

## Sehen hilft Lernen: sEMG Biofeedback in der Dysphagietherapie

Ulrike Frank

Swallowing Research Lab, Department Linguistik, Universität Potsdam

### 1 Biofeedbackverfahren: Grundlagen und Anwendungsbeispiele

Biofeedbackverfahren werden seit vielen Jahrzehnten in der Rehabilitation motorischer Funktionseinschränkungen eingesetzt, um Patienten beim Wiedererwerb komplexer Bewegungsabläufe zu unterstützen. Hierbei wird die Aktivität der Zielmuskulatur in einen spezifischen Stimulus (z. B. ein akustisches oder visuelles Signal) übersetzt und dem Patienten sichtbar bzw. hörbar gemacht (De Weerd & Harrison, 1985). Basmajian definiert dieses Verfahren als eine

*„Technik, bei der (meist elektronisches) Equipment verwendet wird, um Menschen eigene (...) physiologische Abläufe, seien sie normal oder abnormal, in Form von visuellen oder akustischen Signalen zu verdeutlichen, um ihnen beizubringen, dass man diese sonst unwillkürlichen oder nicht gespürten Abläufe manipulieren kann, indem man die dargestellten Signale manipuliert“* (Basmajian, 1981, zitiert in Huckabee, 2002, S. 15).

Die Oberflächen-Elektromyographie (surface electromyography – sEMG) eignet sich als nicht-invasives Verfahren sehr gut für den Einsatz als Biofeedbackinstrument in zahlreichen Anwendungsbereichen, in denen die funktionelle Kontraktions- oder auch Relaxationsfähigkeit der Muskulatur verbessert werden soll, so z. B. bei Kopfschmerzen, Inkontinenz, aber auch für die komplexen sensorischen Abläufe der Schluckfunktion. Mit Hilfe von Elektrodenpatches, die kutan im Bereich der Zielmuskulatur (z. B. submentale Muskulatur, Kiefermuskulatur) angebracht werden, wird die Depolarisation (Ladungsaustausch) erfasst, die bei neuronaler Erregung

entlang des Muskels entsteht (sog. ‚Aktionspotential‘). Dieses sEMG Rohsignal wird mit Hilfe spezieller Software gefiltert, digitalisiert und graphisch dargestellt. Die Darstellung erfolgt in der Regel in Form eines Diagramms, auf dem die Aktivität der Zielmuskulatur in Bezug auf ihre Amplitude (in Mikrovolt –  $\mu\text{V}$ ) und der zeitliche Verlauf (in Sekunden) als dynamische, d. h. im Zeitverlauf ‚weiterwandernde‘, sog. ‚Plotlinie‘ auf einem Bildschirm sichtbar gemacht werden (vgl. Abb. 1). Die Patienten können nun selbstständig Veränderungen, die durch Muskelaktivität hervorgerufen werden, zeitlich simultan erkennen und die Plotlinie entsprechend der therapeutischen Zielsetzung durch Anpassung ihrer Muskelaktivität verändern.

Oberflächenelektroden können im Gegensatz zu invasiven Nadelelektroden nicht die Aktivität einzelner Muskeln, sondern nur Muskelgruppen erfassen. Daher eignet sich das Verfahren auch nur zur Aktivitätsableitung von ‚oberflächlich‘ gelegenen Muskeln, da sonst so genannte ‚cross-talk Effekte‘ im Zusammenhang mit der benachbarten, peripher gelegenen Muskulatur entstehen. So ist eine Abbildung der supra- und infrahyoidalen Muskelaktivität oder der Aktivität von M. masseter und M. temporalis gut möglich, während das Verfahren beispielsweise zur Erfassung der Pharynxkontraktion oder Ösophagusphinkteröffnung nicht sinnvoll eingesetzt werden kann (Huckabee, Cannito & Kahane, 1996). Der Schluckvorgang selbst ist durch diese Methode nicht direkt und vollständig visualisierbar, sondern nur die generelle Aktivität der Zungengrundmuskulatur während der oralen Vorbereitungs- und Transportphase. Daher muss die eigentliche Schluckaktivität durch weitere Beobachtungen (z. B. der Larynxelation, Hummel & Frank, 2011) oder Messungen (z. B. der schluckrelatierten Atempause ‚Schluck-Apnoe‘, Martin-Harris, 2008) verifiziert werden.

