een startpositie waarbij men de koekenpan in de hand houdt (bijv. met ellebooghoek van  $135^\circ$  en koekenpan horizontaal), met een neerwaartse beweging van de arm en hand gevolgd door een snellere korte opwaartse beweging van de arm en hand voorbij de startpositie, waardoor de pannenkoek de lucht in vliegt, waarna de arm en hand terugkeren naar de startpositie om de pannenkoek op te vangen. De structuur van de beweging is in dit geval de neerwaartse beweging gevolgd door de snelle opwaartse beweging en de terugkeer naar de startpositie. De onderlinge verhoudingen van de bewegingscomponenten (zoals de timing en amplitude van de pieken en dalen in verplaatsing, snelheid, en acceleratie), zijn min of meer constant, ongeacht of de pannenkoek hoog (dicht bij het plafond) of laag (dicht bij de pan) wordt omgedraaid. Dat wil zeggen, de specifieke uitvoering van deze beweging kan groot of klein zijn, langzaam of snel, met de linkerhand of de rechterhand, maar het onderliggende patroon is grotendeels hetzelfde. Dit idee is grafisch uitgedrukt in Figuur 1, waarin verplaatsing over tijd is weergegeven.

In de Schema Theorie (Schmidt, 1975; Schmidt & Lee, 2005), de theorie die een belangrijke rol heeft gespeeld in het stimuleren van onderzoek naar optimalisering van het leren, is dit onderscheid beschreven als een onderscheid tussen zogenoemde gegeneraliseerde motor programma's (*generalized motor programs*; GMP's) die het abstracte bewegingspatroon omvatten, en zogenoemde *parameters* die dit abstracte patroon aanpassen aan de huidige situatie met betrekking tot gewenste absolute tijdsduur (langzamer, sneller), absolute amplitude (groter, kleiner), en uitvoersysteem (linkerhand, rechterhand). Hoewel het niet geheel duidelijk is in welk opzicht, of in hoeverre, dit onderscheid tussen GMP en parameters van toepassing is op spraakbewegingen (bijv. Ballard, Maas, & Robin, 2007; Bislick, Weir, & Spencer, 2013; Maas et al., 2008), is het belangrijk om met dit onderscheid rekening te houden in een evaluatie van de literatuur naar het leren van spraak, aangezien GMP's en parameters soms tegengestelde effecten van bepaalde oefenomstandigheden vertonen.



*Figuur 1:* Visuele weergave van de verplaatsing over tijd van een beweging van de hand om een pannenkoek om te draaien zonder spatel. De dikke ononderbroken lijn geeft het patroon aan: de neerwaartse amplitude is ongeveer gelijk aan de opwaartse amplitude, en de beweging onder de neutrale positie duurt ongeveer twee keer zo lang als de beweging boven de neutrale positie. De dikke gebroken lijn geeft hetzelfde patroon weer, dat wil zeggen, de verhouding tussen neerwaartse en opwaartse beweging is hetzelfde, al is de totale amplitude ongeveer de helft van die in het originele patroon. De gestippelde lijn is ook gebaseerd op hetzelfde patroon, maar nu is de totale tijd van de beweging langer, al zijn de onderlinge verhoudingen van tijdsduur en totale amplitude hetzelfde. De dunne lijn geeft ter vergelijking een patroon dat een fundamenteel ander patroon heeft (al is de totale duur hetzelfde).

Ten slotte wordt doorgaans een onderscheid gemaakt tussen ‘voorbereidend’ oefenen (*pre-practice*) en daadwerkelijk oefenen (*practice*). Bij voorbereidend oefenen is het doel om de leerder voor te bereiden op de oefensituatie, en de motivatie te bevorderen. Dit kan worden gedaan door de taak duidelijk uit te leggen (bijv. ‘we gaan een aantal zinnen samen oefenen zodat je ze beter en duidelijker kunt uitspreken’), waarom de taak belangrijk is (bijv. ‘als je deze zinnen duidelijker kan uitspreken kunnen je familie en vrienden je beter begrijpen’), en wat het criterium is (bijv. ‘het hoeft niet snel, maar wel duidelijk’). Het is belangrijk dat de leerder begrijpt wat het doel is, en in staat is een goede, correcte spraakproductie te herkennen. Bovendien is het belangrijk dat de leerder in principe in staat is de doelklanken of uitingen te produceren, al zij het aanvankelijk wellicht met maximale hulp (bijv. auditief model van logopedist, met spiegel, langzaam). Een simpel voorbeeld is een geval waarbij de patiënt een compleet verlamde tong heeft; in dit geval heeft het weinig zin om de oefening te richten op tongklanken, en zal dit waarschijnlijk een negatief effect op de motivatie hebben. Wanneer de leerder een goed begrip van de taak heeft, een correcte respons kan herkennen, en met maximale hulp de doelresponsen in elk geval kan benaderen, kan men met het daadwerkelijke oefenen beginnen.

In de volgende paragraaf bespreken we een aantal trainingsprincipes die betrekking hebben op de activiteiten tijdens het oefenen. Daarna bespreken we trainingsprincipes die betrekking hebben op de feedback die wordt verstrekt in het leerproces. De volgende beperkingen zijn van toepassing: In dit artikel bespreken we alleen principes waarnaar ook onderzoek is gedaan in het spraak- of stemdomein, dat wil zeggen onderzoek waarin verschillende condities met elkaar zijn vergeleken (en niet onderzoek waarin condities zijn toegepast zonder directe vergelijking met een andere conditie, bijv. Ballard et al., 2007, 2010; Strand, Stoeckel, & Baas, 2006; Lasker et al., 2008).

Bovendien richten we de aandacht op spraak- of stembewegingen, en niet op zogenoemde *nonspeech oral motor exercises* (NSOME) oftewel bewegingen van de spraakorganen los van de spraak- of stemcontext (mondmotoriekoefeningen). Hoewel dit een interessant en momenteel erg controversieel onderwerp is (zie bijv. Clark, 2003; Forrest, 2002; McCauley, Strand, Lof, Schooling, & Frymark, 2009), zijn er verschillende redenen om hierop in dit artikel niet verder in te gaan. Ten eerste lopen de meningen uiteen over wat precies bedoeld wordt met NSOME. De definitie van Lof & Watson (2008: 394) stelt bijvoorbeeld dat NSOME “elke techniek is waarbij het kind geen spraakklank hoeft te produceren maar gebruikt wordt om het spraakvermogen te beïnvloeden” (vertaling EM). Volgens deze definitie is de productie van geïsoleerde spraakklanken wel spraak, maar volgens andere onderzoekers is het produceren van geïsoleerde spraakklanken fundamenteel geen spraak (Aichert & Ziegler, 2013). Ten tweede is het logisch om de aandacht te richten op bewegingen die duidelijk wel spraak zijn – de productie van spraakklanken in lettergrepen, woorden, en langere uitingen. De reden is dat volgens het specificiteitsprincipe (*specificity-of-learning principle*) generalisatie beperkt is. Generalisatie vindt vrijwel uitsluitend plaats naar bewegingen die nauw verwant zijn aan de geoefende bewegingen (bijv. Park & C.H. Shea, 2003; Rochet-Capellan, Richer, & Ostry, 2012; Verwey, 1996). Gezien de complexiteit van spraakbewegingen – zelfs voor een eenvoudige lettergreep – met betrekking tot de precieze spatiële en temporele coördinatie tussen de verschillende articulatoren, de stembanden, en het ademhalingsstelsel, is het zeer onwaarschijnlijk dat het oefenen van bewegingen zonder spraakgeluid (zonder spraakspecifieke coordinatie met ademhaling) of geïsoleerde bewegingen van een articulator (bijv. een geïsoleerde tongbeweging) enig positief effect zal hebben op de spraakproductie (Aichert & Ziegler, 2013; zie ook Clark, 2003; Forrest, 2002). Ten derde is er voornamelijk opinie en bijzonder weinig direct onderzoek naar NSOME. Forrest en Iuzzini (2008) vergeleken NSOME met traditionele spraaktherapie voor kinderen met spraakstoornissen en vonden een voordeel voor traditionele spraaktherapie. Dit onderzoek vergeleek echter spraaktherapie met NSOME zonder spraaktherapie, in plaats van de toevoeging van NSOME aan spraaktherapie (een meer typische toepassing van NSOME in de praktijk; Forrest & Iuzzini, 2008). Een meer recent gerandomiseerd trial vergeleek de toevoeging van NSOME aan spraaktherapie in de behandeling van mensen met dysartrie (Mackenzie, Muir, Allen, & Jensen, 2014), en vond geen verschillen tussen de twee groepen. Kortom, de zeer beperkte empirische basis (waar geen toegevoegde waarde van NSOME uit blijkt), in combinatie met een conceptueel argument tegen het gebruik van NSOME, vormt een contra-indicatie voor het gebruik van NSOME in spraaktherapie. NSOME worden derhalve verder niet besproken in dit artikel, waarin de aandacht wordt gericht op het leren van spraakbewegingen.

## Trainingsprincipes: activiteiten tijdens oefening

Er zijn veel factoren die het leren beïnvloeden. In dit artikel wordt slechts een aantal van deze factoren besproken, namelijk (a) hoeveelheid, (b) verdeling, (c) variabiliteit, (d) volgorde, en (e) aandachtsfocus. Zie Schmidt & Lee (2005) en Maas et al. (2008) voor verdere discussie van deze en andere trainingsprincipes. Tabel 1 bevat een overzicht van de besproken factoren.

