

# Elektrische Stimulation in der Dysphagietherapie – Eine Übersicht

## Electric Stimulation in Dysphagia Therapy – A Review

### Autoren

R. O. Seidl<sup>1</sup>, H. Nahrstaedt<sup>2</sup>, T. Schauer<sup>2</sup>

### Institute

<sup>1</sup> UKB, Klinik für Hals-Nasen-Ohrenkrankheiten, Berlin

<sup>2</sup> Fachgebiet Regelungssysteme, Technische Universität, Berlin

### Schlüsselwörter

- elektrische Stimulation
- Schlucken
- Dysphagie
- Therapie

### Key words

- electric stimulation
- swallowing
- dysphagia
- therapy

### Zusammenfassung

Seit einigen Jahren besteht ein vermehrtes Interesse an der elektrischen Stimulation in der Behandlung von Schluckstörungen. In der vorliegenden Arbeit werden die anatomischen

und physiologischen Voraussetzungen für die heute bekannten Verfahren vorgestellt. In einer kritischen Analyse werden der derzeitige Forschungsstand dargestellt, die klinischen Ergebnisse kritisch geprüft und die Perspektiven für die Zukunft untersucht.

### Einleitung

Im Verlauf der letzten vier Jahrzehnte wurde es durch die Fortschritte in der Mikrosystemtechnik möglich, Neuroprothesen für eine Vielzahl von Indikationen zu entwickeln. Einzelne Implantate, wie das Cochleaimplantat oder Implantate zur Steuerung der Blasen­tätigkeit bei einer neurogenen Blasenentleerungsstörung sind heute bereits in den klinischen Alltag integriert. Auch Implantate für die Steuerung von Extremitäten werden zunehmend eingesetzt. Im Rahmen dieser Entwicklung ist ein zunehmendes Interesse an dem Einsatz einer elektrischen Stimulation oder Neuroprothese in der Dysphagietherapie entstanden. Die vorliegende Arbeit beschreibt die heute diskutierten Strategien und fasst die bekannten Ergebnisse zusammen, um eine Bewertung der Therapieansätze zu ermöglichen und einen Ausblick in die Zukunft zu geben.

Der Schlaganfall stellt mit 25% die häufigste Ursache für alle Dysphagien dar [3]. In England ist jährlich mit 30 000 neuen Patienten mit einer Schluckstörung nach einem Hirninfarkt [4, 5] zu rechnen. Dabei kann es sich sowohl um Ischämien als auch um Blutungen handeln. Innerhalb von zwei Wochen nach dem Krankheitsereignis leiden 41% der Patienten an Symptomen einer Schluckstörung, in der chronischen Phase 16%. Trotz intensiver Bemühungen besteht weiterhin eine hohe Gefährdung für Patienten mit einer Schluckstörung, Johnson [6] berichtet 1993 von über 48% Aspirationspneumonien innerhalb eines Jahres nach einer akuten zerebrovaskulären Erkrankung.

Die zweithäufigste Ursache für eine Schluckstörung ist das Schädel-Hirntrauma. In der Akutphase ist ein großer Teil der Patienten nicht zur oralen Nahrungsaufnahme fähig. Nach einem Jahr im chronischen Stadium bzw. in der Rehabilitation werden in 10–14% Schluckstörungen angegeben [7, 8].

### Dysphagie

Die Inzidenz von Schluckstörungen ist hoch und bedeutet für den betroffenen Patienten in vielen Fällen eine akute Gefährdung seines Lebens. In den USA liegt der Anteil von Patienten mit einer Schluckstörung in Akutkrankenhäusern bei ca. 14%, in Pflegeheimen bis zu 50% [1]. Bei den über 65-jährigen ist die Aspirationspneumonie die vierthäufigste Todesursache in den USA [2].

### Neurophysiologie des Schluckens

Die zentrale Steuerung der Schluckabläufe erfolgt über Schluckzentren im Hirnstamm („pattern generators“), diese werden einerseits durch olfaktorische, gustatorische und visuelle Reize, andererseits durch das Hungergefühl stimuliert und durch höhere suprabulbäre Zentren moduliert. So werden ein (oder mehrere) pontine, ein

### Bibliografie

DOI 10.1055/s-0029-1237350  
Laryngo-Rhino-Otol 2009; 88:  
768–774 © Georg Thieme  
Verlag KG Stuttgart · New York  
ISSN 0935-8943

### Korrespondenzadresse

**Dr. Rainer Ottis Seidl**  
Unfallkrankenhaus Berlin  
Klinik für Hals-Nasen-  
Ohrenkrankheiten  
Warenstraße 7  
12683 Berlin  
ROSeidl@AOL.COM

Verantwortlich für diese Rubrik: Prof. Dr. A. Dietz

pontino-medulläres und zwei bulbäre Schluckzentren in der *Formatio reticularis* postuliert [9], die bereits bei der Geburt aktiviert sind. Die „pattern generators“ der oralen und pharyngealen Phase sind wahrscheinlich identisch, für die ösophageale Phase wird ein bulbäres Schluckzentrum zwischen dem *Nucleus tractus solitarius* und dem *Nucleus dorsalis n. vagus* vermutet. Wesentlich für den Schluckerfolg ist das intakte Zusammenspiel der Schluckzentren mit motorischen und sensiblen Hirnnervenkerngebieten und Hirnnervenfasern [10].

Elektromyografische Messungen der Muskulatur im Bereich des Pharynx und Ösophagus zeigen, dass eine somatotopie Repräsentation existiert, die eine Hemisphärendifferenz unabhängig von der Händigkeit aufweist [11] und asymmetrisch ist [12]. Die Übertragung auf die Muskulatur erfolgt durch fünf Hirnnervenpaare (*N. trigeminus V*, *N. Facialis VII*, *N. glossopharyngeus IX*, *N. vagus X*, *N. hypoglossus XII*) und 3 Zervikalnerven, die den *Plexus cervicalis* bilden. Sie sind notwendig, um die erforderlichen Afferenzen und Efferenzen für den Schluckvorgang zu gewährleisten, der in vier Phasen unterteilt wird [13].

