

Schauer, Thomas, Rainer O Seidl, und Holger Nahrstaedt. „Erfassung der pharyngealen Schluckphase durch Bioimpedanz-Messung“. In *Tagungsband: Automatisierungstechnische Verfahren für die Medizin (8. Workshop)*, 47-48. Fortschritt-Berichte VDI: Reihe 17, Biotechnik/Medizintechnik. Berlin, 2009.

Erfassung der pharyngealen Schluckphase durch Bioimpedanz-Messung

Thomas Schauer¹, Rainer O. Seidl², und Holger Nahrstaedt¹

¹Fachgebiet Regelungssysteme, Technische Universität Berlin, Berlin, Deutschland

²Unfallkrankenhaus Berlin, Klinik für Hals-, Nasen und Ohrenheilkunde, Berlin, Deutschland

Kontakt: schauer@control.tu-berlin.de

Einleitung

Schlucken ist ein komplexer Prozess, der lebensnotwendig ist. Gesteuert über kortikale Prozesse die im Stammhirn („pattern generators“) koordiniert werden, müssen für ein Schlucken eine Vielzahl von Muskeln zeitgerecht aktiviert werden. Die Steuerung dieser Abläufe erfolgt bewusst und unbewusst (über Reflexe).

Störungen des Schluckablaufs können dramatische Folgen haben. Neben einer Fehlernährung drohen Folgeerkrankungen wie z.B. Lungenentzündungen, die fatal verlaufen können. Ursache für Schluckstörungen sind vor allem Schädelhirntraumen und Schlaganfälle, so leidet jeder zweite Schlaganfallpatient unter Schluckstörungen, bei einem Viertel der Patienten sind die Probleme dauerhaft [1].

Auf Grund der komplexen Strukturen für die Steuerung und den Ablauf des Schluckvorgangs bestehen erhebliche Differenzen in den Schädigungsmustern. Dabei nimmt der zeitgerechte und vollständige Verschluss des Kehlkopfes beim Schlucken als Gabelung zwischen Luftröhre und Speiseröhre eine zentrale Rolle ein. Gelingt der Verschluss nicht, kommt es zu einem Übertritt von Speichel oder Nahrungsmittel in die Atemwege, der die beschriebenen Folgen haben kann.

Primäres Ziel einer Rehabilitation von Schluckstörungen ist die Wiederherstellung der gestörten Funktionen durch z.B. Stimulation und dem Erlernen von Schluckmanövern. Diese Maßnahmen erfordern erhebliche Anstrengungen und Ausdauer der wachen und zur Kooperation fähigen Patienten. Voraussetzung für einen Erfolg ist ein nach der Schädigung ausreichendes kortikales Potential und eine Verbindung des Kortex zu den Muskeln. Fehlen diese Verbindungen oder können z.B. die Muskeln nicht in ausreichendem Maße angesteuert werden ist eine Rehabilitation der Schluckvorgänge nicht möglich und der Patient bleibt auf eine Ernährung über eine Sonde und eine Trachealkanüle angewiesen.

In diesen Fällen scheint eine externe elektrische Stimulation der Muskulatur ein möglicher therapeutischer Ansatz zu sein. Dabei können zwei Stimulationsansätze unterschieden werden, 1. durch eine Stimulation von Muskeln der äußeren Kehlkopfmuskulatur kann eine Hebung des Kehlkopfes erzielt werden [2], 2. durch Stimulation der inneren Kehlkopfmuskeln kann ein Verschluss der Stimmbänder erreicht werden um eine Aspiration zu vermeiden [3–5]. Dabei erscheint eine intramuskuläre Stimulation einer cutanen Stimulation überlegen zu sein [6–8].

Voraussetzung für eine erfolgreiche Stimulation im Schluckablauf ist die zeitgerechte Auslösung der elek-

trischen Stimulation. In den bisher vorliegenden Studien erfolgte die Stimulation durch den Patienten mit einem Handschalter [3, 9]. Alternativ wurde in [8] eine EMG-Triggerung durch die submentale Muskulatur vorgeschlagen. Dabei ermöglichen beide Verfahren keine Regelung der Stimulation in Abhängigkeit von dem Schluckerfolg und den Fähigkeiten des Patienten.

Ein Ansatz zur Bewertung des Schluckerfolgs könnte die Messung der Bioimpedanz (BI) darstellen. Für eine transkutane Messung der Bioimpedanz im Halsbereich bietet sich die in [10] vorgeschlagene 4-Elektroden-Messmethode mit separaten Strom- und Spannungselektroden an. Gelingt es, mit der BI eine Aussage über den pharyngealen Schluckablauf und seines Erfolges zu treffen, so ist die Regelung einer elektrischen Stimulation und damit die Entwicklung eines Implantats möglich.