### Hoeveelheid: Weinig of veel

De belangrijkste factor is *hoeveelheid* oefening, uitgedrukt in aantal oefenpogingen en/of oefensessies. Hoe meer oefening, hoe meer gelegenheid het motor systeem heeft om de relaties vast te stellen tussen startposities, motorische instructies, sensorische gevolgen, en het doel van de beweging. Hoe meer men het omdraaien van pannenkoeken zonder spatel oefent, hoe beter men wordt. Dit is een intuïtief principe, en wordt ook empirisch ondersteund door onderzoek (bijv. Park & C.H. Shea, 2003; Proteau et al., 1994), inclusief bij volwassenen met motorische stoornissen van de ledematen ten gevolge van een cerebrovasculair accident (CVA) (bijv. Kwakkel et al., 2004). Het is echter belangrijk om op te merken dat dit voordeel van meer oefening afhangt van andere aspecten van de oefensessie, met name het aantal verschillende bewegingen dat wordt geoefend in de sessie. Zo toonden C.H. Shea, Kohl, & Indermill (1990) bijvoorbeeld aan dat een groter aantal oefenpogingen een negatief effect kan hebben op de retentie en generalisatie wanneer slechts een enkele beweging per blok wordt geoefend, terwijl meer oefening wel een positief effect had wanneer de leerder meerdere bewegingen per blok oefende (zie ook Park & C.H. Shea, 2003, 2005; en Giuffrida, J.B. Shae & Fairbrother, 2002, voor bevindingen dat meer oefening wel tot betere retentie kan leiden maar ten koste kan gaan van generalisatie).

Met betrekking tot spraak heeft een klein aantal onderzoeken steun opgeleverd voor het idee dat meer oefening leidt tot beter leren (Allen, 2013; Edeal & Gildersleeve-Neumann, 2011; Kim, LaPointe, & Stierwalt, 2012). Een onderzoek met gezonde volwassenen naar het leren van de uitspraak van zinnen in een vreemde taal (Engelstaligen die Koreaanse zinnen leerden) liet zien dat de proefpersonen een betere uitspraak hadden na 100 pogingen dan na 25 pogingen (Kim et al., 2012), op basis van verstaanbaarheidsoordelen en natuurlijkheidsoordelen van Koreaanse moedertaalsprekers. Dit voordeel van meer oefening was echter alleen aanwezig wanneer proefpersonen feedback kregen op 20% van de oefenpogingen, maar niet wanneer de proefpersonen feedback kregen op alle pogingen (100%). In een onderzoek met 54 kinderen met spraakstoornissen vond Allen (2013) dat drie sessies per week over acht weken (24 sessies) tot grotere vooruitgang leidde dan slechts één sessie over acht weken (8 sessies), gemeten aan de hand van het percentage medeklinkers correct. Allen (2013) vond ook dat deze laatste groep (1 keer per week, 8 sessies totaal) niet verschilde van een controlegroep kinderen die een interventie kregen die niet gericht was op spraak maar op lezen (ook 1 keer per week, 8 sessies). Het derde onderzoek naar oefenhoeveelheid betrof twee kinderen met verbale apraxie, die verschillende doelklanken ofwel 30-40 keer per sessie ofwel 100-150 keer per sessie oefenden (Edeal & Gildersleeve-Neumann, 2011).

Beide kinderen vertoonden betere retentie en generalisatie voor klanken die 100-150 keer per sessie waren geoefend.

*Tabel 1:* Overzicht van onderzoek naar trainingsprincipes voor oefenactiviteiten gericht op spraak of stem. Cursief gedrukte verwijzingen betreffen onderzoek bij kinderen met spraakstoornissen.

Factor	Beschrijving / voorbeelden	Opmerkingen	Verwijzingen
Hoeveelheid: Veel of weinig.	Veel: veel oefenpogingen of sessies. Weinig: weinig oefenpogingen of sessies.	Meer oefening leidt tot beter leren. Ook voor spraak, voor kinderen en volwassenen.	<i>Allen (2013); Edeal &amp; Gildersleeve-Neumann (2011); Kim et al. (2012)</i>
Verdeling: Intensief of gespreid.	Intensief: weinig tijd tussen pogingen of sessies. Gespreid: meer tijd tussen pogingen of sessies.	Gespreide oefening leidt tot beter leren. Spraak: Geen verschil voor volwassenen en kinderen met gestoorde spraakmotoriek; tegengesteld effect voor kinderen met niet-motorische spraakstoornissen.	<i>Allen (2013); Spielman et al. (2007); Thomas et al. (2014); Wambaugh et al. (2013)</i>
Variabiliteit: Constant of variabel.	Constant: oefenen van dezelfde doelbeweging in dezelfde context (bijv. /f/ klank aan het begin van een woord). Variabel: oefenen van verschillende bewegingen, in verschillende contexten (bijv. /f/, /z/, /b/ aan begin en eind van woorden).	Constante gevolgd door variabele oefening leidt tot beter leren (voor optimaal leren van GMP's en parameters). Spraak: Variabele oefening beter. Stem: geen verschil. Geen onderzoek naar kinderen.	<i>Adams &amp; Page (2000); Wong et al. (2011)</i>
Volgorde: Geblokt of gemengd.	Geblokt: elke doelbeweging wordt in een blok meerdere keren geoefend voordat een andere beweging wordt geoefend. Gemengd: elk oefenblok bevat meerdere doelbewegingen, in onvoorspelbare volgorde.	Gemengde volgorde leidt tot beter leren (behalve mogelijk voor GMP leren). Spraak: Gemengd beter voor volwassenen zonder spraakstoornissen; niet duidelijk voor alle volwassenen en kinderen met spraakstoornissen.	<i>Adams &amp; Page (2000); Knock et al. (2000); Maas &amp; Farinella (2012); Scheiner et al. (2014); Wambaugh et al. (2013, 2014); Wong et al. (2013)</i>
Aandachtsfocus: Intern of extern.	Intern: focus op bewegingen van het lichaam (bijv. articulatoire plaatsing). Extern: focus op de effecten van de beweging (bijv. akoestisch signaal).	Externe focus leidt tot beter leren. Ook voor spraak, voor volwassenen. Geen onderzoek naar kinderen.	<i>Lisman &amp; Sadagopan (2013)</i>



Kortom, er is empirische steun voor het intuïtieve idee dat meer oefening leidt tot beter leren van spraakbewegingen, voor retentie en generalisatie, zowel in volwassenen zonder spraakstoornissen en in kinderen met spraakstoornissen.

### **Verdeling: Intensief of gespreid**

Een gegeven hoeveelheid oefening (aantal pogingen, sessies) kan op verschillende manieren over de tijd worden verdeeld. Er wordt vaak een onderscheid gemaakt tussen intensieve (*massed*) en gespreide (*distributed*) oefening. Bij intensieve oefening worden de pogingen of sessies over een relatief kort tijdsbestek geoefend, terwijl er bij gespreide oefening meer tijd zit tussen de pogingen of sessies. Men kan bijvoorbeeld 100 pogingen om pannenkoeken om te draaien zonder spatel verdelen over tien dagen (10 pogingen per dag), of over twee dagen (50 pogingen per dag). De literatuur geeft aan dat gespreide oefening beter is voor het leren van motorische vaardigheden dan intensieve oefening, zowel wanneer intensieve en gespreide oefening plaatsvindt over een aantal uren (Shadmehr & Brashers-Krug, 1997), als wanneer ze plaatsvindt over een aantal dagen (C.H. Shea et al., 2000) of maanden (Baddeley & Longman, 1978; zie Lee & Genovese, 1988, voor een review en meta-analyse; en Newell, Antoniou, & Carlton, 1988, voor een nuancering).

Ondanks het duidelijke voordeel van gespreide oefening voor het leren van motorische vaardigheden zijn de resultaten van het kleine aantal onderzoeken naar dit beginsel in spraak minder duidelijk. De eerste studie naar verdeling van oefening in het spraakdomein betrof mensen met hypokinetische dysartrie ten gevolge van de ziekte van Parkinson (Spielman et al., 2007). Dit onderzoek vergeleek de standaardverdeling van de Lee Silverman Voice Treatment, namelijk 16 sessies verdeeld over 4 weken (4 sessies per week) met een meer gespreide verdeling, namelijk 16 sessies over 8 weken (2 sessies per week). Spielman et al. (2007) vonden geen verschil tussen deze verdelingen met betrekking tot stemvolume of zelfbeoordeling van functioneel stemgebruik (de gespreide groep bestond uit 12 patiënten, en werd vergeleken met de data van 14 patiënten uit een eerder onderzoek). Een ander onderzoek, door Wambaugh en collega's (2013), vergeleek de verdeling van 16 uur therapie voor vier patiënten met verbale apraxie over 5,5 weken (3 sessies van een uur per week) met een verdeling over 1 week (4 sessies van een uur per dag over 4 dagen). Ook Wambaugh et al. (2013) vonden geen verschil tussen de intensieve en gespreide verdeling, gemeten aan de hand van perceptuele beoordeling van correcte productie van doelklanken. Een derde onderzoek vond echter wel een verschil tussen intensieve en gespreide verdeling (Allen, 2013). Allen (2013) vergeleek de uitkomsten voor percentage medeklinkers correct voor twee groepen kinderen met spraakstoornissen die 24 sessies van een fonologische therapie ondergingen. De intensieve groep (N=19) voltooide alle 24 sessies in 8 weken (3 keer per week), terwijl de gespreide groep (N=19) de 24 sessies voltooide over een periode van 24 weken (1 keer per week). In tegenstelling tot de literatuur over het leren van motorische vaardigheden bleek juist dat de intensieve groep (3 keer per week) grotere vooruitgang boekte dan de gespreide groep. Tenslotte vergeleken Thomas, McCabe, & Ballard (2014) de resultaten van een gespreide verdeling (2 keer per week over 6 weken) van spraaktherapie voor vier kinderen met verbale apraxie met een intensievere verdeling (4 keer per week over 3 weken) van

deze therapie uit eerder onderzoek. Beide verdelingen leidden tot vergelijkbare verbetering (perceptueel beoordeeld) gedurende de therapieperiode, en deze verbeteringen waren behouden vier maanden na afloop van de therapie. Kinderen in de intensievere verdeling (uit eerder onderzoek) lieten echter een doorgaande verbetering zien vier maanden na afloop, terwijl dit niet het geval was voor de meer gespreide verdeling (deze kinderen behielden hun vooruitgang maar vertoonden geen verdere verbetering).