Die orale Phase des Schluckens ist willkürlich steuerbar. Die Nahrung wird aufgenommen, auf das vordere/mittlere Zungendrittel gebracht und über spezifische Rezeptoren hinsichtlich Geruch, Geschmack, Temperatur und Volumen geprüft. Feste und halb feste Speisen werden zerkleinert, mit Speichel vermischt und zu einem Bolus formiert, den die Zunge am Ende der Kauphase im vorderen bis mittleren Gaumenbereich in der sog. Zungenschüssel umschlossen hält und anschließend durch die Mundhöhle in Richtung Rachen transportiert. Das durchschnittliche Bolusvolumen beträgt 5–20 ml.

Die komplexe pharyngeale Phase beginnt mit der Auslösung der Schluckreaktion, endet mit der Öffnung des oberen Ösophagus sphinkters und dauert 0,7–1 s. Sie ist nicht willkürlich steuerbar. In dieser Phase kommt es zu einer Raumerweiterung des Pharynx für die Boluspassage, zum Druckaufbau zur Förderung des Bolustransports und zum Verschluss der Atemwege als Schutz vor Aspiration. Durch eine schnelle kolbenartige Bewegung der Zunge gelangt der Bolus in den Hypopharynx. Peristaltische Bewegungen der Pharynxwand begünstigen die Kolbenfunktion der Zunge. In Abhängigkeit vom Bolusvolumen wird durch Kontraktion der suprahyoidalen Muskulatur Zungenbein und Kehlkopf nach oben bewegt. Die Bewegung bewirkt eine Raumerweiterung im Hypopharynx, eine Positionierung des Larynx unter der Zungenwurzel zum Schutz vor Aspiration, eine verbesserte Epiglottiskippung und die Öffnung des pharyngoösophagealen Segments. Zum Schutz vor einer Aspiration erfolgt der Larynxverschluss in 3 Etagen: Annäherung oder Schluss der Stimmlippen, vertikale Annäherung der adduzierten Aryhöcker an die Basis der Epiglottis und Epiglottiskippung zum Verschluss des Larynx. Der Epiglottisschluss wird durch den Bolusdruck von oben, den Muskelzug der aryepiglottischen Muskeln nach unten und den kombinierten Druck durch die Zungenrückwärtsbewegung und Larynx elevation ermöglicht. Die Öffnung des oberen Ösophagus sphinkters wird durch die anterior-superiore Bewegung von Zungenbein und Larynx möglich. Die pharyngeale Phase endet, sobald der Bolus den oberen Ösophagus sphinkter erreicht hat. Das pharyngo-ösophageale Element, Velum, Zunge, Hyoid und der wieder geöffnete Larynx kehren in ihre Ausgangsposition zurück. Die ösophageale Phase beginnt mit Schluss des pharyngo-ösophagealen Segmentes und dauert in etwa 8–20 s. Der Bolustransport erfolgt mittels primärer, vom Schluckreflex ausgelöster peristaltischer Wellen und sekundär durch lokale Dehnungsreize.

## Dysphagietherapie



Für Dysphagien unterschiedlicher Genese kommen heute verschiedene therapeutische Ansätze zum Einsatz. Neben unterstützenden Maßnahmen, wie die diätetische Anpassung der Nahrungskonsistenzen, sind in Fällen einer ausgeprägten Schluckstörung zur Verhinderung oder Minimierung von Komplikationen chirurgische Maßnahmen wie eine Tracheotomie oder die Anlage einer PEG notwendig. Weitergehende Maßnahmen wie der operative Verschluss des Kehlkopfes oder die Laryngektomie gehören nicht zum Standard und sind nur Ausnahmefällen vorbehalten.

Die konservativen Dysphagietherapien lassen sich grob in zwei Ansätze unterteilen. Sensorische Maßnahmen (Kälte, Wärme, Geschmack usw.) sollen die Auslösung, die Koordination oder der Umfang eines Schluckvorgangs verändern. Dazu erfolgt im äußeren und/oder inneren Mundbereich eine Stimulation mit sensorischen Stimuli. Motorische Maßnahmen sollen durch eine Änderung der Körperposition, Haltung (Kopfwendung), unterstützenden Bewegungen (z.B. Shaker-Manöver) oder Handlungen (z.B. Masako-Manöver) beim Schluckvorgang die Passage der Nahrung durch den Rachen in die Speiseröhre erleichtern oder möglich machen und eine Aspiration vermindern oder verhindern. Vorbereitet und unterstützt werden die motorischen Maßnahmen durch kräftigende Übungen, die sich insbesondere mit der Bewegung der Zunge beschäftigen. Motorische Verfahren kommen insbesondere bei isolierten Störungen z.B. nach Operationen zum Einsatz, sensorische Maßnahmen werden bei neurologischen Erkrankungen eingesetzt, die mit Veränderungen der Wahrnehmung einhergehen. Bei schweren neurologischen Erkrankungen kommen heute zunehmend komplexe Therapieverfahren (F.O.T.T.) [14] zum Einsatz.

Bis heute liegen nur vereinzelt Studien zum Effekt konservativer Therapiemaßnahmen vor. Vergleichende Untersuchungen der Therapieverfahren mit größeren Populationen fehlen gänzlich. Darüber hinaus sind die der Therapie zu Grunde liegenden physiologischen Prinzipien bisher erst in den Ansätzen untersucht und verstanden. Dies erschwert die Bewertung und Weiterentwicklung der Therapiemaßnahmen, sodass ein eindeutiger Beweis für den positiven Einfluss der konservativen Therapien bis zum heutigen Zeitpunkt aussteht.

## Grundlagen der Elektrostimulation



Eine elektrische Stimulation kann als gerichtete Applikation definierter Stromimpulse auf Gewebe, z.B. auf einen Muskel oder ein Hautareal, beschrieben werden. Ziel einer elektrischen Stimulation kann z.B. die Auslösung einer Muskeltätigkeit, die Tonusänderung einer Muskelgruppe oder die Anregung von sensiblen Arealen sein. Dabei kann zwischen verschiedenen Arten der Elektrostimulation unterschieden werden.

Bei der *sensorischen Stimulation/Neuromodulation* wird versucht, durch einen Eingriff in die sensorischen Regelkreise eine Änderung der motorischen Antwort zu erhalten. Dies kann zur Verstärkung afferenter Reize, zum Muskelaufbau oder zur Spastikreduktion erfolgen. Dieses Verfahren hat inzwischen insbesondere Eingang in die Schmerztherapie (TENS) gefunden.

Bei der *motorischen Stimulation* werden elektrische Reize verwendet, um Muskelkontraktion auszulösen. Die Erzeugung funktioneller Bewegungen wird dabei als funktionelle Elektrostimulation (FES) bezeichnet. Unter Elektrotherapie versteht

man in der Regel eine repetitive, nicht funktionsgebundene, elektrische Stimulation zum Training und Aufbau von atrophierten Muskeln. Diese kann gegebenenfalls EMG-getriggert sein.

