

Verhalten der Kaumuskulatur – ein Überblick

► A. Vogel

Indizes: Zentrik, Kaumuskulatur, *Musculus pterygoideus lateralis*

Fast alle Dinge des Lebens haben Zeiten der „Konjunktur“ und Zeiten geringerer Bedeutsamkeit – eine Platitüde, dennoch nicht weniger wahr, – so auch in der Zahnmedizin. Im Moment scheinen Implantologie und „Kosmetik“ eine dominierende Rolle zu spielen. Auch wenn Kosmetik für den Patienten sehr wichtig ist, geht es in der Zahnheilkunde in erster Linie um Erhalt oder Wiederherstellung physiologischer Verhältnisse – also um Sicherung einer optimalen Funktion.

Seit etwa 40 Jahren versucht man, in solch wechselnden Phasen von Konjunktur und „Flaute“, die Funktionsweise (früher Gnathologie) des orofazialen Systems zu ergründen. Nach einem Abschnitt der „Vernachlässigung“ gerät nun die Funktion wieder verstärkt in den Fokus der Betrachtung. Allerdings war bei allen wechselnden Schwerpunktsetzungen in Forschung und Lehre in der Zahnheilkunde ein Gebiet nie „in Mode“ – die Kaumuskulatur.

Und das ist heute noch so. In der neuen interessanten Stolperstein-Theorie z.B. spielen die Muskeln überhaupt keine Rolle, Okklusion und Kiefergelenke werden in direkte Beziehung gesetzt [1]. Trotzdem soll nicht von einem Desiderat der Forschung gespro-

chen werden, aber es ist nicht zu übersehen, dass es nach wie vor sehr viele ungeklärte Fragen gibt, Missverständnisse, widersprüchliche Aussagen, unterschiedliche Schwerpunktsetzungen usw. Dieser Beitrag soll dem Praktiker einen gerafften Überblick geben. Obwohl nicht im Zentrum der Forschung stehend, kann man in den letzten Jahren in der internationalen Literatur vielfältige Bemühungen um mehr Klarheit in dieser Materie finden [3, 5, 8, 23]. Gründe für die Schwierigkeiten mit dem Thema sind:

- Es handelt sich bei der Kaumuskulatur und ihrer neuralen Steuerung um ein sehr komplexes und damit sehr schwieriges Gebiet.
- Die Kaumuskulatur unterscheidet sich grundlegend von der Skelettmuskulatur [13]. Sie ist in ih-

rer Morphologie nicht nur wesentlich komplizierter, sondern teilweise diametral entgegengesetzt. Die zahlreichen Forschungsergebnisse zur Skelettmuskulatur können somit nicht auf die Kaumuskulatur übertragen werden.

- Die Forschungsansätze sind außerordentlich unterschiedlich, auch aus diesem Grund sind die Ergebnisse oft genug nicht vergleichbar. Und eben so häufig handelt es sich nur um Fallstudien ohne statistische Auswertbarkeit [14].
- Die internationale Forschung zum Thema wird in der deutschen Fachpresse nur sehr wenig wahrgenommen.
- Die entsprechende Forschung, die in der DDR geleistet wurde, wurde offensichtlich gar nicht wahrgenommen.

Weshalb aber ist eine größere Einsicht in Rolle und Funktion der Kaumuskulatur im orofazialen System so wichtig? Jeder Zahnarzt ist in seiner Praxis täglich damit konfrontiert. Bei jeder restaurativen Maßnahme, bei jeder Relationsbestimmung ist indirekt die Kaumuskulatur mit zu bedenken. Immer wenn der Unterkiefer in die sog. zentrische Position gebracht und dort okklusal fixiert werden soll, sind die Kaumuskeln entscheidend beteiligt. Türp [20] beschreibt die Schwierigkeiten bei der Festlegung der zentrischen Position so: „Das Problem bei der zentrischen Kondylenposition ist, dass man nicht genau weiss, in welcher Position sich der Kondylus-Diskus-Komplex relativ zu den temporalen Gelenkstrukturen genau befindet.“ Er nennt aber gleichzeitig die zentrische Position die wünschenswerte. Das bedeutet: Nach wie vor herrscht die alte Unklarheit über die „richtige“ Positionierung des Unterkiefers wie auch über die Beteiligung der verschiedenen Strukturen des orofazialen Systems an der Erlangung dieser wünschenswerten Position [26].

