# EPISODISCHE DYSARTHRIE BEI HIRNSTAMMKOMPRESSION – AKUSTISCH-PHONETISCHE UND AUDITIV-PERZEPTUELLE ANALYSE EINES EINZELFALLS

Helena Kukla<sup>1</sup>, Nina Kleiser<sup>1</sup>, Bernd Kröger<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Medical School, RWTH Aachen University, <sup>2</sup>Klinik für Phoniatrie, Pädaudiologie und Kommunikationsstörungen, Medical School, RWTH Aachen University helkukla@googlemail.com

Abstract: Hintergrund: Die Sprechverständlichkeit wird in der Diagnostik sprechmotorischer Störungen bis dato überwiegend perzeptiv erfasst. Es existiert noch keine allgemein akzeptierte akustische Methode, die eine objektive Bewertung der Sprechverständlichkeit zulässt und für den klinischen Alltag geeignet wäre. Das Ziel dieser Studie ist die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der skalierten Sprechverständlichkeit und ausgewählten akustischen Parametern bei einem Probanden mit episodischer Dysarthrie aufgrund einer Hirnstammkompression. Methode: 20 Schüler/innen einer Berufsfachschule für Logopädie bewerteten die Sprechverständlichkeit von 30 Hörproben, die aus der Spontansprache dieses Probanden selektiert wurden. Es handelte sich dabei um je 10 Hörproben der dysarthrischen Episoden, der symptomfreien Episoden und der aktuellen permanent dysarthrischen Sprechweise.

Ergebnisse: Bei einer hohen Intra- und Interrater-Reliabilität zeigen sich signifikante Unterschiede in der Sprechverständlichkeit. Die Artikulations- und Silbengeschwindigkeit in den sprechmotorisch defizitären Phasen unterscheiden sich signifikant von der Sprechverständlichkeit der symptomfreien Phasen. Die Korrelationsanalyse zeigte, dass die Artikulations- sowie die Silbengeschwindigkeit mit der Sprechverständlichkeit korreliert sind und somit geeignete Prädiktoren für die Sprechverständlichkeit darstellen.

# 1 Einleitung

Die Sprechverständlichkeit wird bis dato in der Diagnostik sprechmotorischer Störungen überwiegend perzeptiv erfasst [1]. Darüber hinaus wird sie als Index für den Schweregrad der Dysarthrie genutzt [2, 3].

Seit geraumer Zeit versuchen Wissenschaftler die Dysarthrie anhand akustischer Analysen zu objektivieren. Der Einbezug akustischer Parameter in die Diagnostik und Therapie erlaubt eine genauere Beschreibung der Symptomatik sowie eine objektive Verlaufskontrolle. Dafür sind Referenzwerte der akustischen Parameter bei nicht dysarthrischen und dysarthrischen Sprechern erforderlich. Akustische Parameter, die mit der Sprechverständlichkeit korrelieren, würden eine objektive Bewertung zulassen und die der Dysarthrie zugrunde liegende Bewegungsstörungen der Sprechmotorik aufzeigen, die in der perzeptuellen Bewertung kaum identifiziert werden können [4].

Bisherige Studien haben eine Vielzahl akustischer Parameter untersucht, um Prädiktoren für die Sprechverständlichkeit zu finden. Zu den häufig untersuchten akustischen Parametern zählen die Variabilität des ersten und zweiten Formanten sowie der Grundfrequenz, der akustische Vokalraum, die Sprechgeschwindigkeit, die Intensität und Parameter, die mit der Güte der Stimmqualität korrelieren.

Kim, Hasegawa-Johnson und Perlman [5] stellten fest, dass eine reduzierte Variabilität des ersten Formanten, berechnet anhand der Standardabweichung der Frequenzwerte, mit einer höher bewerteten Sprechverständlichkeit einherging. Für die Variabilität des zweiten Formanten konnten keine signifikanten Korrelationen mit der Verständlichkeit festgestellt

werden. Bradlow, Torretta und Pisoni [6] kamen in ihrer Studie mit nicht dysarthrischen Probanden zu konträren Ergebnissen und berichteten einen positiven linearen Zusammenhang zwischen der Verteilung der F1-Werte und der Verständlichkeit.