Schwierigkeiten beim Einsatz der Oberflächen-Elektromyographie als Diagnostik- oder Evaluationsinstrument ergeben sich durch die hohe interindividuelle Variabilität der Bewegungsamplituden. Hierdurch ist ein Vergleich verschiedener Individuen kaum möglich und es kann auch kein Vergleich der Leistungen mit Normwerten erfol-

gen. Die intraindividuelle Variabilität ist zwar meist geringer, kann aber dennoch tagesformbedingten Schwankungen unterliegen und durch die wiederholte Elektrodenapplikation bedingt sein (Bogaardt, 2009; Huckabee, Low & McAuliffe, 2012). Daher werden beim therapeutischen Einsatz des Verfahrens in der Regel zu Beginn jeder Therapieeinheit Baselinemessungen in Form von mehreren Zielschlucken durchgeführt und hierdurch das individuelle Trainingsziel für den Tag festgelegt. Dies kann z. B. eine Tagertrainingsschwelle sein, die beim Üben des Manövers „Kräftiges Schlucken“ erreicht werden soll (vgl. Abb. 1). Der Schwierigkeitsgrad und die Intensität können im Verlauf der Intervention dann je nach Therapieziel durch systematisch ansteigende Trainingsschwellen erhöht werden (vgl. Steele et al., 2012).

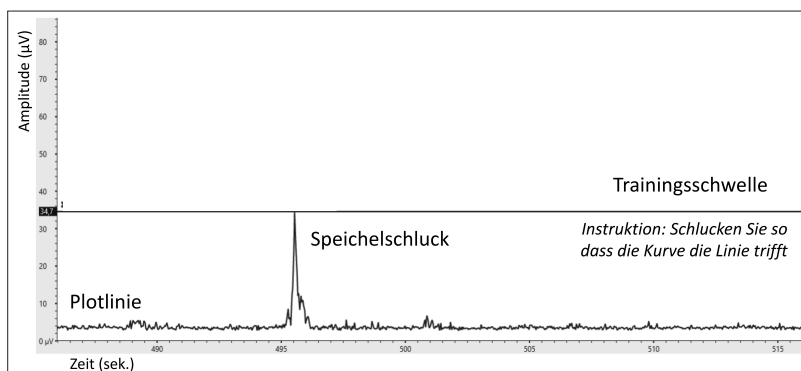


Abbildung 1. Elektromyographische Darstellung eines Speicherschlucks. *X-Achse:* zeitlicher Verlauf der submentalen Muskelaktivität (Sekunden), *Y-Achse:* Bewegungsamplitude ( $\mu\text{V}$ ). *Trainingsschwelle:* definierte Trainingsamplitude, die im Verlauf der Therapie schrittweise erhöht wird.

## 2 Anwendung von sEMG-Biofeedback in der Dysphagietherapie

### 2.1 Indikationsstellung

In der Dysphagietherapie kann ein sEMG-gestütztes Biofeedbackverfahren erfolgreich eingesetzt werden, um Patienten das Erlernen spezifischer Bewegungsabläufe oder Schluckmanöver zu erleichtern. Um hierbei von der Visualisierung ihrer muskulären Aktivitäten profitieren zu können, sollten die Patienten bestimmte Fähigkeiten besitzen. So ist eine ausreichende Wachheit, Aufmerksamkeitsspanne und visuelle Wahrnehmungsfähigkeit ebenso eine Voraussetzung wie eine motorische Restfunktion, die auf dem Bildschirm dargestellt und dann durch Eigenaktivität modifiziert werden kann. Sprachverständnisdefizite sind dagegen kein Hindernis, da das Verständnis der erforderlichen Instruktionen z. B. durch geeignete visuelle Hilfestellungen unterstützt werden kann (vgl. Frank, Thonicke & Netzebandt, 2017; Lopnow, Netzebandt, Frank & Huckabee, 2016).

Kontraindikationen ergeben sich bei einer Unverträglichkeit der Klebeelektroden z. B. kurz nach Kopf-Hals-Tumor-Operationen bzw. nach oder innerhalb der Strahlentherapie, da die dann bestehenden Haut- und Muskulaturläsionen ein Anbringen der Klebeelektroden ausschließen. Bei neuromuskulären Erkrankungen, insbesondere ALS (Amyotrophe Lateralsklerose), hohem Hirndruck und schweren kardiologischen Erkrankungen sollten kraftbasierte Übungen und Schluckmanöver – mit und ohne Biofeedback – nur in Maßen und nach sorgfältig überdachter Indikationsstellung angewendet werden.