Kortom, hoewel het leren van andere motorische vaardigheden wordt bevorderd door gespreide oefening, is het effect van verdeling op het leren van spraak momenteel onduidelijk. De twee onderzoeken naar volwassenen met spraakstoornissen (Spielman et al., 2007; Wambaugh et al., 2013) rapporteerden negatieve resultaten (geen verschil tussen condities), terwijl een onderzoek naar kinderen met spraakstoornissen een tegengesteld effect vond (al was dit gericht op fonologische stoornissen, en niet noodzakelijk de spraakmotoriek) (Allen, 2013). Een ander onderzoek vond weinig verschil voor kinderen met verbale apraxie, al leek de meer intensieve verdeling mogelijk effectiever omdat daarbij aanhoudende verbetering werd vastgesteld (Thomas et al., 2014). Er is duidelijk meer onderzoek nodig om de rol van deze factor op het leren van spraak beter te begrijpen.

### **Variabiliteit: Constant of variabel**

Variabiliteit heeft te maken met het introduceren van variaties op een beweging. Er wordt doorgaans een onderscheid gemaakt tussen constante oefening en variabele oefening. Met betrekking tot ons pannenkoekvoorbeeld kan men constante oefening bijvoorbeeld zien als het oefenen met een enkele pan van bepaald formaat, met het doel de pannenkoek op een bepaalde hoogte in de lucht te laten omdraaien (bijv. 300 pogingen met een grote pan, tot 50 cm hoogte). Variabele oefening kan bijvoorbeeld toegepast worden door met drie verschillende panformaten te oefenen (100 pogingen per pan, 50 cm hoogte), of door de pannenkoek hoog (bij het plafond) of laag (dichtbij de pan) te laten omdraaien (150 pogingen per hoogte).

Onderzoek naar het leren van motorische vaardigheden toont duidelijk aan dat constante oefening tot betere prestatie leidt dan variabele oefening *tijdens het oefenen*, maar dat variabele oefening beter is voor het *leren* (*retentie* en *generalisatie*) (bijv. Lee, Magill, & Weeks, 1985; Newell & Shapiro, 1976; C.H. Shea & Kohl, 1990; Wulf & Schmidt, 1997). Dit is opvallend, omdat in dergelijk onderzoek de variabele groep vaak veel minder oefenpogingen heeft gehad voor de retentietaak (bijv. grote pan, 50 cm hoogte: 100 pogingen) dan de constante groep (300 pogingen), en desondanks beter presteert. De verklaring hiervoor vanuit de Schema Theorie is dat de variabiliteit tijdens het oefenen meer gelegenheid biedt om de relaties tussen startposities, motorische instructies, en uitkomsten vast te stellen. Het motor systeem kan derhalve een meer precieze en stabiele schatting maken van deze relaties, en het zijn deze relaties die het motor systeem in staat stellen de juiste beweging en parameterisering te bepalen voor een toekomstige handeling (zoals op een retentietest). Hoewel dit voordeel van variabele oefening steun vindt in veel onderzoeken zijn er ook beperkingen aan dit voordeel, met name het feit dat dit voordeel geldt voor het leren van parameters maar niet voor GMP's, waarvoor constante oefening juist beter lijkt te zijn (bijv.

Giuffrida et al., 2002; Lai & C.H. Shea, 1998; Sekiya et al., 1994; C.H. Shea et al., 2001). Een onderzoek van Lai et al. (2000) toonde verder aan dat het leren van beide aspecten (GMP en parameterisering) optimaal is wanneer constante oefening gevolgd wordt door variabele oefening, vergeleken met de omgekeerde volgorde of met uitsluitend constante of uitsluitend variabele oefening. Het idee hierachter is dat de aanvankelijke constante oefening de leerder beter in staat stelt het onderliggende bewegingspatroon (GMP) te ontdekken omdat de beweging niet verandert, terwijl de latere variabele oefening de leerder in staat stelt het ontdekte patroon te variëren.

Met betrekking tot spraak en stem zijn er slechts twee gepubliceerde onderzoeken die oefenvariabiliteit hebben onderzocht (Adams & Page, 2000; Wong, Ma, & Yiu, 2011). Adams & Page (2000) gebruikten een taak gericht op het aanpassen van spraaktempo, waarbij gezonde volwassenen een zin oefenden met een duur van 2,4 of 3,6 seconden (twee of drie keer zo langzaam als normaal). De constante groep oefende 50 pogingen met 2,4 seconden; de variabele groep oefende 25 pogingen met 2,4 seconden en 25 pogingen met 3,6 seconden. De retentietaak twee dagen later (20 pogingen met 2,4 seconden) liet zien dat de variabele groep beter presteerde dan de constante groep (kleinere afwijking van 2,4 seconden). Dit resultaat komt overeen met de literatuur, en suggereert dat het manipuleren van zinsduur of tempo wellicht gezien kan worden als het variëren van een parameter. Het tweede onderzoek betrof volwassenen met hyperfunctionele stemproblemen (dysfonie), voor wie de te leren taak bestond uit het succesvol gebruik van een ontspannen stemgeving (Wong et al., 2011). De constante groep oefende de ontspannen stemgevingstechniek in de context van uitingen van een constante lengte (gemeten in Chinese karakters), terwijl de variabele oefening bestond uit het oefenen van de techniek in uitingen variërend in lengte. Hoewel alle proefpersonen een vermindering toonden van laryngale spierspanning (gemeten met EMG) was er geen verschil tussen de constante en variabele oefening. Dit negatieve resultaat heeft mogelijk te maken met het feit dat hoewel de uitingenslengte constant werd gehouden in de constante conditie, de specifieke uitingen wel varieerden. Ook is het mogelijk dat de bewegingen in deze stemgevingstechniek van andere aard zijn dan andere bewegingen.

Hoewel variabele oefening in veel onderzoek beter resultaat levert dan constante oefening is de conclusie dat variabele oefening altijd beter is niet zonder meer houdbaar aangezien constante oefening beter lijkt te zijn voor het leren van GMP's. Een oefenschema waarbij aanvankelijke constante oefening wordt gevolgd door variabele oefening lijkt optimaal te zijn; dit is tevens wat Rosenbek et al. (1973) aanraadden voor volwassenen met verbale apraxie. Het onderzoek naar oefenvariabiliteit in spraak en stem is gemengd en erg beperkt; één onderzoek naar spraak stemde overeen met de literatuur maar onderzocht alleen de aanpassing van absolute tijdsduur (waarschijnlijk een parameter) (Adams & Page, 2000), terwijl het andere onderzoek, naar stemgeving, geen verschil vond tussen constante of variabele oefening (Wong et al., 2011). Er is duidelijk meer onderzoek nodig om te bepalen hoe variabiliteit het beste kan worden toegepast (bijv. klanken in verschillende fonetische contexten; Ballard et al., 2007; Wambaugh & Mauszycki, 2010), en of, en voor wie, variabiliteit belangrijk is voor het leren van spraak.

## Volgorde: Geblokt of gemengd

Wanneer meerdere bewegingen ten doel worden gesteld (dat wil zeggen, variabele oefening) is een volgende vraag *in welke volgorde* deze verschillende bewegingen geoefend moeten worden. Er zijn veel mogelijkheden, maar de meest onderzochte volgorden zijn geblokte (*blocked*) en gemengde (*random*) oefening. In geblokte oefening worden dezelfde doelbewegingen samen gegroepeerd, bijv. een blok van 100 pogingen met de kleine pan, gevolgd door een blok van 100 pogingen met de grote pan, etc. In dit geval is het doel van de volgende poging dus grotendeels voorspelbaar (behalve tussen blokken). In gemengde oefening worden alle doelbewegingen in elk blok geoefend, in willekeurige volgorde, bijv. grote pan, kleine pan, middelgrote pan, kleine pan, middelgrote pan, grote pan, grote pan, etc. (Een seriële volgorde wordt soms ook gebruikt, waarbij elke poging anders is dan de vorige, maar in een voorspelbare volgorde, bijv. kleine pan, grote pan, middelgrote pan, kleine pan, grote pan, middelgrote pan, etc.; Giuffrida et al., 2002; Sekiya, Magill, & Anderson, 1996; Wrisberg & Liu, 1991.)

Veel onderzoek naar de effecten van oefenvolgorde op het leren van motorische vaardigheden heeft aangetoond dat een geblokte volgorde leidt tot betere prestatie tijdens het oefenen dan een gemengde of seriële volgorde, maar wat betreft daadwerkelijk leren (retentie en generalisatie) is er een duidelijk voordeel voor een gemengde of seriële volgorde (bijv. Lee & Magill, 1983; Osu et al., 2004; C.H. Shea et al., 1990; J.B. Shea & Morgan, 1979; Wright et al., 2004; Wrisberg & Liu, 1991). Net als voor oefenvariabiliteit geldt dit voordeel met name voor het leren van parameters maar niet zozeer voor het leren van GMP's, waarvoor geblokte oefening juist beter lijkt te zijn (bijv. Sekiya et al., 1994, 1996; C.H. Shea et al., 2001; maar zie Giuffrida et al., 2002, en Wright et al., 2004, voor een voordeel van gemengde oefening voor het leren van GMP's in sommige omstandigheden). Met betrekking tot volwassenen met motorische stoornissen vond Hanlon (1996) een voordeel voor gemengde oefenvolgorde vergeleken met geblokte volgorde voor mensen met een verlamde arm als gevolg van een CVA. Lin en collega's (2007) vonden echter dat voor patiënten met motorische stoornissen ten gevolge van de ziekte van Parkinson de geblokte oefenvolgorde juist beter was dan de gemengde volgorde. Deze tegengestelde resultaten suggereren dat de aard van een motorische stoornis de toepasbaarheid van trainingsprincipes kan beïnvloeden.