Der akustische Vokalraum zeigt sich bei dysarthrischen Probanden in der Regel komprimiert [7]. Die Stärke des Zusammenhangs des akustischen Vokalraums mit der Sprechverständlichkeit variiert jedoch in bisherigen Forschungsprojekten stark. Kim et al. [5] konstatierten signifikante Korrelationen ( $r^2$ = 0,69) des akustischen Vokalraums mit der Sprechverständlichkeit bei dysarthrischen Sprechern aufgrund Zerebralparese, während Kim, Kent und Weismer [8] bei Probanden verschiedener Ätiologie nur geringe Korrelationen ermittelten ( $r^2$ = 0.28). Weismer et al. [7] berichteten, dass der akustische Vokalraum 46% der Varianz in der Verständlichkeitswertung bei Patienten mit Morbus Parkinson, Amytropher Lateralsklerose oder nach Schädel-Hirn-Traumata ausmachte.

Schlenck, Bettrich und Willmes [9] berichteten von einer höheren Grundfrequenz stark dysarthrischer Patienten im Vergleich zu nur leicht beeinträchtigten oder gesunden Kontrollprobanden. Auch die Variabilität der mittleren Grundfrequenz, berechnet anhand des Maximalwertes abzüglich des Minimalwertes, zeigte sich höher als bei gesunden Kontrollprobanden. Während Mayo, Aubanel und Cooke [10] einen negativen Zusammenhang zwischen der mittleren Grundfrequenz und der Sprechverständlichkeit feststellten, fanden Kim et al. [8] für Patienten nach Schlaganfall positive Korrelationen.

Die Silben- und Artikulationsrate ist bei dysarthrischen Patienten verlangsamt [11]. Den Zusammenhang dieser Parameter mit der Sprechverständlichkeit untersuchten Kim et al. [8] und berichteten positive, signifikante Korrelationen ( $r^2 = 0.56$ ).

Die Untersuchung der Intensität als möglicher Prädiktor beschränkt sich zumeist auf Analysematerial von Patienten mit Morbus Parkinson. Diese wurden bei erhöhter Sprechstärke als verständlicher bewertet. Kontrollprobanden mit Multipler Sklerose wiesen diesen Zusammenhang nicht auf [12].

Inwieweit Parameter zur Messung der Stimmqualität, wie Jitter, Shimmer und die Harmonicsto-Noise Ratio, die Sprechverständlichkeit beeinflussen ist wenig erforscht. Bisherige Untersuchungen beschränken sich auf den Vergleich dieser Werte von sprechmotorisch beeinträchtigten Sprechern mit Normalsprechern. So wurden bei Patienten mit ataktischer Dysarthrie höhere Werte für Shimmer und lediglich bei den weiblichen Probanden höhere Jitter-Werte festgestellt [13].

Dieser Überblick verdeutlicht, dass bisher noch keine generalisierten Übereinstimmungen über akustische Signalparameter für die Sprechverständlichkeit existieren. Der akustischen Analyse der oben angeführten Studien liegt zumeist Analysematerial auf Wort- oder Satzebene zugrunde. Einige sprechmotorische Defizite können jedoch erst in der Spontansprache in vollem Ausmaß wahrgenommen werden. Dazu zählen unter anderem prosodische Parameter, wie die Sprechgeschwindigkeit sowie die artikulatorische Präzision [3]. Der Vergleich der Parameter anhand dysarthrischer und nicht dysarthrischer Probanden, also unabhängiger Testgruppen, ist eine weitere Einschränkung bisheriger Forschungsprojekte in diesem Bereich.

In der vorliegenden Fallstudie kann die Unterscheidung dysarthrischer und nicht dysarthrischer Sprechweise erstmals anhand eines Probanden, der *gleichzeitig* auch als Kontrollproband fungiert, analysiert werden. Der Proband wies im Jahr 2007 eine episodische Dysarthrie aufgrund einer neurovaskulären Hirnstammkompression auf. Wegen eines pathologischen Nerven-Gefäß-Kontakts liegen bei dieser Person Läsionen des Nervus facialis, Nervus vagus, Nervus hypoglossus und der Pyramidenbahn vor. Eine genaue Analyse der Auftretenshäufigkeit und -dauer der dysarthrischen Phasen im Jahr 2007 ergab, dass eine Regelmäßigkeit der Phasenwechsel bestand. Die dysarthrischen Phasen traten mit einer Dauer von 20 (± 2) Sekunden nach symptomfreien Intervallen auf, die im Mittel 84 (± 10) Sekunden

andauerten. Zum jetzigen Zeitpunkt zeigt der Patient eine permanente sprechmotorische Störung. Demnach ergeben sich *drei verschiedene Phasen*: die *dysarthrischen* und *symptomfreien* Episoden aus dem Jahr 2007 und die *aktuell permanent dysarthrische* Phase.