### 2.2 Therapiestrategien

Durch eine Therapie mit visueller Biofeedbackunterstützung können komplexe Bewegungsabläufe vereinfacht dargestellt, aber auch neue

Bewegungsmuster schneller erlernt werden (Bauer & Peter, 2009). Durch die willkürliche Modulation der visualisierten Schluckaktivität wird der Fokus weggelenkt von einer therapeuten-orientierten Therapie hin zu einer Therapieform, in der der Patient maximal aktiv und repetitiv die Zielbewegungsabläufe übt und ein Feedback über den Bewegungserfolg erhält, an das er seinen nächsten Versuch unmittelbar und vor allem selbstständig anpassen kann. Aufgabe des Therapeuten ist, geeignete Bewegungsabläufe und Übungen auszuwählen und den Patienten in die Anwendung des Biofeedbackinstruments einzuführen; möglichst soweit, dass dieser es selbstständig anwenden kann.

Bei der Therapiekonzeption wird zwischen kraftorientierten (sog. ‚strength training‘) und koordinationsorientierten (sog. ‚skill training‘) Therapieformen unterschieden. Rückblickend wurden sEMG-gestützte Biofeedbackmethoden in der Dysphagietherapie zunächst häufig zur Unterstützung von kraftbasierten Therapieformen eingesetzt. Der Einsatz von kraftbasierten Übungen, wie beispielsweise dem ‚Kräftigen Schlucken‘ (‚effortful swallow‘, Hind, Nicosia, Roecker, Carnes & Robbins, 2001; Huckabee & Steele, 2006; Kahrilas, Logemann, Krugler & Flanagan, 1991), basiert auf der Annahme, dass eine muskuläre Schwäche ursächlich ist für das Vorliegen der Dysphagie. Durch die hochfrequente Durchführung von Bewegungen mit maximalem Aktivitätslevel und durch im Therapieverlauf steigende Aktivitätsanforderungen soll die Muskelkraft und -ausdauer erhöht und so ein verbesserter oropharyngealer Bolustransport erreicht werden (Lazarus, Logemann, Song, Rademaker & Kahrilas, 2002).

In zahlreichen Evaluationsstudien wurde die Wirksamkeit sEMG-gestützter kraftbasierter Dysphagietherapie untersucht und es zeigten sich funktionelle Verbesserungen nach der Therapie in Form von Verbesserungen des oralen Ernährungsstatus, wie z. B. die Abnahme notwendiger Kostmodifikationen und eine Reduktion der Sondenernährung (Bogaardt, Grolman, & Fokkens, 2009; Crary, 1995; Crary, Carnaby Mann, Groher & Helseth, 2004; Huckabee & Cannito, 1999). In einer eigenen Studie untersuchten wir Effekte einer in-

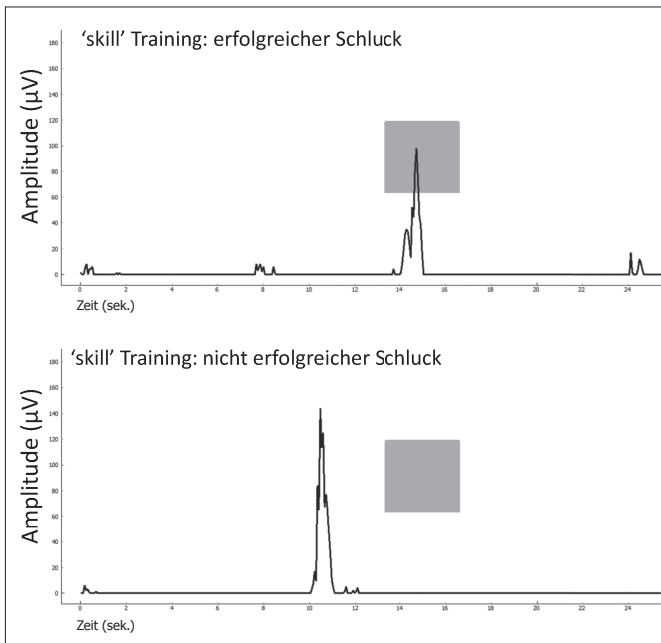
tensiven sEMG-Biofeedback-gestützten Therapie bei einer Patientin, die aufgrund einer HNO-Tumoroperation und anschließender Radiotherapie ausschließlich sämige Kost zu sich nehmen konnte. Nach einer 3-wöchigen intensiven Therapiephase mit hochfrequenten Übungen zum kräftigen Schlucken zeigten sich ebenfalls Transfereffekte in Form einer verbesserten oralen Nahrungsaufnahme bei ungeübten Konsistenzen (Wasser und Croissant) (Weiland, Netzebandt & Frank, 2016). Ein Problem ergibt sich jedoch bei der methodischen Analyse und Interpretation solcher Therapieeffekte. Die durch die Oberflächen-Elektromyographie dargestellten Amplitudenschwankungen sind zwar ein Indikator für eine unterschiedliche Aktivierung der Zielmuskulatur. Ob diese Aktivierung im direkten Zusammenhang mit einer erhöhten muskulären Kraftentwicklung steht, ist aber unklar.