Bei *innervierten Muskeln* (intaktes unteres Motoneuron) erfolgt die Auslösung einer Muskelkontraktion durch Reizung des den Muskel versorgenden Nervens. Bei der dieser sogenannten *indirekten* Muskelstimulation wird eine elektrische Feldstärke mit genügend starken Gradienten an einem Nerv erzeugt, um ein Aktionspotenzial auszulösen. Dieses Aktionspotenzial pflanzt sich zur motorischen Endplatte und löst dort ebenfalls ein Aktionspotenzial aus, das zu einer Kontraktion des Muskels führt. Diese Methode der Muskelstimulation wird auch als Neuromuskuläre Elektrostimulation (NMES) bezeichnet.

Bei *denervierten Muskeln* müssen die Muskelfasern direkt gereizt werden, um Muskelkontraktionen auslösen zu können (direkte Muskelstimulation). Hierfür sind jedoch stärkere Stimulationsimpulse notwendig als bei der Nervenstimulation.

Beide motorischen Stimulationen führen zu einer sensorischen Reizung, da durch eine Muskelkontraktion Muskelaferenzen aktiviert werden. Dabei kann die Elektrostimulation mit Oberflächenelektroden über die Haut oder mit implantierten Elektroden erfolgen. Die wohl erfolgreichste und bekannteste Anwendung implantierter FES ist der Herzschrittmacher.

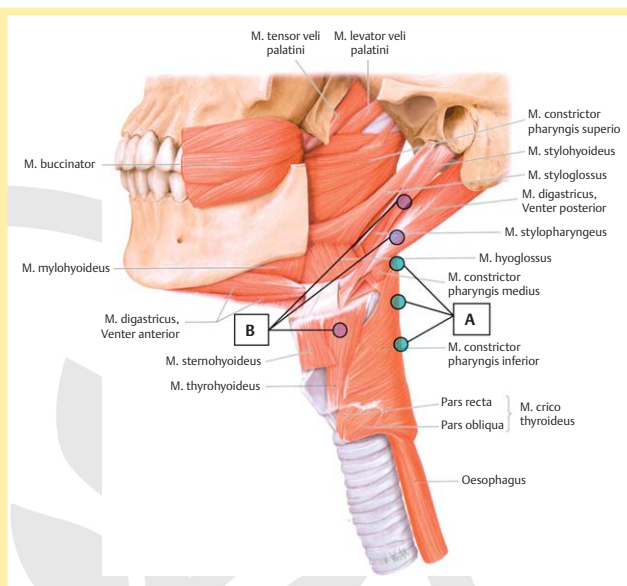
Die FES hat einen direkten prothetischen Effekt und wird zur Wiederherstellung verloren gegangener motorischer Funktionen eingesetzt. Bei wiederholter Anwendung der FES kann ein motorisches Lernen durch die mit der Stimulation verbundenen Reize gefördert werden, sodass unter günstigen Umständen der Patient die stimulierte Funktion zunehmend alleine ausführen kann.

Mit einer Neuromodulation und Elektrotherapie können positive Voraussetzungen für eine Rehabilitation geschaffen werden. Diese Verfahren werden aus diesem Grund meist in Kombination mit Standardtherapieverfahren eingesetzt. So kann eine sensorische Stimulation zur Erhöhung der kortikalen Erregbarkeit führen. Es können Spastiken gelöst und der Muskeltonus reduziert werden sodass weitergehende rehabilitative Maßnahmen möglich werden. Diese Effekte halten nach der Stimulation für eine begrenzte Zeit (bis zu 1 Stunde) an.

Für die Ergebniskontrolle der Stimulationsverfahren stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Während bei der funktionellen Stimulation die direkte Muskelaktivität und der Erfolg der ausgelösten muskulären Aktion gemessen werden können, gestaltet sich der Nachweis eines Effektes bei der Neuromodulation aufwendiger. Ausgehend von der Theorie, dass durch die Stimulation zentrale Regionen verändert werden, wird nach diesen Veränderungen gefahndet. Der Nachweis kann gelingen z. B. durch das Funktion-MRT (fMRT), das PET oder durch die Detektierung einer Änderung der motorischen kortikalen Areale nach einer repetitiven transkraniellen magnetischen Stimulation (rTMS). Für den Nachweis eines therapeutischen Effektes sind natürlich klinische Studien erforderlich.

## Neuromodulation

Die Stimulation oraler und pharyngaler Areale in der Dysphagie-therapie wird seit langem diskutiert. Zum Einsatz kommen vor allem mechanische, thermische und gustatorische Stimulationen und in einigen Studien elektrische Stimuli. Chi-Fishman [15] untersuchte 1994 die Möglichkeiten mit einer mecha-



**Abb. 1** Durch eine pharyngeale elektrische Stimulation nach Hamdy [12] wird durch eine Neuromodulation eine Anregung der kortikalen Areale erreicht (A). Durch die intramuskuläre Stimulation der suprahyoidalen Muskulatur nach Burnett [30] kommt es zu einer Larynxelavation (B).

nischen, thermischen und elektro-thermischen Stimulation bei 4 Katzen einen Schluckvorgang auszulösen. Die elektro-thermische Stimulation führte dabei zu den besten Ergebnissen. Es wurde in der Arbeit darauf verwiesen, dass alleine durch eine solche Stimulation ein Schluckvorgang ausgelöst werden konnte. In einer Pilotuntersuchung stimulierte Park [16] elektrisch den Gaumen von 4 Patienten. Für die Stimulation wurde eine modifizierte Oberkieferprothese genutzt. Bei 2 von 4 Patienten mit einer chronischen Aspiration nach einem Hirninfarkt konnte danach eine Besserung des Schluckvorgangs beobachtet werden. Weitere Untersuchungen zur Triggerung des Schluckvorgangs am Gaumen wurden von Power durchgeführt. Power [17] untersuchte den Effekt einer einseitigen Stimulation des Gaumens mit 0,2, 1 und 5 Hz. Gemessen wurden die Änderung der kortikalen Repräsentation sowie die Bolustransitzeiten in der Videofluoroskopie. Dabei konnte gezeigt werden, dass eine Stimulation mit 0,2 Hz eine stimulierende Wirkung hatte, eine Stimulation bei 5 Hz jedoch zu einer Hemmung der kortikalen Erregbarkeit führte.