Methoden und Materialien

In einer Pilotstudie wurde an zwei Patienten mit einem normalen Schluckvorgang, die sich zur Diagnostik ihrer bösartigen Erkrankung einer Röntgenuntersuchung mit einem Kontrastmittel unterziehen mussten, gleichzeitig eine Messung der BI durchgeführt. Mittels der 4-Elektroden-Methode wurde die Änderung des Betrages der BI gemessen. Die Spannungsmesselektroden wurden beidseits in Höhe des Schildknorpelhinterhorns aufgeklebt. Die Einspeisung des Stroms erfolgte beidseits über Elektroden auf dem M. sternocleidomastoideus. Die Amplitude des sinusförmigen Stromes betrug 0,25 mA, die Frequenz 50 kHz.

Die zu prüfende Hypothese lautete, ob mit der Impedanzmessung eine Beurteilung des Verschlusses des Kehlkopfes möglich ist. Als Referenz für den Verschluss des Kehlkopfes wurde der Abstand zwischen dem hinteren Schildknorpel (Larynx) und dem Zungenbein (Hyoid) verwendet. Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Elektrodenpositionen und die Messpunkte.

Ergebnisse

In Abbildung 2 ist die Änderung $\Delta|BI|$ des Betrages der Bioimpedanz über der Zeit und der Abstand $l_{\text{Larynx-Hyoid}}$ von Kehlkopf und Zungenbein dargestellt. Bei einer Annäherung der anatomischen Strukturen verringert sich der Betrag der Bioimpedanz. Also korreliert die Amplitude der BI mit dem Grad des Atemwegverschlusses. Die lineare Regression der BI-Änderung und dem Abstand ergab die Korrelationskoeffizienten $R_{\text{Proband 1}} = 0,65$ und $R_{\text{Proband 2}} = 0,51$.

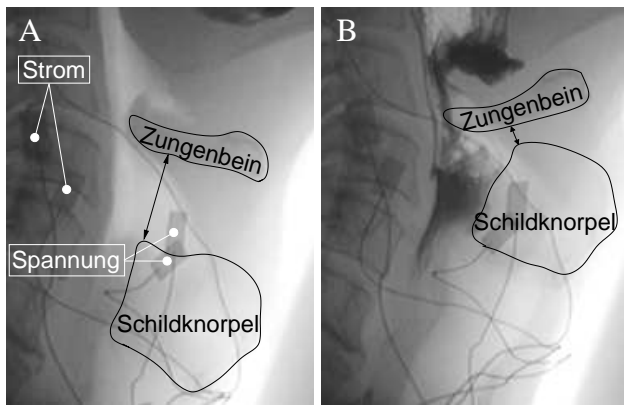


Abb. 1: Elektrodenpositionen, zur Auswertung kam der Abstand zwischen Zungenbein und Schildknorpel (A-während des Atmens, B-während des Schluckens)

Diskussion und Schlussfolgerungen

Die am Schluckvorgang beteiligten Strukturen sind einer äußeren Beobachtung nicht zugänglich, so dass im klinischen Alltag interne (Endoskopie) oder externe (Röntgen) Verfahren zur Beurteilung notwendig sind. Da diese Verfahren für die Regelung einer Stimulation z.B. in Rahmen eines Implantates nicht zur Verfügung stehen, müssen alternative Verfahren entwickelt und geprüft werden. Das in der vorliegenden Studie geprüfte Bioimpedanzverfahren scheint in der Lage zu sein, eine Aussage über den pharyngealen Schluckablauf zu ermöglichen. In weiterführenden Studien werden zur Zeit die Rahmenbedingungen des Messverfahrens geprüft werden, um Reliabilität und Validität zu bestimmen. Des Weiteren wird in einer klinischen Vergleichsstudie mit Videofluoroskopie die Aussagekraft der Impedanzmessung geprüft. Ziel ist die Entwicklung eines geregelten Implantats, das in der Lage ist, die Kehlkopfhebung bei Patienten mit einer pharyngealen Schluckstörung zu unterstützen.