Die in den 80er und 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts entwickelten kraftbasierten Manöver und Übungen beruhen auf einer noch eher ‚peripher‘ orientierten Auffassung der Pathophysiologie bei Dysphagien, die durch die Erkenntnisse zur kortikalen Steuerung und Modulierbarkeit der Schluckfunktion in Frage gestellt wurde (z. B. Hamdy et al., 1998; Hamdy, Rothwell, Aziz & Thompson, 2000; Hamdy, Aziz, Thompson & Rothwell, 2001; Power et al., 2004; Singh et al., 2009). Effektive Schluckprozesse sind außerdem eher abhängig von Präzision und Geschwindigkeit von Bewegungen als von einer hohen Kraftentwicklung (Crary & Baldwin, 1997), zumal die funktionelle muskuläre Reserve von Gesunden beim Schlucken in keiner Weise ausgeschöpft wird (Huckabee & Macrae, 2014). Zudem zeigte sich, dass durch die Anwendung kraftorientierter Techniken eine muskuläre Tonuserhöhung und Hypertrophie (Folland & Williams, 2007) und eine unökonomische Schlucksequenz entstehen kann, die zu nasaler Regurgitation (Garcia, Hakel & Lazarus, 2004) oder auch zu einer Verstärkung der pharyngealen Dysfunktion führen kann (Bülow, Olsson & Ekberg, 1999).

Dies führte zur Entwicklung von neuen Therapiestrategien, die darauf abzielen, die Schluckaktivität im Hinblick auf eine koordinierte zeitliche Aktivierung und Bewegungsauslenkung zu rehabilitieren.

Dies wird in der Literatur als ‚skill-training‘ bezeichnet, ein Begriff der sich nur unzureichend mit ‚koordinations- bzw. geschicklichkeitsbasiert‘ ins Deutsche übersetzen lässt. Daher wird im Folgenden die englische Bezeichnung ‚skill‘ verwendet, die einen Lernprozess bezeichnet, bei dem Bewegungen und muskuläre Aktivierungsmuster erlernt werden, die zu einer Verbesserung der Funktion führen, indem die Fehler, nicht aber die Bewegungen reduziert werden (Kitago & Krakauer, 2013). In Bezug auf die Schluckfunktion bedeutet ‚skill-training‘, dass die Fähigkeit zur willkürlichen zeitlichen Modulation, zur Kraftdosierung und zur Koordination der involvierten Muskelgruppen durch zielgerichtete, zeitlich-räumlich orientierte Aufgabenstellungen verbessert werden sollen (Huckabee, 2016). Im Gegensatz zur Visualisierung von eindimensionalen Trainingsschwellen bei kraftorientierten Ansätzen (siehe Abb. 1) wird bei der ‚skill‘-orientierten Therapie ein zweidimensionales Ziel für den Patienten gut sichtbar auf einem Bildschirm erzeugt. Mit der Therapiesoftware „BiSSkiT – Biofeedback in Strength and Skill Training“ (University of Canterbury, Rose Centre for Stroke Recovery and Research) steht hierfür seit kurzer Zeit erstmals ein Softwarepaket zur Verfügung. Im BiSSkiT-Programm ist das Bewegungsziel beispielsweise ein farbiges Quadrat (vgl. Abb. 2). Der Patient wird aufgefordert, mit seinem Schluck (bzw. mit der den Schluck visualisierenden Plotlinie) genau in das Zielquadrat zu treffen. Ein erfolgreicher Schluck ist dabei ein zeitgerecht ausgelöst und adäquat kraftdosierter Schluck, der in das Zielquadrat trifft, nicht aber darüber hinausgeht. Der Erfolg/Misserfolg wird dem Patienten visuell oder akustisch rückgemeldet; dieses Feedback wie auch die Visualisierung des Zielreizes kann im Verlauf auch ausgeblendet werden, um durch den systematischen Einsatz eines verzögerten Feedbacks das motorische Lernen weiter zu unterstützen (siehe Kap. 3) (Maas et al., 2008; Robbins et al., 2008). Eine definierte Anzahl von Fehlversuchen führt zudem zu einer automatischen individuellen Anpassung des Zielquadrats in Form einer vereinfachten Aufgabenstellung (z.B. durch eine statische Position auf der Zeitachse oder ein vergrößertes Zielquadrat).