Für eine Stimulation des Rachens wurde in verschiedenen Studien eine intraluminale bipolare Ringelektrode in einem Katheter genutzt, der transnasal eingeführt wurde (• **Abb. 1**). Dabei wird sowohl die Rachenhinterwand als auch die Zungenbasis stimuliert. Hamdy [12] konnte mit der Pharynxstimulation nachweisen, dass der pharyngeale Schluckvorgang, obwohl er bilateral im ZNS repräsentiert ist, eine dominante Seite besitzt, die unabhängig von der Händigkeit ist. In weiteren Untersuchungen zeigte sich, dass es bei der Rückbildung einer klinisch manifesten neurogenen Schluckstörung zu einer Vergrößerung der kortikalen Schluckregion der nicht betroffenen Gegenseite kommt [12]. Eine zeitlich verlängerte elektrische Stimulation des Pharynx mit Elektroden führte, im Gegensatz zu Einzelstimulationen einzelner Hirnnerven, zu einer anhaltenden Veränderung der kortikalen Repräsentation [18, 19]. Es wurde vermutet, dass es zu einer verkürzten Rehabilitationsphase nach einem Hirnin-

farkt kommen kann, wenn dieser Vorgang reproduzierbar ist [20]. Diese Überlegungen haben Eingang in eine kurzzeit laufende klinische Studie der Autoren gefunden, bei der Patienten mit einer neurogenen Dysphagie und verminderten Hebung des Kehlkopfes behandelt werden. Die ersten Ergebnisse erscheinen vielversprechend.

Fraser [21] untersuchte die Wirkungen von Veränderungen der Stimulationsfrequenz (1, 5, 10, 20, 40 Hz) mit einer Pulsdauer von 0,2 ms, Intensität (25, 50 und 75 % der Maximaltoleranz) und Dauer (bis zu 150 min) einer pharyngealen Stimulation. Gemessen wurden kortikale Veränderungen im fMRT und durch rTMS. Es konnte gezeigt werden, dass die elektrische Stimulation zu einer Reorganisation der durch einen Schlaganfall veränderten kortikalen motorischen Areale führt. Dabei war die Veränderung von den Stimulationsparametern abhängig. Eine Stimulierung bei 10, 20 und 40 Hz führte zu einer Hemmung der kortikalen Areale und Verzögerungen bei dem Start des Schlucks. Die Daten stimmen mit der bereits erwähnten Untersuchung von Power [22] überein, die ebenfalls zeigen konnte, dass elektrische Stimulationen nicht in jedem Fall zu positiven Änderung beim Schluckvorgang führen. Die Untersuchungen zeigen, dass weitere Studien das Dosis-Wirkungsverhältnis und die Antwortdauer nach einer elektrischen Stimulation genauer ermitteln müssen, um zielführende Ansätze für eine Therapie zu erarbeiten [23].

### Funktionelle Elektrostimulation

Derzeit konzentrieren sich die Strategien einer funktionellen Elektrostimulation bei Schluckstörungen auf das Ziel, eine Aspiration zu vermindern oder zu vermeiden. Dabei wurden bisher vor allem zwei Strategien untersucht. Es soll durch eine Stimulation der inneren Kehlkopfmuskeln der Glottisschluss oder durch eine Stimulation der äußeren Kehlkopfmuskeln die Kehlkopfhebung verbessert werden.

### Verbesserung des Glottisschlusses

Zum Schutz der unteren Atemwege kommen, wie bereits beschrieben, bei einem normalen Schluck verschiedene Mechanismen zum Einsatz. Dazu gehört der Verschluss der Stimmlippen, der eine Aspiration verhindern soll. Obwohl bei einem gesunden Probanden dieser Mechanismus nicht in jedem Fall vorhanden ist, wird diese Methode z. B. in der Behandlung von Schluckstörungen nach der Entfernung des Kehldeckels im Rahmen von Schluckmanövern eingesetzt (z. B. kräftig Schlucken oder supra-glottisches Schlucken).

Broniatowski [24] stellte 1993 erstmals ein theoretisches Modell für eine Neuroprothese bei Schluckstörungen vor. Dabei sollten Sensoren an den peripheren Nerven die Triggerung und Steuerung des Schluckvorgangs übernehmen. Zentrale Bedeutung für den Aspirationsschutz wurde in diesem Modell und in den weiteren Arbeiten der Kehlkopfhebung und dem Verschluss der Stimmlippen beigemessen. 1994 beschrieb Broniatowski [25] Versuche an fünf Hunden, bei denen über die Nn recurrentes der Stimmbandschluss ausgelöst wurde. Für die Steuerung der Stimulation wurden die Aktivitäten der Ansacervicalis genutzt, die die infrahyoidale Muskulatur versorgt. Der koordinierte Stimmlippenschluss während des Schluckvorgangs gelang bei drei von fünf Versuchstieren. In einer Folgestudie wurde der Versuchsauf-

bau erweitert und bei drei Hunden die Möglichkeit geprüft, einen Stimmlippenschluss und eine Relaxation der crico-pharyngealen Muskulatur durch eine direkte elektrische Stimulation der versorgenden Nerven zu erzeugen [26]. Reproduzierbar kam es zu einer Relaxation der crico-pharyngealen Muskulatur. Um eine differenziertere Steuerung des Stimmlippenschluss zu erreichen, prüfte Broniatowski [27] 1997 bei 5 Hunden die Möglichkeit, mit abgestuften elektrischen Reizen die Bewegung der Stimmlippen zu steuern. Durch die Platzierung der Elektroden an den Nerven kam es jedoch immer wieder zu Narbenbildungen, die eine dauerhafte Stimulation erschwerten. Ludlow [28] setzte die Untersuchungen fort und berichtete 2000 über einen Langzeitversuch über 8 Monate an 6 Kaninchen, durch eine Stimulation des M. arytenoideus einen Verschluss der Glottis zu erreichen. Dabei wurden kurzzeitige Stimulationsimpulse benutzt, um Veränderungen an den Muskeln und Nerven durch die elektrische Stimulation zu vermeiden, was auch gelang. In einer Fallstudie von Broniatowski wurde dann 2001 über ein teilimplantierbares System berichtet, das durch eine manuelle Triggerung der Nn. recurrentes bei zwei Patienten mit einer chronischen Aspiration und Tracheotomie zu einer signifikanten Reduktion der Aspiration führte.