Dies erkannte man bereits in den 80er Jahren an der Leipziger Universität, wo von Vogel eine Reihe tierexperimenteller Studien initiiert wurde, um zunächst das Verhalten des Musculus masseter zu untersuchen [21]. In einer zweiten Serie wurde der Fokus auf die Kiefergelenke gerichtet [2], um schließlich in einer dritten Folge über diese beiden Aspekte hinaus den Temporalis, den Pterygoideus medialis und den Pterygoideus lateralis einzubeziehen. Im Mittelpunkt aber stand der in der Tiefe liegende und nicht sicher palpierbare M. pterygoideus lat., über dessen Verhalten nur wenig bekannt war.

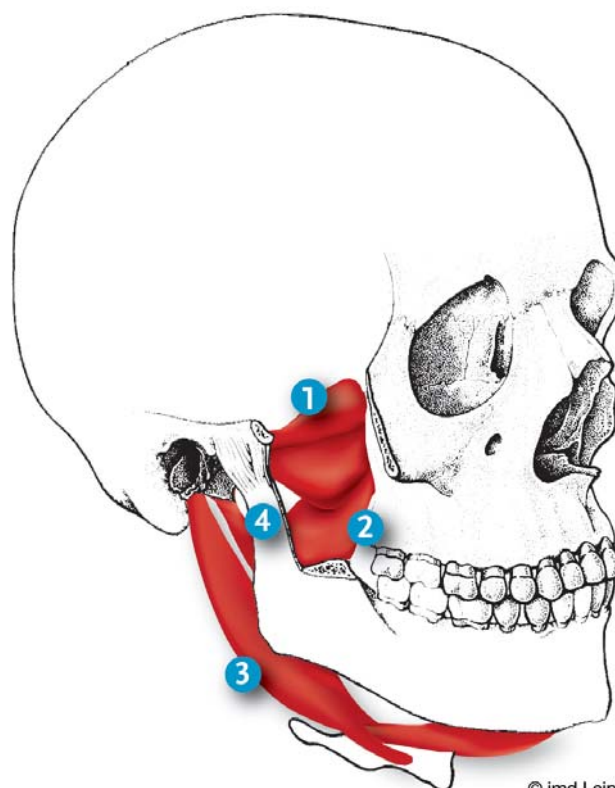
Material und Methode

Alle diese Versuche liefen über etwa zehn Jahre standardisiert mit dem gleichen Ansatz: Als Versuchstier und für die Kontrollgruppe diente das für zahnmedizinische Forschungen auf Grund seiner Zuchtlinie in-

ternational anerkannte Miniaturschwein MINI-LEWE. In der Versuchsgruppe wurde jeweils eine einseitige okklusale Störung in Form einer um 3mm überhöhten Gussfüllung in den vierten Prämolaren und ersten Molaren des rechten Oberkiefers eingebracht. Die Anzahl der Tiere innerhalb der Gruppen wurden so gewählt, dass statistisch verwertbare Ergebnisse zu erwarten waren. Die Versuche liefen über 20 bzw. 48 Wochen. Ziel der aufwändigen Experimente war es, Erkenntnisse über morphologische, histochemische, biochemische Vorgänge oder Veränderungen zu gewinnen. Auch Kaukraftmessung, Bestimmung der Muskelmasse, EMG-Ableitung wurden durchgeführt. Kooperationspartner waren die Anatomischen Institute der Universitäten Leipzig und Rostock (hier soll unbedingt Gert-Horst Schumacher hervorgehoben werden) und das Institut für Sportmedizin an der DHfK Leipzig. An dieser Stelle sollen nur die sich auf die Kaumuskeln beziehenden Studienteile diskutiert werden. [22]