Mogelijk vanwege de relatief sterke literatuurbasis voor oefenvolgorde is er in het domein van spraak meer onderzoek gedaan naar deze factor dan naar de meeste andere factoren. Tot op heden zijn er tenminste zeven onderzoeken gepubliceerd waarbij gemengde en geblokte oefenvolgordes zijn vergeleken (Adams & Page, 2000; Knock et al., 2000; Maas & Farinella, 2012; Scheiner, Sadagopan, & Sherwood, 2014; Wambaugh et al., 2013, 2014; Wong et al., 2013).

Voor gezonde volwassenen zijn de resultaten grotendeels in overeenstemming met die voor overige motorische vaardigheden (Adams & Page, 2000; Scheiner et al., 2014; Wong et al., 2013). Zo vonden Scheiner en collega's dat een gemengde oefenvolgorde leidde tot minder fouten in het uitspreken van nonsens woorden (bijv. *mabshaytiedoyb*) tijdens een retentietest dan geblokte oefenvolgorde, na 120 oefenpogingen (30 pogingen voor 4 nonsens woorden). Wong en collega's (2013) vonden ook dat een gemengde oefenvolgorde leidde tot

minder fouten in het reproduceren van een bepaalde duur voor Chinese uitingen (2 of 3 keer zo langzaam als normaal, net als in Adams & Page, 2000) dan een geblokte oefenvolgorde tijdens de retentietest. Wong en collega's vonden echter ook dat de prestatie op de retentietest nog beter was wanneer sprekers eerst geblokt en dan gemengd (of andersom) oefenden.

Voor mensen met spraakstoornissen zijn de resultaten minder duidelijk, en gebaseerd op een klein aantal individuele patiënten in plaats van groepsvergelijkingen. Het eerste onderzoek naar oefenvolgorde bij volwassenen met verbale apraxie (Knock et al., 2000) toonde aan dat beide patiënten met ernstige verbale apraxie tijdens de retentietests beter presteerden op uitingen die in een gemengde volgorde waren geoefend dan op uitingen die in een geblokte volgorde waren geoefend – in overeenstemming met de literatuur. Wambaugh en collega's (2013, 2014) konden dit niet repliceren in tien andere patiënten met verbale apraxie, al is de afwezigheid van een effect in deze twee studies waarschijnlijk te wijten aan het feit dat de geblokte oefenvolgorde feitelijk ook een gemengde volgorde betrof: Doelwoorden waren bijvoorbeeld geblokt voor eerste klank, maar alle 20 woorden met die eerste klank werden in gemengde volgorde geoefend. Deze manier van geblokt oefenen verschilt van het geblokt oefenen in de literatuur naar overige motorische vaardigheden en in Knock et al. (2000), en dus zijn de resultaten van Wambaugh en collega's niet noodzakelijk in tegenspraak met die van Knock et al. (2000). Tenslotte hebben Maas & Farinella (2012) geblokte en gemengde oefenvolgordes vergeleken in therapie met vier kinderen met verbale apraxie. Eén van de vier kinderen vertoonde een duidelijk voordeel voor de gemengde oefenvolgorde op retentietests, terwijl twee andere kinderen verschillende effecten lieten zien in de twee fasen van het onderzoek, met een netto voordeel voor de geblokte oefenvolgorde; het vierde kind vertoonde geen duidelijke verbetering op retentietests voor beide oefenvolgordes. Het feit dat niet alle kinderen eenzelfde effect vertoonden leidde tot de conclusie dat we niet zonder meer kunnen aannemen dat dergelijke trainingsprincipes ook voordelig zijn in de context van logopedie, en dat er derhalve meer gericht onderzoek nodig is om te bepalen wat voor wie de optimale condities zijn.

Kortom, voor het leren van spraak in gezonde volwassenen en voor volwassenen met verbale apraxie lijkt een gemengde oefenvolgorde beter te zijn dan een geblokte volgorde, in overeenstemming met de literatuur naar het leren van overige motorische vaardigheden. Dit voordeel lijkt echter niet zonder meer te gelden voor kinderen met verbale apraxie, en het is mogelijk dat een combinatie van geblokte en gemengde oefenvolgordes nog grotere voordelen biedt voor het leren van spraak. Er is duidelijk meer onderzoek nodig om deze effecten beter te begrijpen voor verschillende populaties.

### **Aandachtsfocus: Intern of extern**

Een meer recent principe is dat het leren wordt bevorderd wanneer men een zogenaamde externe (uitwendige) aandachtsfocus aanneemt in plaats van een interne (inwendige) aandachtsfocus (bijv. Wulf, McNevin, & C.H. Shea, 2001; zie Wulf, 2007, voor review). Bij een interne focus richt men de aandacht op de meer proximale aspecten van de handeling (bijv. de beweging van de pols en arm); bij een externe focus richt men de aandacht op de meer distale aspecten van de handeling (bijv. de beweging van de koekenpan). Met betrekking tot

spraak kan een interne focus gezien worden als een focus op de bewegingen van de articulators, al is het minder duidelijk wat een externe focus inhoudt. Een focus op het resulterende spraakgeluid geldt mogelijk als een meer externe focus (zie bijv. Lisman & Sadagopan, 2013, hieronder verder besproken).

Aandachtsfocus kan worden beïnvloed door middel van instructies (“focus op de beweging van je arm/de pan”) en/of door middel van feedback (bijv. Wulf et al., 2002). Dit voordeel voor een externe aandachtsfocus geldt zowel voor de prestatie tijdens het oefenen als voor het leren (retentie) en is aangetoond voor een groot aantal motorische vaardigheden, inclusief evenwichtstaken, atletische vermogens zoals golf, tennis, skiën (zie Wulf, 2007, voor review), en tongbewegingen vergelijkbaar met de tongbewegingen voor de klanken /d/ en /n/ (Freedman et al., 2007). Bovendien is dit voordeel aangetoond voor mensen met motorische beperkingen, inclusief voor evenwichtsproblemen bij mensen met de ziekte van Parkinson (Landers et al., 2005) en postuuraanpassingen bij mensen met verstuurde enkels (Laufer et al., 2007). Noemenswaardig is tevens dat dit voordeel ook geldt in vergelijking met neutrale instructies (bijv. Wulf & McNevin, 2003), wat suggereert dat mensen zonder expliciete instructies om een externe aandachtsfocus te gebruiken uit zichzelf de minder effectieve interne aandachtsfocus gebruiken.

Tot op heden is er slechts één onderzoek gepubliceerd waarin interne en externe aandachtsfocus werden vergeleken in het gebied van spraak (Lisman & Sadagopan, 2013). In dit onderzoek met gezonde volwassenen bestond de taak uit het produceren van woorden, nonsens woorden, en tongbrekers. Een interne aandachtsfocus werd gedefinieerd als een focus op het bewegingen van de articulators, terwijl een externe aandachtsfocus werd gedefinieerd als een focus op het resulterende spraakgeluid (gebaseerd op het idee dat het akoestische signaal meer extern is dan de bewegingen die dit signaal produceren, en mogelijk belangrijker is voor de controle van spraakmotoriek; Guenther, Hampson, & Johnson, 1998). Proefpersonen vertoonden een grotere variabiliteit (instabiliteit) in duur en coördinatie en langere duur met de interne aandachtsfocus dan met de externe aandachtsfocus. Dit is in overeenstemming met de verwachting op basis van de literatuur naar andere motorische vaardigheden. Dit onderzoek keek echter niet naar de effecten op het leren (retentie) van de spraak. Hoewel er nog geen onderzoek is gepubliceerd dat specifiek gericht is op aandachtsfocus bij spraakstoornissen is het mogelijk dat aandachtsfocus belangrijk is in de klinische context, waarbij vaak een interne focus wordt gebruikt (bijv. focus op articulatieposities). Het is mogelijk dat een focus op het spraakgeluid of het gebruik van visuele weergaves van bepaalde aspecten van spraak (biofeedback) een meer externe aandachtsfocus teweeg kan brengen, en dat een dergelijke externe focus het leren bevordert.

## **Trainingsprincipes: feedback**

Om een bepaalde taak te leren is het nodig dat de leerder informatie heeft over de uitkomst van de poging, om de relaties te kunnen vaststellen tussen het doel (gewenste uitkomst), de startpositie, de motorische instructies, en de sensorische resultaten van de beweging. De leerder beschikt doorgaans over dergelijke informatie over het succes of falen van een bewe-

ging. Indien dit echter niet het geval is, is het soms nodig of nuttig om aanvullende feedback te verstrekken. Er zijn een aantal factoren met betrekking tot de aard van deze aanvullende feedback die het leren op een systematische manier beïnvloeden. In deze sectie bespreken we een aantal van deze factoren, namelijk (a) type, (b) hoeveelheid, en (c) timing. Zie Schmidt & Lee (2005), Wulf & C.H. Shea (2004), en Maas et al. (2008) voor verdere discussie van deze en andere factoren. Tabel 2 bevat een overzicht van de hier besproken feedback factoren.

*Tabel 2:* Overzicht van onderzoek naar trainingsprincipes voor feedback gericht op spraak of stem. Cursief gedrukte verwijzingen betreffen onderzoek bij kinderen met spraakstoornissen.