Um die Möglichkeiten einer transkutanen Stimulation für die Änderung der Stimmbandbewegung zu prüfen, versuchte Humbert [29] eine Änderung der Stimmbandposition durch eine transkutane Elektrostimulation auf dem Kehlkopfskelett zu erreichen. Geprüft wurde ein handelsübliches Stimulationsgerät (Vital Stim<sup>®</sup>, Chatanooga Group). In den endoskopischen Kontrollen konnte keine Änderung der Stimmbandposition während der Stimulation gefunden werden.

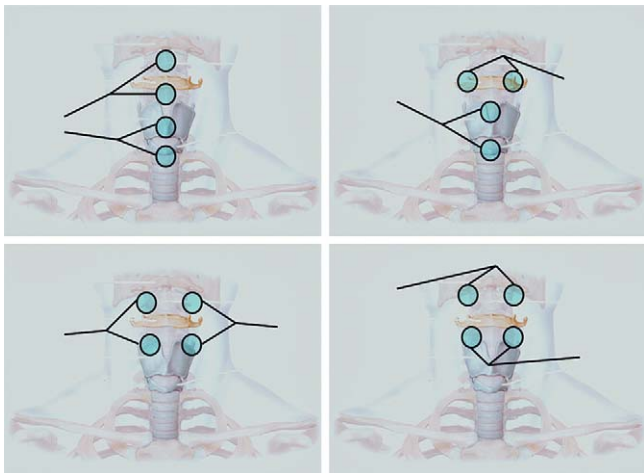
### Verbesserung der Kehlkopfhebung

Zentrale Bedeutung beim Schluckvorgang hat die Hebung des Kehlkopfes. Zum einen wird der Kehlkopfeingang bei der Hebung durch die Annäherung an den Zungengrund passiv verschlossen, zum anderen ist die Hebung Voraussetzung für die Öffnung des oberen Ösophagusphinkters. Für die Verbesserung der Kehlkopfhebung wurden bisher sowohl intramuskuläre als auch transkutane Verfahren geprüft.

### Intramuskuläre Elektrostimulation

Die Arbeitsgruppe um Burnett versucht eine Neuroprothese zu entwickeln, die die Kehlkopfhebung während des Schluckvorgangs bei Patienten verbessert. In einer ersten Studie von Burnett [30] wurden die Ergebnisse einer Stimulation einzelner und mehrerer supra-laryngealer Muskeln auf die Kehlkopfhebung geprüft (siehe **Abb. 1**). Untersucht wurde eine Gruppe von 15 gesunden männlichen Probanden, gemessen wurde das von außen sichtbare Ausmaß der Kehlkopfhebung. Die elektrische Stimulation erfolgte mit bipolaren Nadelelektroden über den M. geniohyoideus, M. mylohyoideus und M. thyrohyoideus. Für die Stimulation wurden biphasische 200 µs-Reize genutzt. Die Stimulation erfolgte für 1–2 s bei 30 Hz. Es konnte gezeigt werden, dass die bilaterale Stimulierung des M. mylohyoideus und/oder M. thyrohyoideus zu einer Kehlkopfhebung führte, die 50–80 % des Umfangs hatte, der bei einem normalen Wasserschluckversuch auftrat.

Für die Entwicklung eines Implantates stellt die Festlegung des Triggerzeitpunktes im Schluckvorgang eine besondere Herausforderung dar. In einer Untersuchung mit gesunden Probanden



**Abb. 2** Stimulationsstrategien in der Elektrostimulation nach Freed [32]. Die Stimulation erfolgt über zwei Kanäle. Standardanwendung ist die Stimulation in der Mittellinie. Stimuliert wird bei für den Patienten noch tolerabler Intensität mit 80 Hz.

wurde die Möglichkeit einer manuellen Stimulationstriggerung geprüft [31]. Es zeigte sich, dass eine manuelle Triggerung der Stimulation gut mit den Ergebnissen einer EMG-Messung korrelierte. Derzeit werden Messsysteme gesucht, die es ermöglichen, den Zeitpunkt und das Ausmaß der für einen Kehlkopfschluss notwendigen Stimulation zu bestimmen. In verschiedenen Experimenten und Patienten werden Beschleunigungssensoren, EMG-Signale und Analysen des Schluckgeräusches geprüft.

### Transkutane Elektrostimulation

Das zurzeit am intensivsten diskutierte elektrische Stimulationsgerät in der Dysphagietherapie ist das von Marcy Freed entwickelte Gerät, das unter dem Namen VitalStim® (Chatanooga Group; USA) vermarktet wird. Stimuliert wird bei diesem Verfahren mit vier kutanen Elektroden, die in Höhe des Hyoids und unterhalb oder in der Mittellinie über dem Larynx angebracht werden (siehe **Abb. 2**). Auf diese Weise soll der vordere Bauch des M. digastricus und der M. thyroideus stimuliert werden. Die Pulsfrequenz ist festgelegt und beträgt 80 Hz mit einer Impulslänge von 300  $\mu$ s. Die Intensität kann individuell zwischen 2,5 und 25 Milliampere je nach der Toleranz des Patienten eingestellt werden. Die Stimulation erfolgt wiederholend für 55 s mit einer Pause von 5 s. Es wird vom Hersteller empfohlen, Patienten für 60 min bei maximal tolerabler Intensität zu stimulieren. In einer ersten Vergleichsstudie mit Patienten verschiedener Dysphagieätiologien wurden die Ergebnisse der Stimulation mit den Ergebnissen einer thermal-taktilen Stimulation verglichen [32]. Die Behandlungsergebnisse wurden von einem, gegen die Therapieverfahren nicht verblindeten, Untersucher radiologisch geprüft. Die Autorin berichtete von Erfolgen der elektrischen Stimulation bei Schluckstörungen unterschiedlicher Genese. Inzwischen werden die Ergebnisse dieser ersten Studie aufgrund des mangelhaften Studiendesigns sehr kritisch beurteilt. Das von Freed vorgestellte Stimulationsverfahren wurde inzwischen in verschiedenen Studien überprüft, die zu unterschiedlichen Ergebnissen führten. In einer retrospektiven Studie von Blumenfeld [33] wurden zwei Gruppen von 40 Patienten mit Schluckstörungen untersucht. Ursache der Schluckstörung war eine Langzeitbeatmung. In der Kontrollgruppe erfolgte die Therapie durch Diät, Übungen und Schluckmanöver. Der Erfolg wurde anhand eines sieben-stufigen Schluck-Score bemessen, der