Physiologie der Kaumuskulatur

Bekanntermaßen werden die Kaumuskeln entsprechend ihrer Funktion in zwei Hauptgruppen eingeteilt – die Kieferschließer (Adduktoren) und die Kieferöffner (Abduktoren). Zu den Adduktoren gehören die Mm. masseter, temporalis und pterygoideus media-



© imd Leipzig | A. Vogel

Abb. 1: 1=Musculus pterygoideus lateralis; 2=Musculus pterygoideus medialis; 3=Musculus digastricus; 4=Musculus stylohyoideus. Stilisierte Ansicht nach Entfernung der suprahyalen Muskeln und teilweiser Resektion des Unterkiefers (nach G.-H. Schumacher).

lis. Der M. pterygoideus lateralis ist ein Abduktor. Als indirekte Kieferöffner werden die oberen und unteren Zungenbeinmuskeln bezeichnet. Alle diese Muskeln haben natürlich weitere Aufgaben, vor allem im horizontalen Bereich. Aber allein solch eine grobe funktionelle Unterteilung lässt morphologische Unterschiede vermuten. Über das Faserspektrum der Kaumuskeln fanden sich in der Literatur viele Angaben, deren grobe Kennziffern durch die histochemischen Untersuchungen bestätigt wurden. Interessanter war aber herauszufinden, ob, und wenn ja, welche Veränderungen in diesem Spektrum erfolgten.

Im Faserspektrum der Adduktoren überwiegen mit 75 bis 80% die schnellen FT-Fasern (fast twitch) für schnelle, kräftige Kontraktionen. Sie haben einen glykolytischen Stoffwechsel und ermüden daher schnell. Sie werden weiter unterteilt in Fasern des Typ II A, Typ II B und Typ II X. (Diese Terminologie ist verwirrend und wird hier nicht weiter ausgeführt.) [11, 12]. Die FT-Fasern des Typs IIB sind die am schnellsten kontrahierenden. Die IIA-Fasern sind – das ist bemerkenswert – mit aerobem (oxidativem) Stoffwechsel ausgestattet. Für den Kieferöffner M. pterygoideus lateralis wird übereinstimmend ein Anteil von bis zu 70% an ST-Fasern (slow twitch) angegeben, die für langsame Kontraktionen und langdauerndes Arbeiten stehen. Die ST-Fasern sind auf Grund des aeroben Stoffwechsels weniger ermüdbar.

Veränderungen unter artifiziell gestörter Okklusion
Unter der Belastung durch die veränderte Okklusion verlagerte sich die Kaukraft auf die ungestörte Seite. Diese Anpassungsreaktion zeigte sich in morphologischen Veränderungen des Faserspektrums und auch Stoffwechseländerung. Dabei reagierten die verschiedenen Kieferschließmuskeln graduiert unterschiedlich, auch verschieden in einzelnen Stufen des Experiments. Insgesamt läßt sich festhalten:

- das Spektrum der Fasern verschob sich zugunsten der ST-Fasern,
- der Faserquerschnitt der FT-Fasern auf der nicht gestörten Seite vergrößerte sich,
- die Kaukraft auf der ungestörten Seite war über die gesamte Versuchsdauer höher als auf der okklusionsgestörten Seite.

Die stärksten morphologischen Veränderungen fanden aber im M. pterygoideus lateralis statt:

- der Anteil der ST-Fasern auf der gestörten Seite erhöhte sich signifikant
- der Querschnitt beider Fasertypen auf der gestörten Seite vergrößerte sich.
- gegen Ende des Experiments vergrößerte sich die Faserfläche auf der kontralateralen Seite, und dies am deutlichsten bei den ST-Fasern.