Die komplexe Koordination des Trainingsschlucks wird beim ‚skill‘-Training im BiSSkiT-Programm also in Bezug auf die zeitliche Koordination der willkürlichen Schluckinitiation durch die Position des Quadrates auf der x-Achse (Zeitachse) moduliert, während die erforderliche Bewegungsauslenkung und präzise muskuläre Aktivierung durch die Größe des Quadrates orientierend an der y-Achse (Bewegungsamplitude) vorgegeben wird. Beide Parameter werden, wie auch in kraftorientierten Protokollen, durch eine tagesaktuelle Baselinemessung individuell an die Tagesform und den Trainingsstand des Patienten angepasst.



*Abbildung 2. Erfolgreicher Speichelschluck (links):* koordinierte Schluckinitiation und Bewegungsauslenkung. *Nicht erfolgreicher Schluck (rechts):* Schluckinitiation zu früh und mit zu großer Amplitude im sEMG-Biofeedback-Programm ‚BiSSkiT – Biofeedback in Strength and Skill Training‘ (Rose Centre for Stroke Recovery and Research, University of Canterbury, Christchurch, NZ).



Für die Arm- und Handfunktion konnte bereits gezeigt werden, dass ‚skill‘-orientierte Trainingsformen zu anhaltenden Veränderungen bewegungsspezifischer Areale im motorischen Kortex führen können (Karni et al., 1995). In einer weiteren Studie zeigte sich ein Anstieg motorisch evozierter Potentiale bzw. der kortikospinalen Aktivierbarkeit, die in einer vergleichbaren Gruppe nach kraftorientiertem Training nicht nachweisbar war (Jensen, Marstrand & Nielsen, 2005). Hinweise auf die Wirksamkeit des ‚skill‘-Trainings in der Dysphagietherapie geben eine Studie von Athukorala, Jones & Sella (2014) und eine eigene Einzelfallstudie zur Anwendung des BiSSkiT-Programms als Biofeedbackinstrument (Loppnow et al., 2016). In beiden Studien konnten nach einer kurzen intensiven Therapie über 2 respektive 3 Wochen signifikante Transfereffekte in Form von Verbesserungen des oralen Ernährungsstatus gezeigt werden.

### 3 Biofeedback und motorisches Lernen

Biofeedback-Methoden sind keine eigenständige Therapiemethode im eigentlichen Sinne, sondern eine Vermittlungstechnik, die im Rahmen einer Therapie eingesetzt wird, deren Aufbau und Ablauf sich an Prinzipien des motorischen Lernens (PML) und der Neuroplastizität orientiert (Kleim & Jones, 2008; Maas et al., 2008; Robbins et al., 2008). Daher kann die Wirksamkeit der Faktoren Biofeedback vs. PML in den bisher hierzu publizierten Therapiestudien bei der Interpretation der Ergebnisse nicht klar getrennt werden.

Biofeedback-gestützte Therapien werden in der Regel als Intensivtherapiephasen über einen kurzen Zeitraum mit möglichst täglichen oder mehrmals täglichen Übungseinheiten durchgeführt. Diese Vorgehensweise berücksichtigt das Prinzip der ‚Intensität‘, demzufolge die Mechanismen der Neuroplastizität durch eine hohe Übungintensität unterstützt werden, vor allem dann, wenn die Übungen aufgabenspezifisch ausgewählt werden (Prinzip der ‚Spezifität‘) (Kleim & Jones, 2008; Robbins et al., 2008; Teasell & Kalra, 2004).