<b>Factor</b>	<b>Beschrijving / voorbeelden</b>	<b>Opmerkingen</b>	<b>Verwijzingen</b>
Type: Kennis van uitvoering of kennis van resultaat.	Kennis van uitvoering: informatie over hoe de beweging werd uitgevoerd. Kennis van resultaat: informatie over het succes of falen van de beweging.	Kennis van resultaat meestal effectiever. Ook voor spraak, maar mogelijk andersom voor spraakstoornissen. Geen direct onderzoek naar kinderen.	Ballard et al. (2012)
Hoeveelheid: Veel of weinig.	Veel: feedback op alle pogingen. Weinig: feedback op minder dan alle pogingen.	Weinig feedback leidt tot beter leren van GMP, omgekeerd voor parameters. Spraak: Minder feedback beter voor gezonde sprekers; resultaten voor kinderen en volwassenen met spraakstoornissen onduidelijk. Stem: Minder feedback beter.	Adams & Page (2000); Adams et al. (2002); Austermann Hula et al. (2008); Ballard et al. (2012); Bislick et al. (2013); Katz et al. (2010); Kim et al. (2012); Maas et al. (2012); McNeil et al. (2010); Steinhauer & Grayhack (2000)
Timing: Onmiddellijk of uitgesteld.	Onmiddellijk: feedback onmiddellijk na de poging. Uitgesteld: feedback enkele seconden na de poging.	Uitgestelde feedback leidt tot beter leren. Mogelijk ook voor spraak. Geen onderzoek naar kinderen.	Austermann Hula et al. (2008)

## **Feedback type: Kennis van Uitvoering of Kennis van Resultaat**

Het type feedback kan bestaan uit zogenaamde kennis van resultaat (*knowledge of results* of KR) of uit kennis van uitvoering (*knowledge of performance* of KP). Bij KR feedback bestaat de feedback enkel uit een binaire evaluatie, zoals goed/verkeerd, succesvol/niet succesvol, ja/nee, etc. Bij KP feedback bestaat de feedback uit een meer gedetailleerde evaluatie van hoe de beweging werd uitgevoerd (bijv. “je polsbeweging was te langzaam”, “die snelheid was precies goed”), maar kennis van resultaat is doorgaans impliciet ook aanwezig. Al is de prestatie tijdens het oefenen soms beter met KP dan met KR zijn KP en KR doorgaans

even effectief voor het leren van motorische vaardigheden (bijv. Swinnen et al., 1993). KP kan soms effectiever zijn dan KR in de vroege stadia van het leren, wanneer de taak complex en/of onduidelijk is, zoals bij bimanuele coördinatie (bijv. een cirkel tekenen met een Etch-a-Sketch) (Newell, Carlton, & Antoniou, 1990), maar kan daarna juist contraproductief zijn (bijv. Hodges & Franks, 2001). Voor mensen met bepaalde motorische stoornissen is KP in de vorm van biofeedback soms wel effectiever dan verbale KR feedback of meer standaardtherapie, bijvoorbeeld voor buccofaciale apraxie (Katz, Carter, & Levitt, 2007) en lopen na een CVA (bijv. Jonsdottir et al., 2010).

Met betrekking tot spraak zijn er geen gepubliceerde onderzoeken waarbij KR en KP direct met elkaar zijn vergeleken, maar wel één waarbij KR en KR + KP zijn vergeleken (Ballard et al., 2012). Er zijn ook een aantal literatuurstromingen waarbij de effecten van verschillende methoden van biofeedback (een vorm van KP) worden onderzocht, bijv. met behulp van sonografie (*ultrasound*) voor verbale apraxie (bijv. Preston & Leaman, 2014; Preston, Brick, & Landi, 2013) en kinderen met spraakstoornissen (bijv. Adler-Bock et al., 2007; McAllister Byun, Hitchcock, & Swartz, in press; Preston et al., in press); visueel-akoestische feedback (bijv. Ballard et al., 2007; McAllister Byun & Hitchcock, 2012); electromagnetische articulografie (bijv. Katz, Bharadwaj, & Carstens, 1999; Levitt & Katz, 2010; McNeil et al., 2010); electropalatografie (EPG; Ballard et al., 2012; Hardcastle, Gibbon, & Jones, 1991; Lundeborg & McAllister, 2007; Shuster, Ruscello, & Toth, 1995). Vrijwel al deze onderzoeken richtten zich enkel op het vaststellen van een effect voor de biofeedbackmethode en niet op een vergelijking met enkel KR. Ballard en collega's (2012) is een uitzondering. Deze onderzoekers vergeleken een KR conditie met een KR + KP conditie (waar KP bestond uit EPG feedback) bij het leren van een Russische alveolaire trilklink door gezonde Engelstalige volwassenen. De resultaten lieten zien dat er geen verschillen waren tijdens het oefenen of direct na het oefenen, maar 1 week na de oefenperiode bleek de KR groep meer correcte trilklinken te produceren (in getrainde en ongetrainde woorden) dan de KR + KP groep. Met andere woorden, in dit geval bleek aanvullende KP dus contraproductief te zijn voor het leren.

Kortom, hoewel meer gedetailleerde informatie over de beweging mogelijk nuttig kan zijn in het begin voor complexe bewegingspatronen lijkt KR feedback in het algemeen even effectief of meer effectief te zijn voor het leren. Er is duidelijk meer direct onderzoek nodig om deze voorlopige conclusie verder te onderbouwen of verwerpen.

### **Feedback hoeveelheid: Veel of weinig**

Men kan aanvullende feedback geven na elke poging (100%) of slechts na sommige pogingen (bijv. 50%). De literatuur naar het leren van motorische vaardigheden geeft aan dat 100% feedback beter is voor de prestatie tijdens het oefenen dan minder dan 100% feedback, maar voor het leren (retentie) is deze situatie omgekeerd: minder dan 100% feedback bevordert het leren in vergelijking met 100% feedback (bijv. Bruechert, Lai, & C.H. Shea, 2003; Winstein, Pohl, & Lewhtwaite, 1994; Winstein & Schmidt, 1990). Bruechert et al. (2003) vonden tevens dat een verminderde hoeveelheid feedback leidde tot een beter vermogen om afwijkingen (fouten) te ontdekken in de eigen bewegingen (een beter zelfbeoordelingsver-



mogen). Dit is in overeenstemming met de zogenoemde begeleidingshypothese (*guidance hypothesis*; Salmoni, Schmidt, & Walter, 1984). Volgens deze hypothese begeleidt de feedback de beweging tijdens het oefenen om zo een optimale prestatie te bewerkstelligen, en dus afwijkingen te beperken). De leerder heeft op deze manier dus minder gelegenheid om fouten te maken en daarvan te leren (dat wil zeggen, de relaties vast te stellen tussen startpositie, uitkomst, etc.). Wanneer de begeleidende feedback niet langer beschikbaar is, zoals tijdens retentie, dan kan de leerder niet meer vertrouwen op deze feedback en maakt dan meer fouten omdat de onderliggende relatie noodzakelijk om de beweging uit te voeren minder nauwkeurig, precies, of stabiel is. Wanneer feedback niet altijd beschikbaar is wordt de leerder meer gedwongen om zelf de beweging te beoordelen, en de feedback kan dan worden gebruikt om het zelfbeoordelingsvermogen te calibreren aan de externe beoordeling van de instructeur.

Hoewel het voordeel voor een verminderde hoeveelheid feedback in verschillende onderzoeken is bevestigd (bijv. Nicholson & Schmidt, 1991; Park, C.H. Shea, & Wright, 2000; maar zie Winstein, Merians, & Sullivan, 1999), blijkt 100% feedback soms juist wel nuttig te zijn, bijvoorbeeld voor het leren van complexe taken (bijv. Swinnen et al., 1997), wanneer de leerder zelf expliciet de eigen beweging moet beoordelen (Guadagnoli & Kohl, 2001), voor kinderen (bijv. Sullivan, Katak, & Burtner, 2008), en bij patiënten met de ziekte van Parkinson (Guadagnoli et al., 2002). Bovendien hebben Wulf en Schmidt en collega's aangetoond dat dit voordeel voor verminderde hoeveelheid feedback geldt voor het leren van de abstracte structuur van de beweging (het GMP) maar niet voor het leren van de parameters, waarvoor 100% feedback juist optimaal is (bijv. Wulf, Lee, & Schmidt, 1994; Wulf & Schmidt, 1989; Wulf, Schmidt, & Deubel, 1993; zie ook Lai & C.H. Shea, 1998).

De factor feedbackhoeveelheid heeft ondertussen relatief veel aandacht gekregen in onderzoek naar spraak en stem, met 10 gepubliceerde onderzoeken (Adams & Page, 2000; Adams, Page, & Jog, 2002; Austermann Hula et al., 2008; Ballard et al., 2012; Bislick et al., 2013; Katz, McNeil, & Garst, 2010; Kim et al., 2012; Maas, Butalla, & Farinella, 2012; McNeil et al., 2010; Steinhauer & Grayhack, 2000). Voor gezonde volwassen sprekers zijn de effecten relatief eenduidig, met een voordeel voor een verminderde feedbackhoeveelheid met betrekking tot het leren van spraakbewegingen (Adams & Page, 2000; Ballard et al., 2012; Kim et al., 2012; Steinhauer & Grayhack, 2000). Adams et al. (2002) vonden eenzelfde voordeel voor verminderde feedbackhoeveelheid voor patiënten met dysartrie ten gevolge van de ziekte van Parkinson. Het eerste onderzoek naar feedbackhoeveelheid bij volwassenen met verbale apraxie vond ook een klein voordeel voor 60% feedback vergeleken met 100% feedback voor twee van de vier patiënten (geen duidelijk verschil voor de overige twee) (Austermann Hula et al., 2008, Experiment 1). Later onderzoek naar volwassenen met verbale apraxie heeft echter geen duidelijke verschillen gevonden tussen deze condities (Bislick et al., 2013; Katz et al., 2010; McNeil et al., 2010). Tenslotte vergeleken Maas et al. (2012) 100% en 60% feedback in vier kinderen met verbale apraxie, en vonden een voordeel voor 60% feedback voor twee van de vier kinderen, met een klein voordeel voor 100% feedback voor een derde kind (en geen duidelijke verbetering in beide condities voor het vierde kind).