Das Auftreten einer Dysarthrie infolge einer Kompression im Hirnstammbereich ist ein selten beschriebenes Phänomen [14, 15, 16]. Nach bisherigem Kenntnisstand findet sich lediglich eine weitere Beschreibung wiederkehrender Episoden dysarthrischer Symptome, die in Zusammenhang mit pathologischen Veränderungen im Bereich des Hirnstamms zusammengebracht werden [17].

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, ob die drei unterschiedlichen Phasen der Dysarthrie bei neurovaskulärer Kompression des Hirnstamms anhand eines Perzeptionstests zur Sprechverständlichkeit und anhand akustischer Parameter bei dem vorliegenden Einzelfall differenzierbar waren. Darüber hinaus wurde der Zusammenhang zwischen den akustischphonetischen Parametern und der auditiv-perzeptuellen Bewertung der Sprechverständlichkeit untersucht, um mögliche Prädiktoren für die Sprechverständlichkeit zu finden.

## 2 Methode

## 2.1 Auditiv-perzeptuelle Analyse

# 2.1.1 Stichprobe

Die perzeptuelle Bewertung der Phrasen des Patienten wurde von 20 Schüler/innen, davon 19 Frauen und ein Mann, einer Berufsfachschule für Logopädie, vorgenommen. Es handelte sich um Muttersprachler/innen der deutschen Sprache. Die Proband/innen waren im Alter von 20 bis 47 (Median: 24) und wiesen nach eigenen Angaben ein intaktes, nicht korrigiertes Hörvermögen auf.

#### 2.1.2 Material

Für die perzeptuelle Testung wurden jeweils zehn Phrasen aus den dysarthrischen und symptomfreien Phasen aus dem Jahr 2007 und zehn Phrasen aus aktuellen Audiodateien selektiert. Es handelte sich ausschließlich um Ausschnitte aus der Spontansprache. Der Patient berichtete zu beiden Messzeitpunkten über seine Krankheitsgeschichte, sodass eine vergleichbare Erzählsituation geschaffen wurde. Die insgesamt 30 Hörproben aus den drei unterschiedlichen Episoden waren in der Länge sowie in der Anzahl der Wörter und Silben vergleichbar. Sie sind gemittelt 7,8 25 (± 4) Sekunden lang bei einer durchschnittlichen Silbenlänge von 24 (± 9) Silben. Zu beiden Messzeitpunkten wurden die Aufnahmen anhand eines Mikrofons mit leichter Nieren-Richtcharakteristik (Sennheiser ME) in einem Abstand von ca. 30-50 cm vom Mund des Patienten aufgenommen. Als Aufnahmemedium wurde ein digitales Diktiergerät (Sony TCD D100) genutzt. Es handelte sich um MP3-Aufnahmen im Aufnahmeformat von 44 kHz und 128 kbps. Die Aussteuerung der Aufnahmen beschränkte sich auf das Angleichen der Lautstärke.

## 2.1.3 Durchführung

Die Bewertung der 30 Phrasen erfolgte einzeln anhand einer zehn Zentimeter langen visuellen Analogskala mit den Endpunkten "sehr gut verständlich" und "nicht verständlich". Die 30 Hörbeispiele wurden über einen Computer mittels Sennheiser HD 25-1 II Kopfhörer (Basic Edition, geschlossen) abgespielt. Für die Auswertung konnten die Wertungen nach Ausmessung der Millimeter in Punkte von 1-100 umgewandelt werden.