Eine unterstützende Rolle beim motorischen Lernen spielt darüber hinaus die Modulation des externen (Bio-)Feedbacks. Als externes Feedback („augmented feedback“) wird jede Art von Rückmeldung über die Zielbewegung bezeichnet, die zusätzlich zum intrinsischen (eigenen) sensomotorischen Feedback des Patienten bei Ausführung der Zielbewegung gegeben wird. Dabei wird unterschieden zwischen ausführungsorientiertem Feedback („knowledge of performance“, KP), also einer Rückmeldung über die Art und Qualität der Bewegung, und ergebnisorientiertem Feedback („knowledge of results“, KR), das nach der Bewegungsausführung eine Rückmeldung über den Erfolg der Bewegung im Hinblick auf das Bewegungsziel gibt. Beide Feedbackformen können das motorische Lernen unterstützen, indem sie die Möglichkeit bieten, den Bewegungsablauf bei der nächsten Bewegung entsprechend zu verändern und ggf. Fehler zu korrigieren, wobei ausführungsorientiertes Feedback vor allem dann wirksam zu sein scheint, wenn der Bewegungsablauf noch unbekannt ist (Maas et al., 2008; Newell, Carlton & Antoniou, 1990). Die hier beschriebenen sEMG-Biofeedbackverfahren, unabhängig davon ob ein kraft- oder ‚skill‘-Training angewendet wird, visualisieren die Bewegungsaktivität des Patienten sowohl ausführungsorientiert (der Patient sieht den Verlauf der sEMG-Kurve), als auch ergebnisorientiert (der Patient sieht, ob die Kurve einen bestimmten Zielpunkt erreicht). Die visuellen Hilfestellungen (dynamische Plotlinie bzw. Zielreize) können nach dem Erwerb des grundlegenden Bewegungsablaufs auch ausgeblendet oder abgedeckt werden, um ein verzögertes Feedback zu geben (siehe Kap. 2.2). Positive Effekte von verzögertem Feedback auf das motorische Lernen wurden für die Sprechmotorik (Austerman Hula, Robin, Maas, Ballard & Schmidt, 2008) und die koordinative Handmotorik gezeigt (Swinnen, Walter, Lee & Serrien, 1993). Diese positiven Effekte stehen vermutlich im Zusammenhang damit, dass die ‚Übenden‘ hierdurch den Übergang vom externen zum intrinsischen (eigenen sensomotorischen) Feedback vollziehen können, indem sie den Erfolg ihrer Bewegung selbst anhand ihrer propriozeptiven oder kinästhetischen Wahrnehmung beurteilen. Dies kann noch dadurch unterstützt werden, dass der Patient explizit zur eigenen Beurteilung

seiner Bewegung aufgefordert wird, bevor ein externes Feedback gegeben wird (Guadagnoli & Kohl, 2001; Swinnen et al., 1993).

## 4 Zusammenfassung

Zusammenfassend bietet sich mit dem Einsatz von sEMG-Biofeedbackmethoden eine Möglichkeit, die Behandlung sensomotorisch bedingter Beeinträchtigungen der Sprech- und Schluckfunktion effektiv zu unterstützen. Diese wurden in der Vergangenheit in Therapiemethoden erfolgreich eingesetzt, die eine Verbesserung der Bewegungsintensität (kraftbasierte Therapiemethoden) und auch der Bewegungskoordination („skill“-basierte Methoden) zum Ziel haben. Die Effektivität dieses Vorgehens für die Rehabilitation der Extremitätenmotorik, aber auch der Sprech- und Schluckfunktion wurde in mehreren Studien gezeigt. Kennzeichnend für diese Studien mit erfolgreichem Einsatz der Biofeedbackmethoden ist, dass bei der Therapieplanung Prinzipien berücksichtigt wurden, die das motorische Lernen und die Neuroplastizität unterstützen können.

Der Einsatz von sEMG-Biofeedback ist kostengünstig, vom Therapeuten und Patienten leicht zu erlernen und auch von Patienten mit beeinträchtigtem Instruktionsverständnis mit geeigneten Hilfsmitteln gut umsetzbar. Die Methode ist somit gut geeignet, um über einen kurzen Zeitraum funktionell relevante Verbesserungen der Sprech- und Schluckfunktion zu erreichen. Inwieweit ein Nachweis therapiespezifischer Effekte dieser Methoden möglich ist, wird ein interessanter Fokus der weiteren Forschung in diesem Bereich sein.

## 5 Literatur

Athukorala, R. P., Jones, R. D. & Sella, O. (2014). Skill training for swallowing rehabilitation in patients with Parkinson's Disease. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95, 1374–1382.

- Austerman 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.
- Bauer, S. & Peter, S. (2009). Die Effektivität von sEMG Biofeedback beim Erlernen des Mendelsohn Manövers durch nicht-dysphagische Probanden – eine Reliabilitätsstudie. In S. Stanschus (Hrsg.), *Studien in der Klinischen Dysphagiologie (15–61)*. Idstein: Schulz-Kirchner.
- Basmaijan, J. (1981). Biofeedback in rehabilitation. A review of principles and practices. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 62* (10), 469–475.
- BiSSkiT »Biofeedback in Strength and Skill Training« <http://www.rosecentre.canterbury.ac.nz/bisskit> (letzter Abruf: 11.09.2017).
- Bogaardt, H. C. A. (2009). Der Einsatz instrumenteller Behandlungsmethoden in der Schluckrehabilitation: Eine Einführung in die Gesundheitsökonomie. In A. Hofmayer & S. Stanschus (Hrsg.), *Evidenzentwicklung in der Dysphagiologie: Von der Untersuchung in die klinische Praxis (139–149)*. Idstein: Schulz-Kirchner.
- Bogaardt, H. C. A., Grolman, W. J. & Fokkens, W. J. (2009). The use of biofeedback in the treatment of chronic dysphagia in stroke patients. *Folia Phoniatrica et Logopaedica, 61*, 200–205.
- Bülow, M., Olsson, R. & Ekberg, O. (1999). Videomanometric analysis of supraglottic swallow, effortful swallow, and chin tuck in healthy volunteers. *Dysphagia, 14*, 67–72.
- Crary, M. A. (1995). A direct intervention program for chronic neurogenic dysphagia secondary to brainstem stroke. *Dysphagia, 10*, 6–18.