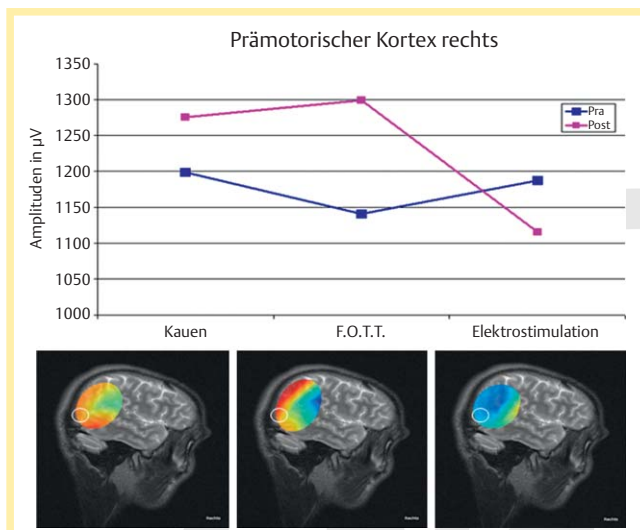
durch eine Videofluoroskopie ermittelt wurde. Die elektrische Stimulation hatte signifikant bessere Ergebnisse. In einer multi-zentrischen Studie von Bülow [34] wurden Patienten mit einer traditionellen (Stimulation, Manöver, Diät) Dysphagietherapie mit Patienten einer NMES verglichen. Untersucht wurden Patienten mit einer Schluckstörung drei Monate nach einem Schlaganfall. Bei der Überprüfung der Therapieergebnisse durch Videofluoroskopie zeigte sich eine signifikante Besserung des Schluckvermögens durch beide Methoden, ohne einen signifikanten Unterschied zwischen den Therapiemethoden.

Das grundsätzliche Problem bei dem Verfahren der transkutanen Elektrostimulation ist, dass das zugrunde liegende Therapieprinzip, also ob eine funktionelle Stimulation oder eine Neuromodulation vorliegt, nicht bekannt ist. So konnte Ludlow [35] zeigen, dass die Platzierung der Elektroden auf der Infrahyoidmuskulatur nicht zwingend zu einer Anhebung des Kehlkopfes führt, sondern zu einer nach vorne-unten gerichteten Bewegung mit einer verstärkten Aspiration. Zu den gleichen Ergebnissen kommt eine weitere Studie Suiters, die den Erfolg der Stimulation an der submentalen Muskulatur prüfte [36].

In einer Studie von Byung-Mo Oh [37] wurden acht Patienten mit unterschiedlichen neurogenen Schluckstörungen im Bereich der M. digastrici täglich für eine Stunde mit maximal möglicher Intensität elektrisch stimuliert. Einschlusskriterien waren, Residuen in der Vallecula oder eine Aspiration oder eine verlängerte pharyngeale Transitzeit. Geprüft wurde der Schluckvorgang sowohl endoskopisch als auch videofluoroskopisch. Es konnte bei der inhomogenen, kleinen Gruppe eine signifikante Änderung der endoskopischen und videofluoroskopischen Indizes zum Besseren gefunden werden. Diese Änderung korrelierte mit einer Vergrößerung der kortikalen Areale gemessen durch eine transkraniellen Magnetstimulation.

Aufgrund der massiven Kritik an der Studie von Freed [32] wurde diese inzwischen durch einen anderen Untersucher wiederholt [38]. Untersucht wurden Patienten nach einem Schlaganfall, die über 4 Wochen entweder mit einer alleinigen thermischen Stimulation (12 Patienten) oder einer zusätzlichen elektrischen Stimulation (16 Patienten) behandelt wurden. Das Ausmaß der Schluckstörung wurde radiologisch klassifiziert. Beide Gruppen zeigten eine Besserung der Schluckfunktion, wobei die Gruppe mit der zusätzlichen elektrischen Stimulation eine signifikantere Besserung aufwies. Auch diese Studie weist erheblich Mängel auf. So wurde auf eine Kontrollgruppe ohne Therapie verzichtet und damit die Spontanremission nicht berücksichtigt. Die zum Vergleich herangezogene thermische Stimulation ist derzeit kein empfohlenes Therapieverfahren, da es keinen Wirksamkeitsnachweis gibt [22].

Eine weitere Möglichkeit für eine transkutane elektrische Stimulation wurde von Leelamanit [39] untersucht. Während die Stimulation in den bisherigen Studien kontinuierlich für einen bestimmten Zeitraum appliziert wird, erfolgte in dieser Untersuchung eine durch die Aktivitäten der Zungengrundmuskulatur getriggerte Stimulation. Stimuliert wurde die suprahyoidale Thyroidmuskulatur durch kutane Elektroden am vorderen Mundboden. Untersucht wurden 23 Patienten mit Dysphagien unterschiedlicher Genese, die Stimulation erfolgte für 2–7 Tage über 4 Stunden pro Tag. In der Folge kam es bei 20 der 23 Patienten zu einer Besserung des Schluckvermögens, die videofluoroskopisch nachgewiesen werden konnte. Bei Nachkontrollen musste bei 7 Patienten die Behandlung wiederholt werden. Ursächlich für den Erfolg sahen die Autoren eine Verbesserung der Kehlkopfhebung an, die statistisch signifikant war. Als Mecha-



**Abb. 3** Dargestellt ist das Ergebnis einer transkutanen elektrischen Stimulation am Mundboden zur Neuromodulation. Durch die elektrische Stimulation mit 80 Hz kommt es zu einer Verkleinerung der kortikalen motorischen Areale (Abnahme der Amplitude) [41, 42].

nismus für die Verbesserung der Hebung wurde zum einen eine Kräftigung der Muskeln als auch ein zentraler Lernprozess durch die Stimulation vermutet.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die Komplexität des Schluckvorgangs mit einer Vielzahl von zeitlich aufeinander abgestimmten Phasen, die sowohl bewusst als auch unbewusst ablaufen, und die sehr unterschiedlichen Ätiologien als Auslöser von Schluckstörungen verhindern eine einheitliche Therapiestrategie für jede Art von Dysphagie. Diese Problematik betrifft nicht allein die Konzepte für die elektrische Stimulation, sondern bestimmt seit Jahren die Diskussion um die verschiedenen Behandlungsansätze in der Dysphagietherapie. So wird der verständliche Wunsch nach einer einfachen, einheitlichen Therapiemethode, die jede Art einer Schluckstörung zu behandeln vermag, durch die anatomischen, physiologischen und pathophysiologischen Randbedingungen vereitelt. Die Idee einer Therapie neurologischer Erkrankungen auf der Grundlage einer sensorischen Stimulation/Neuromodulation geht von der Hypothese aus, dass neurologische Defekte regenerierbar sind bzw. kortikale Defekte durch Reorganisation oder Regeneration ersetzt werden können. Erste Untersuchungen mit einer elektrischen Stimulation der Pharynxmuskulatur lassen vermuten, dass dieser Ansatz sinnvoll sein könnte [40].