Die Enzymaktivität in den Adduktoren veränderte sich relativ wenig, es kam zu einem Aktivitätsrückgang des glykolytischen Stoffwechsels auf der gestörten Seite. Beim M. pterygoideus lateralis zeigte sich dagegen, dass sich der glykolytische Stoffwechsel auf der ungestörten Seite den Veränderungen nicht anpasst. Noch deutlicher zeigte sich dies beim aeroben Stoffwechsel, der sich in diesem Muskel auf beiden Seiten nicht anpasst. Diese fehlende Anpassung könnte ein Grund für die besondere Schmerzhaftigkeit des Pterygoideus lateralis sein. Dabei spielt es keine Rolle, welcher Erklärung für die Muskelschmerzen man zuneigt, der Theorie der Anhäufung von Stoffwechselprodukten oder der Theorie der Miniläsionen. Auf alle Fälle führen angehäufte Stoffwechselprodukte zu einer weiteren Steigerung des Tonus.

Diese Erkenntnis und die oben erwähnten Befunde, dass der M. pterygoideus lateralis auf der ungestörten Seite auch nach Wiederherstellen einer gleichmäßigen Okklusion weiter im Sinne einer Arbeitshypertrophie reagiert, lässt den Schluss zu, dass dieser Muskel bei CMD am häufigsten betroffen und am schmerzhaftesten ist. Insgesamt bewirkte die einseitige Okklusionsstörung entscheidende morphologische Veränderungen [18], die beim M. pterygoideus lateralis am ausgeprägtesten sind. Dieser Muskel verändert sich gravierend, da er durch Ausweich- und Abrasionsbewegungen wie auch das Suchen nach neuer Interkuspidation (einer habituellen Interkuspidation) außerordentlich beansprucht wird.

Die systematisch aufgebauten Tierversuche des Leipziger Teams zeigen eindeutig, dass schon geringe okklusale Störungen zu morphologischen und Stoffwechsel-Veränderungen führen, wenn sie über einen längeren Zeitraum bestehen. Wegen der individuellen Toleranz entstehen solch tiefgreifende Veränderungen nicht immer schon nach kurzer Zeit. Unter diesem Aspekt sind die Ergebnisse von Kurzzeitstudien über beispielsweise nur zwei Wochen kritisch zu sehen.

Internationale Forschung

Seit Jahren wird in der Abteilung für Funktionelle Anatomie des Akademischen Zentrums für Zahnmedizin in Amsterdam mittels biomechanischer Modelle über die Rolle der Kaumuskulatur geforscht. [8, 9] Dies geschieht auf der Grundlage anatomischer Parameter nach Untersuchungen an 6 bzw. 7 Leichen. Dabei muss das morphologische Geschehen im Inneren der Muskeln natürlich unberücksichtigt bleiben. Es handelt sich somit um aufschlussreiche Versuche, ideale biomechanische Abläufe besser zu ergründen.

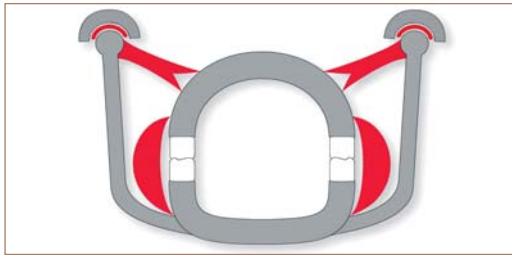


Abb. 2: Eine korrekte Okklusion bedeutet, dass die Muskeln in Balance sind.

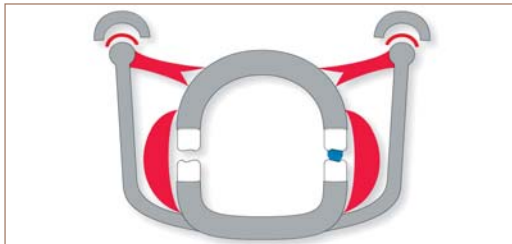


Abb. 3: Im Oberkiefer ist eine einseitige Okklusionsstörung (überhöhte Gussfüllung) eingebracht.

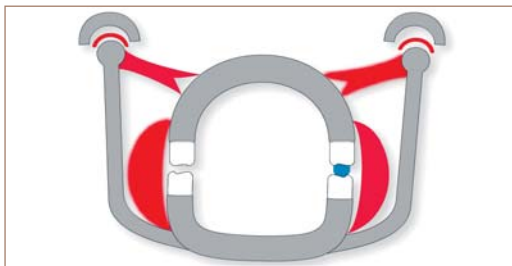


Abb. 4: Im Verlauf einiger Wochen zeigten die Kieferschließmuskeln (Mm. masseter, temporalis und pterygoideus medialis eine Veränderung im Faserspektrum auf der kontralateralen Seite. Der M. pterygoideus lateralis reagierte mit einem veränderten Faserspektrum auf der gestörten Seite.