Kortom, onderzoek naar feedbackhoeveelheid voor het leren van spraak toont aan dat een feedbackvermindering het leren bevordert voor gezonde volwassen sprekers, maar de

resultaten voor volwassenen en kinderen met verbale apraxie zijn minder duidelijk: er zijn niet altijd verschillen tussen condities, en waar er verschillen zijn gaan deze niet altijd in dezelfde richting.

### **Feedback timing: Onmiddellijk of uitgesteld**

Naast het type en de hoeveelheid feedback moet ook beslist worden wanneer de feedback wordt verstrekt: gelijktijdig met de poging, onmiddellijk na de poging, of een paar seconden na de poging (uitgesteld). Gelijktijdige feedback bevordert de prestatie tijdens het oefenen maar kan het leren belemmeren (Park et al., 2000; Schmidt & Wulf, 1997; Vander Linden, Craugh, & Greene, 1993), behalve wanneer dergelijke feedback een externe aandachtsfocus teweegbrengt (C.H. Shea & Wulf, 1999). De literatuur geeft ook duidelijk aan dat onmiddellijke feedback minder effectief is voor leren dan uitgestelde feedback (bijv. Swinnen et al., 1990). Het idee hierachter is dat de leerder onmiddellijk na de poging zelf de beweging probeert te evalueren op basis van intrinsieke informatie, en dat het verstrekken van feedback onmiddellijk na de poging dit proces verstoort (vgl. de begeleidingshypothese; Salmoni et al., 1984). Wanneer de leerder de gelegenheid heeft om eerst zelf de poging te beoordelen (en relaties te bepalen tussen startpositie, motorische instructies, uitkomst, etc.) dan kan de externe feedback van de instructeur helpen om dit zelfbeoordelingsvermogen te calibreren.

Een aantal onderzoeken hebben uitgestelde feedback gebruikt in het spraakdomein maar dit niet vergeleken met onmiddellijke feedback (bijv. Ballard et al., 2007; Maas et al., 2012; van der Merwe, 2011). Tot op heden is er slechts één gepubliceerd onderzoek dat direct onmiddellijke en uitgestelde feedback heeft vergeleken (Austermann Hula et al., 2008, Experiment 2). In dit onderzoek naar twee patiënten met verbale apraxie werd KR feedback (voor alle pogingen) verstrekt onmiddellijk na de poging of na een paar seconden. Eén patiënt vertoonde een voordeel voor de uitgestelde feedback met betrekking tot generalisatie en retentie; de andere patiënt vertoonde geen interpreteerbaar verschil tussen de condities.

### **Conclusies**

Er zijn een aantal belangrijke factoren zijn die het leren van motorische vaardigheden bevorderen. Deze factoren zijn niet specifiek voor een bepaalde oefenmethode of therapieprogramma, maar zijn factoren waarover beslissingen moeten worden genomen in vrijwel elke leersituatie, al zijn dergelijke beslissingen niet altijd expliciet of onder de controle van de logopedist (bijv. hoeveelheid therapie hangt ten dele af van de vergoedingslimiet bepaald door de verzekering; gebruik van biofeedback hangt af van de beschikbare technologie). Niettemin is het duidelijk door dit overzicht dat relatief simpele verschillen vaak een impact kunnen hebben op het leren (bijv. 100% feedback of 50% feedback; geblokte volgorde of gemengde volgorde).

Een belangrijk punt dat verdient om herhaald te worden is dat bepaalde condities in sommige gevallen *tegengestelde* effecten hebben op de prestatie tijdens het oefenen en op het leren, waarbij leren wordt gedefinieerd op basis van retentie en generalisatie. Dit betekent

dat bij het beoordelen van succes van een bepaalde therapie (en dus of therapie moet worden voortgezet of beëindigd) minder belang gehecht moet worden aan de prestatie tijdens de therapiesessie dan aan maten van retentie en generalisatie. Dergelijke maten kunnen relatief eenvoudig worden ingebouwd in de sessie, bijvoorbeeld door elke sessie (of elke paar sessies) te beginnen met een korte taak waarbij de patiënt de doeltaak uitvoert zonder cues of feedback (bijv. uitspreken van bepaalde klanken; bepaald spreektempo bereiken tijdens een kort gesprek). Afhankelijk van de doeltaak kunnen er ook verwante maar ongetrainde uitingen worden getest om generalisatie vast te stellen. Op deze manier wordt een beeld verkregen van wat er is “blijven hangen” (geleerd) na de vorige sessie.

Het moge verder duidelijk zijn op basis van dit overzicht dat er tot op heden niet veel direct onderzoek is gedaan naar de toepasbaarheid van deze trainingsprincipes op het leren van spraak in het algemeen en op spraaktherapie in het bijzonder. Dit is belangrijk om in het oog te houden, want het is niet noodzakelijk het geval dat het leren van spraak- of stembewegingen onderhevig is aan dezelfde principes – zoals ook naar voren komt uit dit overzicht. Bovendien is het goed mogelijk dat verschillende factoren een interactie vertonen met elkaar (bijv. verminderde hoeveelheid feedback bevordert leren in variabele oefening maar niet in constante oefening; Lai & C.H. Shea, 1998), en hiernaar is nog weinig onderzoek gedaan (bijv. Kim et al., 2012, waarin meer oefening alleen voordeel bood wanneer proefpersonen 20% feedback kregen).

Voor zover onderzoek is gedaan naar gezonde volwassen sprekers komen de resultaten doorgaans relatief goed overeen met de literatuur naar overige motorische vaardigheden (bijv. Adams & Page, 2000; Ballard et al., 2012; Lisman & Sadagopan, 2013; Scheiner et al., 2014; Wong et al., 2013). Voor de toepassing op mensen met spraakstoornissen zijn de resultaten echter minder duidelijk. Er zijn een aantal belangrijke verschillen tussen de literatuur naar overige motorische vaardigheden en literatuur naar leren van spraak in gezonde volwassen sprekers aan de ene kant, en de literatuur naar de toepassing van deze trainingsprincipes in klinische populaties aan de andere kant, die vooralsnog een duidelijk oordeel over de toepasbaarheid van dergelijke principes in de logopedie bemoeilijken. Ten eerste is het onderzoek bij gezonde sprekers doorgaans gebaseerd op groepsvergelijkingen, terwijl onderzoek naar klinische populaties vaak is gebaseerd op kleine aantallen proefpersonen die met zichzelf worden vergeleken (bijv. single-case experimental designs). Ten tweede is de oefenperiode bij onderzoek naar gezonde sprekers vaak slechts kort (bijv. 50 pogingen op één dag) met een korte retentiefase (bijv. retentietest één dag na het oefenen), net als in de literatuur naar het leren van overige motorische vaardigheden (maar zie bijv. Baddeley & Longman, 1978, en Swinnen et al., 1993, voor uitzonderingen). In de context van klinische populaties is er echter juist behoefte aan bewijs voor langdurigere behandeling en langere retentieperiodes (bijv. weken of maanden). Tot op heden zijn de resultaten gemengd, waarbij bijvoorbeeld sommige kinderen met verbale apraxie beter leren met 60% feedback en anderen met 100% feedback (Maas et al., 2012). Om deze reden is het belangrijk om voorzichtig te zijn met het extrapoleren van bevindingen met andere taken en andere populaties naar specifieke klinische populaties. Dit betekent tevens dat meer direct, systematisch onderzoek nodig is naar dergelijke trainingsfactoren in specifieke populaties, omdat trainingsfactoren in sommige gevallen wel degelijk een invloed lijken te hebben op het leren

(al zijn de effecten soms omgekeerd). De aard van de stoornis heeft zeer waarschijnlijk een belangrijke invloed op de mate waarin, en de manier waarop, trainingsprincipes het leren bevorderen.

Om met een positieve boodschap te eindigen is het bemoedigend dat er in de laatste jaren inderdaad meer – fundamenteel en klinisch – onderzoek wordt gedaan naar deze factoren met betrekking tot de spraakmotoriek. Hopelijk leidt dergelijk onderzoek in de komende jaren tot een beter inzicht in de factoren die de uitkomst van spraaktherapie kunnen optimaliseren voor mensen met spraakstoornissen.

## Referenties

- Adams, S.G., & Page, A.D. (2000). Effects of selected practice and feedback variables on speech motor learning. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 8, 215-220.
- Adams, S.G., Page, A.D., & Jog, M.S. (2002). Summary feedback schedules and speech motor learning in Parkinson's disease. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 10, 215-220.
- Adler-Bock, M., Bernhardt, B.M., Gick, B., & Bacsfalvi, P. (2007). The use of ultrasound in remediation of North American English /r/ in 2 adolescents. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 16, 128-139.
- Aichert, I., & Ziegler, W. (2013). Segments and syllables in the treatment of apraxia of speech: An investigation of learning and transfer effects. *Aphasiology*, 27, 1180-1199.
- Allen, M.M. (2013). Intervention efficacy and intensity for children with speech sound disorder. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 56, 865-877.
- Austermann Hula, S.N., Robin, D.A., Maas, E., Ballard, K.J., & Schmidt, R.A. (2008). Effects of feedback frequency and timing on acquisition, retention, and transfer of speech skills in acquired apraxia of speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51, 1088-1113
- Baddeley, A.D., & Longman, D.J.A. (1978). The influence of length and frequency of training session on the rate of learning to type. *Ergonomics*, 21, 627-635.
- Ballard, K.J., Maas, E., & Robin, D.A. (2007). Treating control of voicing in apraxia of speech with variable practice. *Aphasiology*, 21, 1195-1217.
- Ballard, K.J., Smith, H.D., Paramatmuni, D., McCabe, P., Theodoros, D.G., & Murdoch, B.E. (2012). Amount of kinematic feedback affects learning of speech motor skills. *Motor Control*, 16, 106-119.
- Bislick, L.P., Weir, P.C., & Spencer, K.A. (2013). Investigation of feedback schedules on speech motor learning in individuals with apraxia of speech. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 20, 18-23.
- Bruechert, L., Lai, Q., & Shea, C.H. (2003). Reduced knowledge of results enhances error detection. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74, 467-472.
- Campbell, T.F. (1999). Functional treatment outcomes in young children with motor speech disorders. In A.J. Caruso & E.A. Strand (Eds.), *Clinical Management of Motor Speech Disorders in Children* (pp. 385-396). New York: Thieme.