Für die Berechnung der Intrarater-Reliabilität wurden die 30 Hörproben zwei Mal, jeweils in pseudorandomisierter Reihenfolge, abgespielt. Gemäß der Split-Half-Methode wurde die Stichprobe von 20 Schüler/innen in zwei Hälften geteilt. Der ersten Hälfte der Stichprobe

wurde erst die erste Wiedergabeliste, der zweiten Hälfte der Stichprobe erst die zweite Wiedergabeliste dargeboten, um mögliche Reihenfolge-Effekte auszuschließen. Vorab wurden sechs Beispiele bewertet, sodass die Hörer/innen einen Höreindruck über das Ausmaß der sprechmotorischen Defizite erhielten und sich mit der Art der Bewertung vertraut machen konnten.

# 2.2 Akustische Analyse

#### 2.2.1 Material

Die aus der Spontansprache selektierten Hörproben wurden auch in der akustischen Analyse verwendet. Die Hörproben wurden mittels der Software *Praat* [18] analysiert.

# 2.2.2 Durchführung

Pro Hörbeispiel wurden in Praat manuell die Frequenzen der ersten und zweiten Formanten für alle Vokale, Monophthonge und Diphtonge bestimmt. Für jedes Hörbeispiel wurde dann die mittlere F1- und F2-Frequenz anhand des arithmetischen Mittels errechnet. Die Variabilität ergab sich aus der Standardabweichung der Frequenzen der ersten und zweiten Formanten pro Satz [5].

Der akustische Vokalraum wurde anhand der Ausdehnung der ersten und zweiten Formanten über alle Vokale pro Phase berechnet. In einem Streudiagramm wurden die Frequenzen der zweiten Formanten auf der y-Achse und die Frequenzen der ersten Formanten auf der x-Achse abgetragen. Mithilfe der Gaußschen Trapezformel konnte der Flächeninhalt der so entstehenden unregelmäßigen Polygone berechnet und miteinander verglichen werden.

Mittels der in Praat verfügbaren Funktion "Voice report" wurden die Parameter mittlere Grundfrequenz, Standardabweichung der Grundfrequenz und Maximum und Minimum der Grundfrequenz automatisch pro Phrase ermittelt. Um den Maximalbereich der mittleren Grundfrequenz zu berechnen, wurde der Minimalwert vom Maximalwert subtrahiert [6, 8]. Die Sprechgeschwindigkeit wurde anhand der Parameter Artikulationsrate und Silbenrate definiert. Die Artikulationsrate beschreibt die Anzahl an Silben pro Sekunde nach Abzug der Sprechpausen. Die Silbenanzahl ist definiert als die artikulationsfreie Phase ab einer Länge von 200 ms wurde als Sprechpause gewertet [11]. Die Jitter- und Shimmer-Werte sowie die mittlere Harmonics-to-Noise Ratio wurden dem "Voice report" entnommen.

## 2.3 Datenanalyse

Die Datenanalyse wurde anhand der Datenanalysesoftware SPSS 21.0 vorgenommen. Die Interrater-Reliabilität, als Indikator der Reliabilität des zugrunde liegenden Bewertungssystems, wurde anhand der Intraklassenkorrelation (unjustiert) bestimmt. Zusätzlich wurde die Interrater-Reliabilität mittels Krippendorff's Alpha für die Gewichtung der Nichtübereinstimmung für intervallskalierte Daten berechnet. Die Intrarater-Reliabilität wurde anhand des Pearson-Korrelationskoeffizienten (einseitige Testung) ermittelt.

Anhand einer einfaktoriellen Messwiederholungs-Varianzanalyse wurde auf signifikante Unterschiede hinsichtlich der perzeptuellen Bewertung sowie der akustischen Parameter zwischen den drei Phasen getestet. Um die Voraussetzungen einer einfaktoriellen Varianzanalyse zu testen, wurde der Mauchly-Test auf Sphärizität durchgeführt. Als Post-hoc Test wurden die paarweisen Vergleiche Bonferroni-adjustiert angewandt. Für die Analyse wurde ein Signifikanzniveau von fünf Prozent (zweiseitig) festgelegt.

Zur Analyse des akustischen Vokalraums konnte nur der Vergleich der Ausdehnung des Vokalraums in den drei Phasen anhand der deskriptiven Statistik und des Flächeninhaltes vorgenommen werden.

Für die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen den akustischen Parametern und der Sprechverständlichkeitsbewertung wurden bivariate Korrelationen nach Pearson zur Schätzung eines linearen Zusammenhangs und nach Spearman zur Schätzung eines monotonen Zusammenhangs durchgeführt.