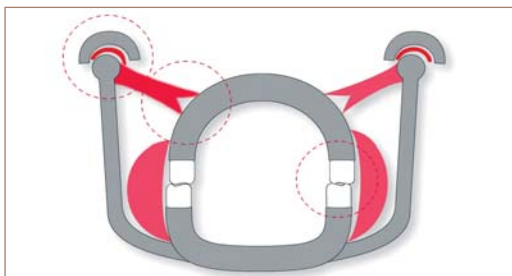


Abb. 5: In der Folge verlagern sich die Auswirkungen der Störung beim Pterygoideus lateralis auf die kontralaterale Seite. Der Muskel reagiert auch nach Entfernung der Störung weiter im Sinne einer Arbeitshypertrophie.

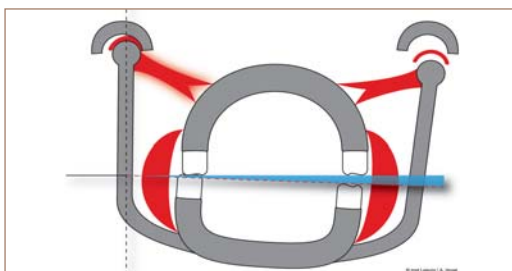


Abb. 6: Es zeigt sich deutlich eine Verschiebung der Ebenen. Diese Werte würden in den Artikulator eingegeben.

Alle Abb. © imd Leipzig/A. Vogel

Einen wesentlichen Beitrag zur Erforschung des Geschehens in der Kaumuskulatur leistet ein Team an der Zahnmedizinischen Fakultät der Universität Sydney. [15 - 18] Hier werden seit etwa zehn Jahren systematisch EMG-Untersuchungen an Patienten durchgeführt, um das Verhalten des M. pterygoideus lateralis bei variierenden Aufgaben besser zu klären. Über Jahre wurden der obere und der untere Kopf [17, 18] dieses Muskels differenziert betrachtet und in seiner Funktion in einem „klassischen Modell“ beschrieben: Der untere Kopf des M. pterygoideus lateralis ist demnach an der Mundöffnung, an der Protrusion, bei kontralateralen Unterkiefer-Bewegungen und deren Feinsteuerung beteiligt. Der obere Kopf beteiligt sich teilweise an der Schließbewegung, zudem an Protrusion und Retrusion, an ipsi- und kontralateralen Bewegungen.

Im Jahr 2006 [15] kommt das Australische Team aber zu dem Schluss, dass diese Köpfe als ein Muskel wirken, nämlich als ein System von Fasern mit variierenden Aktivitätsanteilen durch den gesamten Muskelumfang, die Aktivierung erfolgt entsprechend den biomechanischen Anforderungen der auszuführenden Aufgaben. Das Leipziger Forschungsteam hatte dieses zu seiner Prämisse gemacht und konnte sich somit bestätigt sehen.

Eine weitere Bestätigung kommt ebenfalls aus Sydney: Der M. pterygoideus lateralis erhöht bei einer einseitigen Okklusionsveränderung seine Aktivität signifikant. [5] Das Fazit der dortigen Experimente lautet, dass der M. pterygoideus lateralis eine Rolle in der Ätiologie von CMD spielen könnte. [16]

Schlussfolgerung für die Zentrik-Bestimmung

Da die Frage der Zentrik bei jeder Relationsbestimmung die entscheidende Rolle spielt, musste eine möglichst objektive Methode der Registrierung der Unterkieferposition gefunden werden. Als Grundprinzip wurde die Stützstift-Registrierung gewählt. [7, 27] Nachdem Studien ergeben hatten, dass neben der Positionierung des Stützstiftes auch die aufgewendete Kaukraft Einfluss auf das Registrat hat [25], wurde eine computergestützte Registrier-Methode entwickelt. Die Software basiert auf den Ergebnissen der Tierexperimente.