- Clark, H.M. (2003). Neuromuscular treatments for speech and swallowing: A tutorial. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 12, 400-415.
- Edeal, D.M., & Gildersleeve-Neumann, C.E. (2011). The importance of production frequency in therapy for childhood apraxia of speech. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 20, 95-110.
- Forrest, K. (2002). Are oral-motor exercises useful in the treatment of phonological/ articulatory disorders? *Seminars in Speech and Language*, 23, 15-25.
- Forrest, K., & Iuzzini, J. (2008). A comparison of oral motor and production training for children with speech sound disorders. *Seminars in Speech and Language*, 29, 304-311.
- Freedman, S.E., Maas, E., Caligiuri, M.P., Wulf, G., & Robin, D.A. (2007). Internal vs. external: Oral motor performance as a function of attentional focus. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 50, 131-136.
- Giuffrida, C.G., Shea, J.B., & Fairbrother, J.T. (2002). Differential transfer benefits of increased practice for constant, blocked, and serial practice schedules. *Journal of Motor Behavior*, 34, 353-365.
- Guadagnoli, M.A., & Kohl, R.M. (2001). Knowledge of results for motor learning: Relationship between error estimation and knowledge of results frequency. *Journal of Motor Behavior*, 33, 217-224.
- Guadagnoli, M.A., Leis, B., van Gemmert, A.W.A., & Stelmach, G.E. (2002). The relationship between knowledge of results and motor learning in Parkinsonian patients. *Parkinsonism and Related Disorders*, 9, 89-95.
- Guenther, F.H., Ghosh, S.S., & Tourville, J.A. (2006). Neural modeling and imaging of the cortical interactions underlying syllable production. *Brain and Language*, 96, 280-301.
- Guenther, F.H., Hampson, M., & Johnson, D. (1998). A theoretical investigation of reference frames for the planning of speech movements. *Psychological Review*, 105, 611-633.
- Hanlon, R.E. (1996). Motor learning following unilateral stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 77, 811-815.
- Hardcastle, W.J., Gibbon, F.E., & Jones, W. (1991). Visual display of tongue-palate contact: Electropalatography in the assessment and remediation of speech disorders. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 26, 41-74.
- Hodges, N.J., & Franks, I.M. (2001). Learning a coordination skill: Interactive effects of instruction and feedback. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72, 132-142.
- Jonsdottir, J., Cattaneo, D., Recalcati, M., Regola, A., Rabuffetti, M., Ferrarin, M., & Casiraghi, A. (2010). Task-oriented biofeedback to improve gait in individuals with chronic stroke: Motor learning approach. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 24, 478-485.
- Katz, W.F., Bharadwaj, S.V., & Carstens, B. (1999). Electromagnetic articulography treatment for an adult with Broca's aphasia and apraxia of speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42, 1355-1366.
- Katz, W.F., Carter, G.C., & Levitt, J.S. (2007). Treating buccofacial apraxia using augmented kinematic feedback. *Aphasiology*, 21, 1230-1247.
- Katz, W.F., McNeil, M.R., & Garst, D.M. (2010). Treating apraxia of speech (AOS) with EMA-supplied visual augmented feedback. *Aphasiology*, 24, 826-837.
- Kim, I., LaPointe, L.L., & Stierwalt, J.A.G. (2012). The effect of feedback and practice on the

- acquisition of novel speech behaviors. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 21, 89-100.
- Knock, T., Ballard, K.J., Robin, D.A., & Schmidt, R.A. (2000). Influence of order of stimulus presentation on speech motor learning: A principled approach to treatment for apraxia of speech. *Aphasiology*, 14, 653-668.
- Kwakkel, G., van Peppen, R., Wagenaar, R., Dauphinee, S.W., Richards, C., Ashburn, A., . . . , & Langhorne, P. (2004). Effects of augmented exercise therapy time after stroke. A meta-analysis. *Stroke*, 35, 2529-2539.
- Lai, Q., & Shea, C.H. (1998). Generalized motor program (GMP) learning: Effects of reduced frequency of knowledge of results and practice variability. *Journal of Motor Behavior*, 30, 51-59.
- Lai, Q., Shea, C.H., Wulf, G., & Wright, D.L. (2000). Optimizing generalized motor program and parameter learning. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 71, 10-24.
- Landers, M., Wulf, G., Wallmann, H., & Guadagnoli, M. (2005). An external focus of attention attenuates balance impairment in patients with Parkinson's Disease who have a fall history. *Physiotherapy*, 91, 152-158.
- Lasker, J.P., Stierwalt, J.A.G., Hageman, C.F., & LaPointe, L.L. (2008). Using motor learning guided theory and augmentative and alternative communication to improve speech production in profound apraxia: A case example. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 16, 225-233.
- Laufer, Y., Rotem-Lehrer, N., Ronen, Z., Khayutin, G., & Rozenberg, I. (2007). Effect of attention focus on acquisition and retention of postural control following ankle sprain. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88, 105-108.
- Lee, T.D., & Genovese, E.D. (1988). Distribution of practice in motor skill acquisition: Learning and performance effects reconsidered. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 59, 277-287.
- Lee, T.D., & Magill, R.A. (1983). The locus of contextual interference in motor-skill acquisition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 730-746.
- Lee, T.D., Magill, R.A., & Weeks, D.J. (1985). Influence of practice schedule on testing Schema Theory predictions in adults. *Journal of Motor Behavior*, 17, 283-299.
- Levitt, J.S., & Katz, W.F. (2010). The effects of EMA-based augmented visual feedback on the English speakers' acquisition of the Japanese flap: a perceptual study. *Interspeech-2010*, 1862-1865.
- Lin, C.-H., Sullivan, K.J., Wu, A.D., Katak, S., & Winstein, C.J. (2007). Effect of task practice order on motor skill learning in adults with Parkinson Disease: A pilot study. *Physical Therapy*, 87, 1120-1131.
- Lisman, A.L., & Sadagopan, N. (2013). Focus of attention and speech motor performance. *Journal of Communication Disorders*, 46, 281-293.
- Lof, G.L., & Watson, M. (2008). A nationwide survey of nonspeech oral motor exercise use: Implications for evidence-based practice. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 39, 392-407.
- Lundeborg, I., & McAllister, A. (2007). Treatment with a combination of intra-oral sensory

- stimulation and electropalatography in a child with severe developmental dyspraxia. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 32, 71-79.
- Maas, E., Butalla, C.E., & Farinella, K.A. (2012). Feedback frequency in treatment for childhood apraxia of speech. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 21, 239-257.
- Maas, E., & Farinella, K.A. (2012). Random versus blocked practice in treatment for childhood apraxia of speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 55, 561-578.
- Maas, E., Robin, D.A., Austermann Hula, S.N., Freedman, S.E., Wulf, G., Ballard, K.J., & Schmidt, R.A. (2008). Principles of motor learning in treatment of motor speech disorders. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 17, 277-298.
- Mackenzie, C., Muir, M., Allen, C., & Jensen, A. (2014). Non-speech oro-motor exercises in post-stroke dysarthria intervention: A randomized feasibility trial. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 49, 602-617.
- McAllister Byun, T., & Hitchcock, E.R. (2012). Investigating the use of traditional and spectral biofeedback approaches to intervention for /r/ misarticulation. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 21, 207-221.
- McAllister Byun, T., Hitchcock, E.R., & Swartz, M.T. (in press). Retroflex versus bunched in treatment for rhotic misarticulation: Evidence from ultrasound biofeedback intervention. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*.
- McCauley, R.J., Strand, E., Lof, G.L., Schooling, T., & Frymark, T. (2009). Evidence-based systematic review: Effects of nonspeech oral motor exercises on speech. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 18, 343-360.
- McNeil, M.R., Katz, W.F., Fossett, T.R.D., Garst, D.M., Szuminsky, N.J., Carter, G., & Lim, K.Y. (2010). Effects of online augmented kinematic and perceptual feedback on treatment of speech movements in apraxia of speech. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 62, 127-133.
- Newell, K.M., Antoniou, A., & Carlton, L.G. (1988). Massed and distributed practice effects: Phenomena in search of a theory? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 59, 308-313.
- Newell, K.M., Carlton, M.J., & Antoniou, A. (1990). The interaction of criterion and feedback information in learning a drawing task. *Journal of Motor Behavior*, 22, 536-552.
- Newell, K.M., & Shapiro, D.C. (1976). Variability of practice and transfer of training: Some evidence toward a schema view of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 8, 233-243.
- Nicholson, D.E., & Schmidt, R.A. (1991). Scheduling information feedback to enhance training effectiveness. *Proceedings of the Human Factors Society 35th Annual Meeting* (pp. 1400-1403). Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- Osu, R., Hirai, S., Yoshioka, T. & Kawato, M. (2004). Random presentation enables subjects to adapt to two opposing forces on the hand. *Nature Neuroscience*, 7, 111-112.
- Park, J.H., & Shea, C.H. (2003). Effect of practice on effector independence. *Journal of Motor Behavior*, 35, 33-40.
- Park, J.H., & Shea, C.H. (2005). Sequence learning: response structure and effector transfer. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 58A, 387-419.