# 3 Ergebnisse

#### 3.1 Inter- und Intrarater-Reliabilität

Die Schätzung der Interrater-Reliabilität anhand der Intraklassenkorrelationen war mit einem Koeffizienten von 0,867 im ersten Durchgang der Bewertungen und einem Wert von 0,877 im zweiten Durchgang hoch und signifikant von null verschieden (p< 0,001). Anhand des Alpha Koeffizienten von Krippendorff ergaben sich Werte von 0,829 und 0,843 für die beiden Durchgänge. Dies entspricht einer guten Reliabilität [19].

Die Werte für die Intrarater-Reliabilität nach Pearson lagen im Bereich von 0,845 bis 0,969 (p<0,001), was hohen bis sehr hohen Korrelationen entspricht.

# 3.2 Unterschiede der Sprechverständlichkeit in den drei Phasen

Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab einen F-Wert (2,9) von 193,2 bei einer Wahrscheinlichkeit für das Auftreten dieses Wertes unter der Bedingung gleicher Bewertungen der Sprechverständlichkeit der drei Phasen von p<0,001. Die gemäß der Bonferroni-Korrektur adjustierten paarweisen Vergleiche der Bedingungen ergaben, dass sich die Sprechverständlichkeit in allen drei Phasen signifikant voneinander unterschied (p<0,001).

#### 3.3 Unterschiede der akustischen Parameter in den drei Phasen

Es zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen allen drei Phasen für das Lautstärkeminimum. Die symptomfreie Phase unterschied sich signifikant von der dysarthrischen Phase hinsichtlich des Lautstärkemaximums, der mittleren Grundfrequenz, der Artikulationsrate und der Harmonics-to-Noise Ratio. Die symptomfreie und aktuelle Phase unterschieden sich in der Silbenrate und den Mittelwerten der zweiten Formanten signifikant. Darüber hinaus bestanden signifikante Unterschiede in der Variabilität der F1-Werte.

Die Flächenberechnung des akustischen Vokalraums ergab für die symptomfreie Phase einen Wert von  $310822~\mathrm{Hz^2}$ , für die aktuelle Phase einen Wert von  $452268~\mathrm{Hz^2}$  und für die dysarthrische Phase einen Wert von  $418346~\mathrm{Hz^2}$ .

## 3.4 Korrelationen akustischer Parameter mit der Sprechverständlichkeit

Die Variabilität des zweiten Formanten korrelierte mit der Bewertung der Sprechverständlichkeit in der symptomfreien Phase (Spearman:  $r_s$ = 0,64, p= 0,048). Der Korrelationskoeffizient nach Pearson zeigte für diesen Parameter keine signifikant von null verschiedene Korrelation (Pearson: r= 0,514, p= 0,13).

Auch die Analyse der aktuellen Phase zeigte eine stark positive Korrelation zwischen der Variabilität des zweiten Formanten und der Bewertung der Sprechverständlichkeit (Spearman:  $r_s$ = 0,78, p= 0,008). Darüber hinaus korrelierte die Sprechverständlichkeit mit der Variabilität des ersten Formanten (Pearson:  $r_s$ = 0,78, p= 0,008; Spearman:  $r_s$ = 0,81, p= 0,005) sowie mit dem Mittelwert der Grundfrequenz (Pearson:  $r_s$ = 0,75, p= 0,013; Spearman:  $r_s$ = 0,69, p= 0,029). Lediglich nach Spearman bestand eine Korrelation der Sprechverständlichkeit mit den Mittelwerten des zweiten Formanten (F2Mw) (Spearman:  $r_s$ = 0,78, p= 0,007). Für die dysarthrische Phase zeigte sich eine Korrelation der Mittelwerte des ersten Formanten mit der Sprechverständlichkeit (Pearson:  $r_s$ = 0,66, p= 0,039; Spearman:  $r_s$ = 0,82, p= 0,004). Die

maximale Intensität korrelierte mittelgradig mit der Sprechverständlichkeit (Spearman:  $r_s$ =0,69, p= 0,029).