Mit dieser Methode, die als DIR®-System auf dem Markt ist, wird Licht in die „black box Kieferrelationsbestimmung“ gebracht. Es bleibt nicht mehr den individuellen manuellen Fähigkeiten des Zahnarztes vorbehalten, den „richtigen Biss“ zu finden, er kann jetzt objektiv gemessen, jederzeit reproduziert und archiviert werden. Eine erste Fallstudie [6] belegt, dass dieser Anspruch mit dem DIR®-System

eingelöst wird. An sieben Patientinnen mit manifester craniocervicaler Dysfunktion und Myopathie sowie Okklusopathie im craniomandibulären System wurden kephalometrische Parameter zur Beurteilung der Lagebeziehungen im Occiput-Atlas-Axis Komplex vor und drei Monate nach Eingliedern einer okklusal adjustierten Aufbisschiene erhoben. Es zeigte sich, dass alle Probanden vor der Behandlung eine abnorme Inklination des Dens Axis zur Schädelbasis aufwiesen, welche nach Schienentherapie bei allen Untersuchten als normgerecht eingestuft werden konnte. Die Schienentherapie erfolgte anhand der Parameter, die durch DIR®-Messung gefunden wurden. Die Probanden waren aus dem Patientenstamm einer orthopädischen Praxis ausgewählt worden.

Wie dieses Beispiel zeigt, verändert sich nicht nur die Zusammenarbeit mit der Zahntechnik. Es eröffnet sich ein großes Feld interdisziplinärer Zusammenarbeit (neben der Orthopädie seien beispielhaft HNO und Physiotherapie genannt). Um den Ursachen solch gravierender Probleme wie z.B. CMD endlich auf die Spur zu kommen, hat, wie erwähnt und von anderen Autoren gefordert, weitere Forschungsarbeit auf dem Gebiet „Kaumuskulatur, Kiefergelenke, Okklusion“ zu erfolgen.



Abb. 7: Arbeitsschema des DIR®Systems

DR. MED. HABIL. ANDREAS VOGEL

Institut für Medizin- und Dentaltechnologie GmbH
Chopinstraße 28, 04103 Leipzig
Telefon/Fax: 0341-211 00 33
E-Mail: imdleipzig@arcor.de