Die Ergebnisse der Studien mit einer transkutanen Stimulation sind wesentlich widersprüchlicher. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass eine gerichtete transkutane Stimulation der Schluckmuskulatur bei der anatomischen Komplexität zur Zeit nicht möglich ist. Die Ergebnisse eigener Untersuchungen am Unfallkrankenhaus Berlin zu den Therapiemechanismen [41, 42] (siehe [Abb. 3](#)) und die Ergebnisse klinischer Studien zur transkutanen NMES sind widersprüchlich, sodass eine endgültige Bewertung noch aussteht. Obwohl eine Meta-Analyse [43] vorliegt, die einer transkutanen Elektrostimulation einen positiven Einfluss bescheinigt, muss diese Analyse kritisch betrachtet werden. Inzwischen liegen weitere klinische Ver-

gleichsstudien vor, die keinen positiven Effekt einer transkutanen elektrischen Stimulation gegenüber einer konservativen Therapie nachweisen konnten [34]. Somit ist nach der derzeitigen Datenlage die transkutane elektrische Stimulation kein Behandlungskonzept, das für eine Standardtherapie empfohlen werden kann.

Implantate/Neuroprothesen, die durch eine FES Einfluss auf den Schluckerfolg nehmen wollen, werden z. Zt. in verschiedenen Arbeitsgruppen entwickelt. Dabei erscheint die Idee der Verbesserung der Kehlkopfhebung das sinnvollere Konzept zu sein als die Stimulation der Stimmbänder, da bei der Stimulation der Kehlkopfmuskulatur nicht nur eine Aspiration verhindert wird, sondern gleichzeitig der natürliche Schluckvorgang unterstützt wird. Somit kann sich die Stimulation, ähnlich wie bei einem Herzschrittmacher, auf die Optimierung einer Bewegung beschränken. Die zeitgerechte Triggerung der Stimulationsimpulse kann über die Ableitung von noch vorhandener muskulärer oder nervaler Tätigkeit erfolgen. Technisch ist die Erfassung des Schluckvorgangs und seines Ergebnisses für die Steuerung und Regelung der Neuroprothese noch nicht gelöst. Bei den bisher vorgestellten Neuroprothesen erfolgt die Triggerung der FES während der Nahrungsaufnahme durch den Patienten. Das setzt eine ausreichende Wachheit und Situationsverständnis des Patienten voraus und kann nur zu den Mahlzeiten zum Einsatz kommen. Für eine Vielzahl von Patienten ist dies nicht möglich. Erst wenn es gelingt, mit einem implantierbaren Messverfahren die Schluckfähigkeit zu erfassen, wird eine automatisierte Stimulation der am Schlucken beteiligten Muskulatur möglich.

### Abstract

#### Electric Stimulation in Dysphagia Therapy – A Review

In the last years an increased interest in the electrical stimulation has consisted in the treatment of dysphagia. In the article we introduce the anatomical and physiological premises for the method. In a critical analysis the present state of art is represented, the clinical results are checked and the chances for the future are examined.

#### Literatur

- 1 Logemann JA. Dysphagia: Evaluation and Treatment. *Folia Phoniatr Logop* 1995; 47: 140–164
- 2 Jones B, Donner MW. Normal and abnormal swallowing. New York: Springer; 2002
- 3 Groher ME, Bukatman R. The prevalence of swallowing disorders in two teaching hospitals. *Dysphagia* 1986; 1: 3–6
- 4 Bamford J, Sandercock P, Dennis M. A prospective study of acute cerebrovascular disease in the community: the Oxfordshire Community Stroke Project 1981–1986. 1. Methodology, demography and incident cases of first ever stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1988; 51: 1373–1380
- 5 Barer DH. The natural history and functional consequences of dysphagia after hemispheric stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1989; 51: 236–241
- 6 Johnson ER, McKenzie SW, Sievers A. Aspiration pneumonia in stroke. *Arch Phys Med Rehab* 1993; 74: 973–976
- 7 Winstein CJ. Neurogenic dysphagia: Frequency, progression and outcome in adults following head injury 1983: 1992–1996
- 8 Yorkston KM, Honsinger MJ, Mitsuda PM, Hammen V. The relation between speech and swallowing disorders in head injured patients. *J Head Trauma* 1989; 4: 1–16
- 9 Prosiel M. Anatomie der an dem Schluckakt beteiligten zentralnervösen Strukturen. In: Bartolome G, Hrsg. Diagnostik und Therapie neurologisch bedingter Schluckstörungen. Stuttgart: Gustav Fischer; 1993; 1–11