Die Korrelationsanalyse der Sprechverständlichkeit mit den akustischen Parametern über alle 30 Hörproben der drei Phasen ergab mittelgradige, negative Korrelationen für die Mittelwerte der Frequenz des zweiten Formanten (Pearson: r=-0.60, p=0.001; Spearman  $r_s=-0.62$ , p=<0.001). Für die Variabilität des ersten Formanten ergaben sich geringe Korrelationen (Pearson: r=-0.44, p=0.14; Spearman:  $r_s=-0.45$ , p=0.13). Die Silbenrate war mittelgradig mit der Sprechverständlichkeit korreliert. Die Artikulationsrate als weiteres Maß der Sprechgeschwindigkeit wies einen mittelgradigen bis hohen Zusammenhang mit der Sprechverständlichkeit auf (Pearson: r=0.81, p=<0.001; Spearman:  $r_s=0.76$ , p=<0.001).

## 4 Diskussion

## 4.1 Interpretation der Ergebnisse

Die hochsignifikanten Unterschiede in der Bewertung der Sprechverständlichkeit zwischen den drei Phasen bestätigten die Befundung der episodischen Dysarthrie und zeigten, dass sich die episodische Dysarthrie im Verlauf zu einer permanenten Dysarthrie entwickelte, die sich im Vergleich zu den vorhergehenden dysarthrischen Episoden schwächer ausgeprägt zeigte.

Die hohe Intra- und Interraterreliabilität sprechen für eine ausreichende Qualifikation der weitgehend unerfahrenen Schüler/innen der Logopädie. Die Analyse der akustischen Parameter ergab lediglich für den Parameter Minimum der Intensität signifikante Unterschiede zwischen den drei Phasen. Insgesamt konnte jedoch kein Parameter für eine Unterscheidung der Phasen ausgemacht werden. Jedoch scheinen die Artikulations- und die Silbengeschwindigkeit geeignete Parameter für die Unterscheidung der dysarthrischen und der symptomfreien Phase zu sein.

Die Untersuchung möglicher Prädiktoren für die Sprechverständlichkeit ergab keine eindeutigen Ergebnisse. Kein akustischer Parameter korrelierte in allen drei Phasen mit der Sprechverständlichkeit. Eine prädiktive Einschätzung der Sprechverständlichkeit durch einen akustischen Parameter ist demnach nicht möglich. Missachtet man die Phasen und korreliert über alle Phasen hinweg, so erhält man allerdings für folgende Parameter signifikante Korrelationen mit der Sprechverständlichkeit: Mittelwerte des zweiten Formanten, Variabilität des ersten Formanten, Artikulations- und Silbenrate. Da sich die Messprozeduren hinsichtlich der Formantauswertungen auf alle Vokale beziehen und ein Vergleich mit Referenzwerten aufgrund fehlender Untersuchungen akustischer Parameter auf der Ebene der Spontansprache nicht möglich ist, können die Variabilität des ersten Formanten und die Frequenzmittelwerte des zweiten Formanten nicht als Signalparameter interpretiert werden. Die Artikulations- und Silbenrate hingegen scheinen Maße zu sein, anhand welcher die Einschätzung der Sprechverständlichkeit möglich wäre.

# 4.2 Kritische Reflexion

Die Spontansprache als authentische kommunikative Handlung birgt in der akustischen Analyse einige limitierende Faktoren. Beispielsweise kann die Färbung der Vokale durch folgende oder vorangehende Konsonanten nicht kontrolliert werden. Zudem bestehen für einige Parameter keine Referenzwerte für die Messung in der Spontansprache [8].

## 4.3 Relevanz und Ausblick

Diese Studie trägt dazu bei, Signalparameter für die Sprechverständlichkeit zu eruieren, um diagnostische Methoden zu erweitern und zu verbessern. Da es sich um eine Einzelfallanalyse handelt, kann die Allgemeingültigkeit der hier dargestellten Ergebnisse nicht uneingeschränkt angenommen werden. Dafür bedarf es Folgestudien mit einem größeren Stichprobenumfang.

In Anbetracht der symptomatischen Schwerpunkte der verschiedenen Dysarthriearten scheinen Folgeprojekte, die die akustische Analyse der Spontansprache von Probanden mit verschiedenen Formen der Dysarthrie berücksichtigen, sinnvoll.