LITERATUR

- [1] Dibbets JMH, Tunkel C: Kiefergelenkprobleme und die Stolperstein-Theorie. *Inf Orthod Kieferorthop* 38, 185-88 (2006)
- [2] Händel L: Experimentelle Untersuchungen am Miniaturschwein (Minilewe) zur Auswirkung unilateraler Okklusionsstörungen auf die Morphologie der Strukturen beider Kiefergelenke. Ein Beitrag zur Ätiologie des Schmerz-Dysfunktions-Syndroms. *Med Dent Diss Leipzig* 1986
- [3] Hannam AG, McMillan AS: Internal Organization in the Human Jaw Muscles. *Crit Rev Oral Biol Med* 5, 55-89 (1994)
- [4] Hirsch C, John M: Prävalenz kranio-mandibulärer Dysfunktion (CMD) bei Kindern und Jugendlichen. *Dtsch Zahnärztl Zeitschr* 58, 589-92 (2003)
- [5] Huang BY, Whittle T, Murray GM: A working-side change to lateral tooth guidance increases lateral pterygoid muscle activity. *Arch Oral Biol* 5, 689-96 (2006)
- [6] Janke ATW: Auswirkung nach dem DIR-System vermessener okklusal adjustierter Aufbisschienen auf die Stellung der Halswirbelsäule bei CMD-Patienten. *MA Theses Krems* 2007
- [7] Kleinrok M: Diagnostik und Therapie von Okklusionsstörungen. Quintessenz Verlags-GmbH Berlin, Chicago 1986
- [8] Koolstra JH, van Eijden, TMGJ: Dynamics of the human masticatory muscles during a jaw open-close movement. *J Biomech* 30, 883-9 (1997)
- [9] Koolstra JH, van Eijden TMGJ: The jaw open-close movements predicted by biomechanical modelling. *J Biomech* 30, 943-50 (1997)
- [10] Koolstra JH: Three-dimensional dynamical capabilities of the human masticatory muscles. *J Biomech* 32, 145-52 (1999)
- [11] Koolstra JH: Dynamics of the Human Masticatory System. *Crit Rev Oral Biol Med* 13, 366-76 (2002)
- [12] Korfage JAM et al.: Fiber-type Composition of the Human Jaw Muscles - (part 1). Origin and Functional Significance of Fiber-type Diversity. *J Dent Res* 84, 774-83 (2005)
- [13] Korfage JAM et al.: Fiber-type Composition of the Human Jaw Muscles - (part 2). Role of Hybrid Fibers and Factors Responsible for Inter-individual Variation. *J Dent Res* 84, 784-93 (2005)
- [14] Michelotti A, Farella M et al.: Effect of Occlusal Interference on Habitual Activity of Human Masseter. *J Dent Res* 84, 644-48 (2005)
- [15] Murray, G. M., Bhutada, M., Peck, C.C., Phanachet, I., Sae-Lee, D. & Whittle, T. (2007). "The human lateral pterygoid muscle." *Arch Oral Biol*. 52. 4, 377-80.
- [16] Murray GM, Phanachet I, Uchida S, Whittle T.: The human lateral pterygoid muscle. A review of some experimental aspects and possible clinical relevance. *Austral Dent J* 49, 2-8 (2004)
- [17] Phanachet I, Whittle T, Wanigaratne K et al.: Functional Heterogeneity in the Superior Head of the Human Lateral Pterygoid. *J Dent Res* 82, 106-11 (2003)
- [18] Phanachet I, Whittle T, Wanigaratne K, Murray GM: Functional Properties of Single Motor Units in Inferior Head of Human Lateral Pterygoid Muscle: Task Relations and Thresholds. *J Neurophysiol* 86, 2204-18 (2001)
- [19] Regber K: Auswirkungen eines Kaukrafttrainings auf die Kaumuskulatur. *Med Dent Diss Freiburg i.Br.* 2002
- [20] Türp JC, Schindler HJ: Zum Zusammenhang zwischen Okklusion und Myoarthropathien. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 113, 403-11 (2002)
- [21] Ulrici V: Experimentelle Untersuchungen am Miniaturschwein (Minilewe) zur Auswirkung von unilateralen Okklusionsstörungen auf die Kaumuskulatur. Ein Beitrag zur Ätiologie des Schmerz-Dysfunktions-Syndroms. *Med Dent Diss Leipzig* 1982
- [22] Ulrici V: Die Veränderungen des arthromuskulären Gleichgewichts im orofazialen Organ durch unilaterale Interferenzen. Eine tierexperimentelle Untersuchung am Minischwein. *Habilitationsschrift Leipzig* 1991
- [23] van Eijden TMGJ, Koolstra JH, Brugman P: Architecture of the human pterygoid muscles. *J Dent Res* 74, 1489-95 (1995)
- [24] van Eijden TMGJ, Korfage JAM, Brugman P: Architecture of the human Jaw-closing and jaw-opening muscles. *The Anatom Record* 248, 464-74 (1997)
- [25] Vogel A, Jakstat H, Jüde HD: Experimentelle Untersuchungen zum Einfluß der Registrierkraft auf das Ergebnis der Stützstiftregistrierung. *Dtsch Stomatol* 40, 363-65 (1990)
- [26] v. Schilcher C: Die Position des Condylus mandibularis - eine kritische Literaturübersicht. *Med Dent Diss Würzburg* 2004
- [27] Weber NA: Untersuchung zur Präzision des intraoralen Stützstiftregistriertes bei der Ermittlung der zentrischen Kieferrelation verglichen mit der maximalen Interkuspitationsposition funktionsgesunder Probanden. *Med Dent Diss Münster* 2006