- Crary, M. A. & Baldwin, B. O. (1997). Surface electromyographic characteristics of swallowing in dysphagia secondary to brainstem stroke. *Dysphagia*, *12*, 180–187.
- Crary, M. A., Carnaby Mann, G. D., Groher, M. & Helseth, E. (2004). Functional benefits of dysphagia therapy using adjunctive sEMG biofeedback. *Dysphagia*, *19*, 160–164.
- De Weerd, W. J. G. & Harrison, M. A. (1985). The use of biofeedback in physiotherapy. *Physiotherapy*, *71* (1), 9–12.
- Folland, J. P. & Williams, A. G. (2007). The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*, *37* (2), 145–168.
- Frank, U., Thonicke, M. & Netzebandt, J. (2017). Einzelfallstudie: Anwendung eines sEMG-Biofeedbackprotokolls in der Dysphagietherapie. *LOGOS: Zeitschrift für akademische Sprachtherapie und Logopädie*, *2*, 106–114.
- Garcia, J. M., Hakel, M. & Lazarus, C. (2004). Unexpected consequence of effortful swallowing: case study report. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, *12*(2), 59–66.
- Guadagnoli, M. A. & Kohl, R. M. (2001). Knowledge of results for motor learning: relationship between estimation and knowledge of results frequency. *Journal of Motor Behaviour*, *33*, 217–224.
- Hamdy, S., Aziz, Q., Rothwell, J. C., Power, M., Singh, K. D., Nicholson, D. A., ... Thompson, D. G. (1998). Recovery of swallowing after dysphagic stroke relates to functional reorganization in the intact motor cortex. *Gastroenterology*, *115*, 1104–1112.
- Hamdy, S., Aziz, Q., Thompson, D. G. & Rothwell, J. C. (2001). Physiology and pathophysiology of the swallowing area of human motor cortex. *Neural Plasticity*, *8* (1–2), 91–97.
- Hamdy, S., Rothwell, J. C., Aziz, Q. & Thompson, D. G. (2000). Organization and reorganization of human swallowing motor cortex: Implications for recovery after stroke. *Clinical Science*, *98*, 151–157.

- Hind, J., Nicosia, M. A., Roecker, E., Carnes, M. L. & Robbins, J. (2001). Comparison of effortful and noneffortful swallows in healthy middle-aged and older adults. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82 (12), 1661–1665.
- Huckabee, M.-L. (2002). Biofeedback-Monitoring zur Effektivierung der Schluckrehabilitation. In S. Stanschus (Hrsg.), *Methoden in der klinischen Dysphagiologie* (9–40). Idstein: Schulz-Kirchner.
- Huckabee, M.-L. (2016). *A paradigm expansion in rehabilitation: from strength to skill*. Vortrag beim Workshop: A change in thinking for dysphagia rehabilitation, Potsdam, Germany.
- Huckabee, M.-L. & Cannito, M. P. (1999). Outcomes of swallowing rehabilitation in chronic brainstem dysphagia: A retrospective evaluation. *Dysphagia*, 14, 93–109.
- Huckabee, M.-L., Cannito, M. P. & Kahane, J. C. (1996). Outcomes of swallowing treatment after brain stem infarct. Miniseminar beim jährlichen Treffen der American-Speech-Language-Hearing Association. Seattle, WA.
- Huckabee, M.-L., Low, I. S. & McAuliffe, M. J. (2012). Variability in clinical surface electromyography recording of submental muscle activity in swallowing of healthy participants. *Asia Pacific Journal of Speech, Language, and Hearing*, 15 (3), 175–186.
- Huckabee, M.-L. & Macrae, P. (2014). Rethinking Rehab: Skill-based training for swallowing impairment. *SIG 13 Perspectives on Swallowing and Swallowing Disorders (Dysphagia)*, 46–53. Abgerufen von <http://sig13perspectives.pubs.asha.org/article.aspx?articleid=1870506> (letzter Abruf: 11.09.2017).
- Huckabee, M.-L. & Steele, C. M. (2006). An analysis of lingual contribution to submental surface electromyographic measures and pharyngeal pressure during effortful swallow. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 87, 1067–1072.
- Hummel, K. & Frank, U. (2011). Wie wenig Schlucken ist normal? Die Schluckfrequenz bei Gesunden in Seiten- und Rückenlage. *Dysphagieforum*, 1, 15–22.