Literatur

- [1] PROSIEGEL, M.: Neurogene Dysphagien: Leitlinien 2003 der DGNKN. In: *Neurol. Rehabil.* 9 (2003), Nr. 3-4, S. 157-181
- [2] BURNETT, T. A. ; MANN, E. A. ; CORNELL, S. A. ; LUDLOW, C. L.: Laryngeal elevation achieved by neuromuscular stimulation at rest. In: *J Appl Physiol* 94 (2003), Nr. 1, S. 128-134
- [3] BRONIATOWSKI, M. ; GRUNDFEST-BRONIATOWSKI, S. ; TYLER, Dustin ; SCOLIERI, P. ; ABBASS, F. ; TUCKER, H. M. ; BRODSKY, S.: Dynamic laryngotracheal closure for aspiration: a preliminary report. In: *Laryngoscope* 111 (2001), Nr. 11 Pt 1, S. 2032-2040
- [4] LUDLOW, C. L. ; HANG, C. ; BIELAMOWICZ, S. ; CHOYKE, P. ; HAMPSHIRE, V. ; SELBIE, W. S.: Three-dimensional changes in the upper airway during neuromuscular stimulation of laryngeal muscles. In: *Artif Organs* 23 (1999), May, Nr. 5, S. 463-465

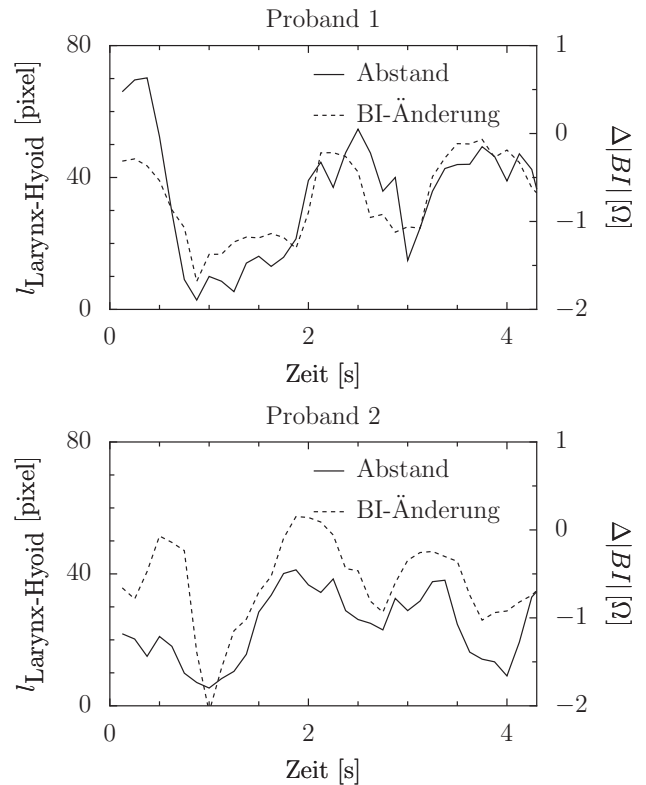


Abb. 2: Änderung der Bioimpedanz (BI) und des Abstands zwischen Kehlkopf (Larynx) und Zungenbein (Hyoid) über der Zeit

- [5] LUDLOW, C. L. ; BIELAMOWICZ, S. ; ROSENBERG, M. D. ; 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. In: *Muscle Nerve* 23 (2000), Nr. 1, S. 44-57
- [6] LUDLOW, C. L. ; HUMBERT, I. ; SAXON, K. ; POLETO, C. ; SONIES, B. ; CRUJIDO, L.: Effects of surface electrical stimulation both at rest and during swallowing in chronic pharyngeal Dysphagia. In: *Dysphagia* 22 (2007), Nr. 1, S. 1-10
- [7] HUMBERT, I. A. ; POLETO, C. J. ; SAXON, K. G. ; KEARNEY, P. R. ; CRUJIDO, L. ; WRIGHT-HARP, W. ; PAYNE, J. ; JEFFRIES, N. ; SONIES, B. C. ; LUDLOW, C. L.: The effect of surface electrical stimulation on hyolaryngeal movement in normal individuals at rest and during swallowing. In: *J Appl Physiol* 101 (2006), Nr. 6, S. 1657-1663
- [8] LEELAMANIT, V. ; LIMSAKUL, C. ; GEATER, A.: Synchronized electrical stimulation in treating pharyngeal dysphagia. In: *Laryngoscope* 112 (2002), Nr. 12, S. 2204-2210
- [9] BURNETT, T. A. ; MANN, E. A. ; STOKLOSA, J. B. ; LUDLOW, C. L.: Self-triggered functional electrical stimulation during swallowing. In: *J Neurophysiol* 94 (2005), Nr. 6, S. 4011-4018
- [10] KUSUHARA, Toshimasa ; NAKAMURA, T. ; SHIRAKAWA, Y. ; MORI, K. ; NAOMOTO, Y. ; YAMAMOTO, Yoshitake: Impedance pharyngography to assess swallowing function. In: *J Int Med Res* 32 (2004), Nr. 6, S. 608-616