- 10 Bass NH, Morell RM. The Neurology of Swallowing. In: Groher ME, Hrsg. Dysphagia in the diagnosis and management. Stoneham: Butterworth-Heinemann; 1992; 1–20
- 11 Hamdy S, Aziz Q, Rothwell JC, Sink KD, Barlow J, Hughes DG, Tallis RC, Thompson DG. The cortical topography of human swallowing musculature in health and disease. *Nature Medicine* 1996; 2: 1217–1224
- 12 Hamdy S, Aziz Q, Rothwell JC, Crone R, Hughes D, Tallis RC, Thompson DG. Explaining oropharyngeal dysphagia after unilateral hemispheric stroke. *The Lancet* 1997; 350: 686–692
- 13 Logemann JA. Evaluation and treatment of swallowing disorders. Austin, Teaxs: Pro-ed; 1993
- 14 Seidl RO, Nusser-Muller-Busch R, Hollweg W, Westhofen M, Ernst A. Pilot study of a neurophysiological dysphagia therapy for neurological patients. *Clin Rehabil* 2007; 21: 686–697
- 15 Chi-Fishman G, Capra NF, McCall GN. Thermomechanical facilitation of swallowing evoked by electrical nerve stimulation in cats. *Dysphagia* 1994; 9: 149–155
- 16 Park CL, O'Neill PA, Martin DF. A pilot exploratory study of oral electrical stimulation on swallow function following stroke: an innovative technique. *Dysphagia* 1997; 12: 161–166
- 17 Power M, Fraser C, Hobson A, Rothwell JC, Mistry S, Nicholson DA, Thompson DG, Hamdy S. Changes in pharyngeal corticobulbar excitability and swallowing behavior after oral stimulation. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 2004; 286: G45–G50
- 18 Hamdy S, Rothwell JC, Aziz Q, Singh K, Thompson DG. Long-term reorganization of human motor cortex driven by short-term sensory stimulation. *Nature Neuroscience* 1998; 1: 64–68
- 19 Hamdy S, Aziz Q, Rothwell JC, Power M, Singh KD, Nicholson DA, Tallis RC, Thompson DG. Recovery of Swallowing after stroke relates to functional reorganisation in the intact motor cortex. *Gastroenterology* 1998; 115: 1104–1112
- 20 Hamdy S, Rothwell JC. Gut feelings about recovery after stroke: the organization and reorganization of human swallowing motor cortex. *Trends Neurosci* 1998; 21: 278–282
- 21 Fraser C, Power M, Hamdy S, Rothwell J, Hobday D, Hollander I, Tyrrell P, Hobson A, Williams S, Thompson D. Driving Plasticity in Human Adult Motor Cortex is Associated with Improved Motor Function after Brain Injury. *Neuron* 2002; 34: 831–840
- 22 Power ML, Fraser CH, Hobson A, Singh S, Tyrrell P, Nicholson DA, Turnbull I, Thompson DG, Hamdy S. Evaluating oral stimulation as a treatment for dysphagia after stroke. *Dysphagia* 2006; 21: 49–55
- 23 Fraser C, Rothwell J, Power M, Hobson A, Thompson D, Hamdy S. Differential changes in human pharyngo-esophageal motor excitability induced by swallowing, pharyngeal stimulation, and anesthesia. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 2003; 285: G137–G144
- 24 Broniatowski M. Dynamic control of the larynx and future perspectives in the management of deglutitive aspiration. *Dysphagia* 1993; 8: 334–336
- 25 Broniatowski M, Sohn J, Kayali H, Bold L, Miller FM, Jacobs GB, Tucker HM. Artificial reflex arc: A potential solution for chronic aspiration. III: Stimulation of implanted cervical skin as a functional graft triggering glottic closure in ther canine. *Laryngoscope* 1994; 104: 1259–1263
- 26 Broniatowski M, Dessoify R, Azar K, Davies CR, Trott MS, Miller FR, Tucker HM. Electronic integration of glottic closure and circopharyngeal relaxation for the control of aspiration: a canine study. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1995; 112: 424–429
- 27 Broniatowski M, Vito KJ, Shah B, Shields RW, Storme M. Artificial control of glottic adduction for aspiration by orderly recruitment in the canine. *Dysphagia* 1997; 12: 93–97
- 28 Ludlow CL, Bielamowicz S, Rosenberg MD, Ambalavanar R, Rossini K, Gillespie M, Hampshire V, Testerman R, Erickson D, Carraro U. Chronic intermittent stimulation of the thyroarytenoid muscle maintains dynamic control of glottal adduction. *Muscle Nerve* 2000; 23: 44–57
- 29 Humbert IA, Poletto CJ, Saxon KG, Kearney PR, Ludlow CL. The effect of surface electrical stimulation on vocal fold position. *Laryngoscope* 2008; 118: 14–19
- 30 Burnett TA, Mann EA, Cornell SA, Ludlow CL. Laryngeal elevation achieved by neuromuscular stimulation at rest. *J Appl Physiol* 2003; 94: 128–134
- 31 Burnett TA, Mann EA, Stoklosa JB, Ludlow CL. Self-triggered functional electrical control during swallowing. *J Neurophysiol* 2005; 94: 4011–4018
- 32 Freed ML, Freed L, Chatburn RL, Christian M. Electrical stimulation for swallowing disorders caused by stroke. *Respir Care* 2001; 46: 466–474
- 33 Blumenfeld L, Hahn Y, Lepage A, Leonard R, Belafsky PC. Transcutaneous electrical stimulation versus traditional dysphagia therapy: a nonconcurrent cohort study. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2006; 135: 754–757
- 34 Bülow M, Speyer R, Baijens L, Woisard V, Ekberg O. Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) in Stroke Patients with Oral and Pharyngeal Dysfunction. *Dysphagia* 2008; 23: 302–309
- 35 Ludlow C, Humbert I, Saxon K, Poletto C, Sonies B, Crujido L. Effects of Surface Electrical Stimulation Both at Rest and During Swallowing in Chronic Pharyngeal Dysphagia. *Dysphagia* 2007; 22: 1–10
- 36 Suiter DM, Leder SB, Ruark JL. Effects of neuromuscular electrical stimulation on submental muscle activity. *Dysphagia* 2006; 21: 56–60
- 37 Oh B, Kim D, Paik N. Recovery of swallowing function is accompanied by the expansion of the cortical map. *Int J Neurosci* 2007; 117: 1215–1227
- 38 Lim K, Lee H, Lim S, Choi Y. Neuromuscular electrical and thermal-tactile stimulation for dysphagia caused by stroke: a randomized controlled trial. *J Rehabil Med* 2009; 41: 174–178
- 39 Leelamanit V, Limsakul C, Geater A. Synchronized electrical stimulation in treating pharyngeal dysphagia. *Laryngoscope* 2002; 112: 2204–2210
- 40 Hamdy S. The organisation and re-organisation of human swallowing motor cortex. *Suppl Clin Neurophysiol* 2003; 56: 204–210
- 41 Böggering J. Einfluss einer cutanen elektrischen Stimulation des Halses auf den motorischen Kortex bei gesunden Probanden, Diplomarbeit, RWTH Aachen, 2008
- 42 Mütz S. Einfluss einer oralen Stimulation nach F.O.T.T. auf den motorischen Kortex bei gesunden Probanden, Diplomarbeit, RWTH Aachen, 2009
- 43 Carnaby-Mann GD, Crary MA. Examining the evidence on neuromuscular electrical stimulation for swallowing: a meta-analysis. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2007; 133: 564–571