- Jensen, J. L., Marstrand, P. C. D. & Nielsen, J. B. (2005). Motor skill training and strength training are associated with different plastic changes in the central nervous system. *Journal of Applied Physiology*, *9*(4), 1558–1568.
- Kahrilas, P. J., Logemann, J. A., Krugler, C. & Flanagan, E. (1991). Volitional augmentation of upper esophageal sphincter opening during swallowing. *American Journal of Physiology*, *260*, G450–G456.
- Karni, A., Meyer, G., Jezard, P., Adams, M. M., Turner, R. & Ungerleider, L. G. (1995). Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill training. *Nature*, *377*, 155–158.
- Kitago, T. & Krakauer, J. W. (2013). Motor learning principles for neurorehabilitation. In M. P. Barnes & D. C. Good (Hrsg.), *Handbook of Clinical Neurology, Vol. 110 (3rd series)* (93–103). Amsterdam: Elsevier.
- Kleim, J. A. & Jones, T. A. (2008). Principles of experience-dependent neural plasticity: Implications for rehabilitation after brain damage. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *51*, 225–239.
- Lazarus, C., Logemann, J. A., Song, C. W., Rademaker, A. W. & Kahrilas, P. J. (2002). Effects of voluntary maneuvers on tongue base function for swallowing. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, *54*, 171–176.
- Loppnow, A., Netzebandt, J., Frank, U. & Huckabee, M.-L. (2016). Skill-Training in der Dysphagietherapie: Möglichkeiten eines patientenorientierten Vorgehens mittels sEMG Biofeedback. In A. Adelt, C. Otto, T. Fritzsche & C. Magister (Hrsg.), *Spektrum Patholinguistik 9* (241–256). Potsdam: Universitätsverlag.
- Maas, E., Robin, D. A., Austerman 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.

- Martin-Harris, B. (2008). Clinical implications of respiratory-swallowing interactions. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, *16*, 194–199.
- Newell, K. M., Carlton, M. J. & Antoniou, A. (1990). The interaction of criterion and feedback information in learning a drawing task. *Journal of Motor Behaviour*, *22*, 536–552.
- Power, M., Fraser, C., Hobson, A., Rothwell, J. C., Mistry, S., Nicholson, D. A., ... Hamdy, S. (2004). Changes in pharyngeal corticobulbar excitability and swallowing behavior after oral stimulation. *American Journal of Physiology – Gastrointestinal and Liver Physiology*, *286*, G45–G50.
- Robbins, J., Butler, S. G., Daniels, S. K., Gross, R. D., Langmore, S., Lazarus, C. L., ... Rosenbek, J. C. (2008). Swallowing and dysphagia rehabilitation: Translating principles of neural plasticity into clinically oriented evidence. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *51*, 276–300.
- Singh, S., Mistry, S., Jefferson, S., Davies, K., Rothwell, J. C., Williams, S. R. & Hamdy, S. (2009). A magnetic resonance spectroscopy study of brain glutamate in a model of plasticity in human pharyngeal motor cortex. *Gastroenterology*, *136* (2), 417–424. [doi:10.1053/j.gastro.2008.10.087](https://doi.org/10.1053/j.gastro.2008.10.087).
- Steele, C. M., Bennett, J. W., Chapman-Jay, S., Cliffe Polacco, R., Molfenter, S. M. & Oshalla, M. (2012). Electromyography as a biofeedback tool for rehabilitating swallowing muscle function. In C. Steele (Hrsg.), *Applications of EMG in clinical and sports medicine* (311–328). InTech.
- 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.
- Teasell, R. W. & Kalra, L. (2004). What's new in stroke rehabilitation. *Stroke*, *35*, 383–385.



Weiland, L., Netzebandt, J. & Frank, U. (2016). Schluckstörungen bei HNO-Tumorpatienten: Eine Einzelfallstudie zur Dysphagietherapie mithilfe des sEMG-Biofeedback Verfahrens. In A. Adelt, C. Otto, T. Fritzsche, & C. Magister (Hrsg.), *Spektrum Patholinguistik 9* (219–234). Potsdam: Universitätsverlag.

## **Kontakt**

Ulrike Frank

*ufrank@uni-potsdam.de*