- Park, J.H., Shea, C.H., & Wright, D.L. (2000). Reduced-frequency concurrent and terminal feedback: A test of the guidance hypothesis. *Journal of Motor Behavior*, 32, 287-296.
- Preston, J.L., Brick, N., & Landi, N. (2013). Ultrasound biofeedback treatment for persisting childhood apraxia of speech. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 22, 627-643.
- Preston, J.L., & Leaman, M. (2014). Ultrasound visual feedback for acquired apraxia of speech: A case report. *Aphasiology*, 28, 278-295.
- Preston, J.L., McCabe, P., Rivera-Campos, A., Whittle, J.L., Landry, E., & Maas, E. (in press). Ultrasound visual feedback treatment and practice variability for residual speech sound errors. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*.
- Proteau, L., Blandin, Y., Alain, C., & Dorion, A. (1994). The effects of the amount and variability of practice on the learning of a multi-segmented motor task. *Acta Psychologica*, 85, 61-74.
- Rochet-Capellan, A., Richer, L., & Ostry, D.J. (2012). Nonhomogeneous transfer reveals specificity in speech motor learning. *Journal of Neurophysiology*, 107, 1711-1717.
- Rosenbek, J.C., Lemme, M.L., Ahern, M.B., Harris, E.H., & Wertz, R.T. (1973). A treatment for apraxia of speech in adults. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 38, 462-472.
- Salmoni, A.W., Schmidt, R.A., & Walter, C.B. (1984). Knowledge of results and motor learning: A review and critical reappraisal. *Psychological Bulletin*, 95, 355-386.
- Scheiner, L.R., Sadagopan, N., & Sherwood, D.E. (2014). Effects of blocked versus random practice on speech motor skill acquisition and retention. *Journal of Motor Learning and Development*, 2, 29-36.
- Schmidt, R.A. (1975) A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- Schmidt, R.A., & Lee, T.D. (2005). *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis (4th Ed)*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schmidt, R.A., & Wulf, G. (1997). Continuous concurrent feedback degrades skill learning: Implications for training and simulation. *Human Factors*, 39, 509-525.
- Sekiya, H., Magill, R.A., & Anderson, D.I. (1996). The contextual interference effect in parameter modifications of the same generalized motor program. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 67, 59-68.
- Sekiya, H., Magill, R.A., Sidaway, B., & Anderson, D.I. (1994). The contextual interference effect for skill variations from the same and different generalized motor programs. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 65, 330-338.
- Shadmehr, R., & Brashers-Krug, T. (1997). Functional stages in the formation of human long-term motor memory. *Journal of Neuroscience*, 17, 409-419.
- Shea, C.H., & Kohl, R.M. (1990). Specificity and variability of practice. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61, 169-177.
- Shea, C.H., Kohl, R.M., & Indermill, C. (1990). Contextual interference: Contributions of practice. *Acta Psychologica*, 73, 145-157.
- Shea, C.H., Lai, Q., Black, C., & Park, J.H. (2000). Spacing practice sessions across days benefits the learning of motor skills. *Human Movement Science*, 19, 737-760.
- Shea, C.H., Lai, Q., Wright, D.L., Immink, M., & Black, C. (2001). Consistent and variable



- practice conditions: Effects on relative and absolute timing. *Journal of Motor Behavior*, 33, 139-152.
- Shea, C.H., & Wulf, G. (1999). Enhancing motor learning through external-focus instructions and feedback. *Human Movement Science*, 18, 553-571.
- Shea, J.B., & Morgan, R.L. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, 5, 179-187.
- Shriberg, L.D., Aram, D.M., & Kwiatkowski, J. (1997). Developmental apraxia of speech: I. Descriptive and theoretical perspectives. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40, 273-285.
- Shuster, L.I., Ruscello, D.M., & Toth, A.R. (1995). The use of visual feedback to elicit correct /r/. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 4, 37-44.
- Smith, A., & Zelaznik, H.N. (2004). Development of functional synergies for speech motor coordination in childhood and adolescence. *Developmental Psychobiology*, 45, 22-33.
- Spielman, J., Ramig, L.O., Mahler, L., Halpern, A., & Gavin, W.J. (2007). Effects of an extended version of the Lee Silverman Voice Treatment on voice and speech in Parkinson's disease. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 16, 95-107.
- Steinhauer, K., & Grayhack, J.P. (2000). The role of knowledge of results in performance and learning of a voice motor task. *Journal of Voice*, 14, 137-145.
- Strand, E.A., Stoeckel, R., & Baas, B. (2006). Treatment of severe childhood apraxia of speech: A treatment efficacy study. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 14, 297-307.
- Sullivan, K.J., Kantak, S.S., & Burtner, P.A. (2008). Motor learning in children: Feedback effects on skill acquisition. *Physical Therapy*, 88, 720-732.
- Swinnen, S.P., Lee, T.D., Verschueren, S., Serrien, D.J., & Bogaerds, H. (1997). Interlimb coordination: Learning and transfer under different feedback conditions. *Human Movement Science*, 16, 749-785.
- Swinnen, S., Schmidt, R.A., Nicholson, D.E., & Shapiro, D.C. (1990). Information feedback for skill acquisition: Instantaneous knowledge of results degrades learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 706-716.
- Swinnen, S., Walter, C.B., Lee, T.D., & Serrien, D.J. (1993). Acquiring bimanual skills: Contrasting forms of information feedback for interlimb decoupling. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 1328-1344.
- Thomas, D.C., McCabe, P., & Ballard, K.J. (2014). Rapid Syllable Transitions (ReST) treatment for childhood apraxia of speech: The effect of lower dose-frequency. *Journal of Communication Disorders*, 51, 29-42.
- Vander Linden, D.W., Cauraugh, J.H., & Greene, T.A. (1993). The effect of frequency of kinetic feedback on learning an isometric force production task in nondisabled subjects. *Physical Therapy*, 73, 79-87.
- van der Merwe, A. (2011). A speech motor learning approach to treating apraxia of speech: Rationale and effects of intervention with an adult with acquired apraxia of speech. *Aphasiology*, 25, 1174-1206.
- Verwey, W.B. (1996). Buffer loading and chunking in sequential keypressing. *Journal of*

- Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 544-562.
- Wambaugh, J.L., & Mauszycki, S.C. (2010). Sound Production Treatment: Application with severe apraxia of speech. *Aphasiology*, 24, 814-825.
- Wambaugh, J.L., Nessler, C., Cameron, R., & Mauszycki, S.C. (2013). Treatment for acquired apraxia of speech: Examination of treatment intensity and practice schedule. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 22, 84-102.
- Wambaugh, J.L., Nessler, C., Wright, S., & Mauszycki, S.C. (2014). Sound Production Treatment: Effects of blocked and random practice. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 23, S225-S245.
- Winstein, C.J., Merians, A.S., & Sullivan, K.J. (1999). Motor learning after unilateral brain damage. *Neuropsychologia*, 37, 975-987.
- Winstein, C.J., Pohl, P.S., & Lewthwaite, R. (1994). Effects of physical guidance and knowledge of results on motor learning: Support for the Guidance Hypothesis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 65, 316-323.
- Winstein, C.J., & Schmidt, R.A. (1990). Reduced frequency of knowledge of results enhances motor skill learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 677-691.
- Wong, A.W.-K., Whitehill, T.L., Ma, E.P.-M., & Masters, R. (2013). Effects of practice schedules on speech motor learning. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 15, 511-523.
- Wong, A.Y.-H., Ma, E.P.-M., & Yiu, E.M.-L. (2011). Effects of practice variability on learning of relaxed phonation in vocally hyperfunctional speakers. *Journal of Voice*, 25, e103-e113.
- Wright, D.L., Black, C.B., Immink, M.A., Brueckner, S., & Magnuson, C. (2004). Long-term motor programming improvements occur via concatenating movement sequences during random but not blocked practice. *Journal of Motor Behavior*, 36, 39-50.
- Wrisberg, C.A., & Liu, Z. (1991). The effect of contextual variety on the practice, retention, and transfer of an applied motor skill. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 62, 406-412.
- Wulf, G. (2007). Attentional focus and motor learning: A review of 10 years of research. *Bewegung und Training*, 1, 4-14.
- Wulf, G., Lee, T.D., & Schmidt, R.A. (1994). Reducing knowledge of results about relative versus absolute timing: Differential effects on learning. *Journal of Motor Behavior*, 26, 362-369.
- Wulf, G., McConnel, N., Gärtner, M., & Schwarz, A. (2002). Enhancing the learning of sport skills through external-focus feedback. *Journal of Motor Behavior*, 34, 171-182.
- Wulf, G., & McNevin, N. (2003). Simply distracting learners is not enough: More evidence for the learning benefits of an external focus of attention. *European Journal of Sport Science*, 3(5), 1-13.
- Wulf, G., McNevin, N., & Shea, C.H. (2001). The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54A, 1143-1154.
- Wulf, G., & Schmidt, R.A. (1989). The learning of generalized motor programs: Reducing the

- relative frequency of knowledge of results enhances memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 748-757.
- Wulf, G., & Schmidt, R.A. (1997). Variability of practice and implicit motor learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23, 987-1006.
- Wulf, G., Schmidt, R.A., & Deubel, H. (1993). Reduced frequency feedback enhances generalized motor program learning but not parameterization learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 1134-1150.
- Wulf, G., & Shea, C.H. (2004). Understanding the role of augmented feedback: The good, the bad, and the ugly. In A.M. Williams & N.J. Hodges (Eds.), *Skill Acquisition in Sport: Research, Theory and Practice* (pp. 121-144). London: Routledge.
- Ziegler, W. (2003). Speech motor control is task-specific. Evidence from dysarthria and apraxia of speech. *Aphasiology*, 17, 3-36.