## Literatur

- [1] Weismer, G., Jeng, J.-Y., Laures, J. S., Kent, R. D. & Kent, J. F. (2001). Acoustic and Intelligibility Characteristics of Sentence Production in Neurogenic Speech Disorders. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 52, 201-19.
- [2] Kent, R. D., Weismer, G., Kent, J. F. & Rosenbek, J. C. (1989). Toward phonetic intelligibility testing in dysarthria. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 54, 482-499.
- [3] Bunton, K., Kent. R. D., Duffy, J. R., Rosenbek, J. C & Kent, J. F. (2007). Listener Agreement for Auditory-Perceptual Ratings of Dysarthria. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 50, 1481-1495.
- [4] Liu, H.-M., Tsao, F.-M. & Kuhl, P. K. (2005). The effect of reduced vowel working space on speech intelligibility in Mandarin-speaking young adults with cerebral palsy. *Acoustical Society of America*, 117 (6), 3879-3889.
- [5] Kim, H., Hasegawa-Johnson, M. & Perlman, A. (2010). Vowel Contrast and Speech Intelligibility in Dysarthria. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 63, 187–194.
- [6] Bradlow A. R., Torretta, G. M. & Pisoni, D. B. (1996). Intelligibility of normal speech I: Global and fine-grained acoustic-phonetic talker characteristics. *Speech Communication*, 20, 255–272.
- [7] Weismer, G., Laures, J. S., Jeng J.-Y., Kent, R. D. & Kent, J. F. (2000). Effect of Speaking Rate Manipulations on Acoustic and Perceptual Aspects of the Dysarthria in Amyotrophic Lateral Sclerosis. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 53, 1-18.
- [8] Kim, Y., Kent, R. D. & Weismer, G. (2011). An Acoustic Study of the Relationships Among Neurologic Disease, Dysarthria Type, and Severity of Dysarthria. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 54, 417-429.
- [9] Schlenck, K.-J., Bettrich, R. & Willmes, K. (1993). Aspects of disturbed prosody in dysarthria. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 7(2), 119-128.
- [10] Mayo, C., Aubanel, V. & Cooke, M. (2012). Effect of prosodic changes on speech intelligibility. Interspeech. Verfügbar unter: <a href="http://laslab.org/upload/effect\_of\_prosodic\_changes\_on\_speech\_intelligibility.pdf">http://laslab.org/upload/effect\_of\_prosodic\_changes\_on\_speech\_intelligibility.pdf</a>
- [11] Nishio, M. & Niimi, S. (2001). Speaking rate and its components in dysarthric speakers: *Clinical Linguistics and Phonetics*, 15, 309-317.
- [12] Tjaden, K. & Wilding, G. E. (2004). Rate and Loudness Manipulations in Dysarthria: Acoustic and Perceptual Findings. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47, 766-783.
- [13] Kent, R. D., Kent, J., Duffy, J. R., Thomas, J. E., Weismer, G., & Stuntebeck, S. (2000). Ataxic dysarthria. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43(5), 1275-1289.
- [14] Cheong, J. H., Kim, J. M, Jang, M. S & Kim, C. H. (2011). Resolution of Isolated Unilateral Hypoglossal Nerve Palsy Following Microvascular Decompression of the Intracranial Vertebral Artery. *The Korean Neurosurgical Society*, 49, 167-170.
- [15] Graham, R., Thomson, E. & Baldwin, A. (2007). Isolated hypoglossal nerve palsy due to a vascular anomaly. *International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, *36*(8), 759–761.
- [16] Salvi, F., Mascalchi, M., Bortolotti, C., Meletti, S., Plasmati, R., Rubboli, G. et al. (2000). Hypertension, hyperekplexia, and pyramidal paresis due to vascular compression of the medulla. *Neurology*, 55(9), 1381–1385.
- [17] Meila, D., Wetter, A., Brassel, F. & Nacimiento, W. (2012). Intermittent hypoglossal

- nerve palsy caused by a calcified persistent hypoglossal artery: An uncommon neurovascular compression syndrome. *Journal of the Neurological Sciences*, 323, 248–249.
- [18] Boersma, P. & Weenink, D. (2013). *Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 5.3.56.* Zugriff am 15.09.2013 unter: <a href="http://www.praat.org/">http://www.praat.org/</a>
- [19] Krippendorff, K. (2004). Reliability in Content Analysis: Some Common Misconceptions and Recommendations. *Human Communication Research*, 30(3), 411-433.