

# **Quantitative Schnittbildanalyse der mimischen Muskulatur**

Habilitationsschrift

vorgelegt am 9. Mai 2016

der Medizinischen Fakultät  
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von

Dr. med. Gerd Fabian Volk

aus Wertheim am Main

für Carl Ernst Otto Volk

**Gutachter**

1. Prof. Dr. med. Orlando Guntinas-Lichius, Jena
2. Prof. Dr. med. Hans-Joachim Mentzel, Jena
3. Prof. Dr. med. (BG) Doychin Angelov, Köln

Einreichung der Habilitationsschrift am 09.05.2016

Wissenschaftlicher Vortrag und Diskussion am 20.04.2017

Öffentliche Lehrprobe am 18.05.2017

Erteilung der Lehrbefähigung am 13.06.2017

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	4
2.	Grundlagen.....	5
2.1	Anatomie.....	5
2.2	Das Symptom der Fazialisparese.....	13
2.3	Möbius Syndrom und andere hereditäre congenitale Fazialisparesen.....	15
2.4	Kongenitales Fehlen von Gesichtsmuskeln ohne Gesichtsnervenlähmung.....	15
2.5	Elektrophysiologie der mimischen Muskulatur.....	16
2.6	Sonographie.....	17
2.7	Standardisierte Durchführung der Ultraschalluntersuchung.....	21
2.8	Magnetresonanztomographische Darstellung der mimischen und der Kaumuskulatur.....	23
2.9	Die 3D-Segmentierung von MRT-Datensätzen.....	25
3.	Zielsetzung.....	26
4.	Originalarbeiten der vorgelegten kumulativen Habilitationsschrift.....	27
4.1	Quantitative ultrasonography of facial muscles.....	27
4.2	Quantitative ultrasonography of facial muscles in patients with chronic facial palsy....	33
4.3	3D-Ultrasonography for evaluation of facial muscles in patients with chronic facial palsy or defective healing: a pilot study Palsy.....	41
4.4	Quantitative Magnetic Resonance Imaging Volumetry of Facial Muscles in Healthy and Patients with Facial Palsy.....	49
4.5	Reference values for dynamic facial muscle ultrasonography in adults.....	58
4.6	Correlation between Elektromyography and Quantitative Ultrasonography of Facial Muscles in Patients with Facial Palsy.....	74
5.	Zusammenfassung.....	84
5.1	Quantitative ultrasonography of facial muscles.....	84
5.2	Quantitative ultrasonography of facial muscles in patients with chronic facial palsy....	84
5.3	3D-Ultrasonography for evaluation of facial muscles in patients with chronic facial palsy or defective healing: a pilot study.....	86
5.4	Quantitative Magnetic Resonance Imaging Volumetry of Facial Muscles in Healthy and Patients with Facial Palsy.....	88
5.5	Reference values for dynamic facial muscle ultrasonography in adults.....	90
5.6	Correlation between Elektromyography and Quantitative Ultrasonography of Facial Muscles in Patients with Facial Palsy.....	92
6.	Ausblick.....	95
7.	Literaturverzeichnis:.....	99
8.	Anhang.....	I
8.1	Ehrenwörtliche Erklärung.....	I
8.2	Liste der Originalarbeiten.....	II
8.3	Anleitung zur Sonographie der mimischen Muskulatur.....	III
8.4	Anleitung zur quantitativen Segmentierung der mimischen Muskulatur im MRT.....	IV

## 1. Einleitung

In der Diagnostik von neuromuskulären Krankheiten gewinnen schnittbildgebende Verfahren wie Sonographie, Magnetresonanztomographie (MRT) und Computertomographie (CT) zunehmend an Bedeutung. Dies liegt sowohl am technischen Fortschritt der bildgebenden Verfahren, als auch an der zunehmenden Nutzung quantitativer Bildanalyse zur Auswertung und Beurteilung von Muskelveränderungen. Dabei werden strukturelle Veränderungen der Zielmuskeln dargestellt, die im Idealfall spezifisch für Schäden der sie innervierenden Motoneurone sind. Durch die Darstellung von Strukturveränderungen der Muskeln erlaubt die geeignete Bildgebung so bereits in einer frühen Phase die Diagnose und Klassifikation von zum Beispiel neurodegenerativen Erkrankungen (Grimm et al. 2015a, Grimm et al. 2015b).

Bislang erfolgte die Funktionsdiagnostik der Gesichtsmuskeln hauptsächlich elektrophysiologisch, beispielsweise per Elektromyographie (EMG) und evozierter Potentiale. Muskelbiopsien sind im Gesicht unüblich, da sie Schäden der kleinen Muskeln und der Nerven verursachen können. Jedoch sind EMG-Geräte nicht überall verfügbar und die nötige Erfahrung in der Durchführung und Interpretation der elektrophysiologischen Diagnostik des Gesichtes ist oft begrenzt. Zudem erlaubt die Elektrophysiologie nur die schrittweise Analyse jeweils einzelner Nervenäste bzw. der von ihnen innervierten Muskeln, so dass der Aufwand und die Belastung des Patienten für eine Analyse der Gesichtsmuskulatur mit dem Grad der gewünschten räumlichen Auflösung exponentiell ansteigen. Ähnliche Limitationen gelten für die zeitliche Auflösung, wenn die Funktion der Muskulatur in ihrem komplexen mimischen Zusammenspiel untersucht werden soll.

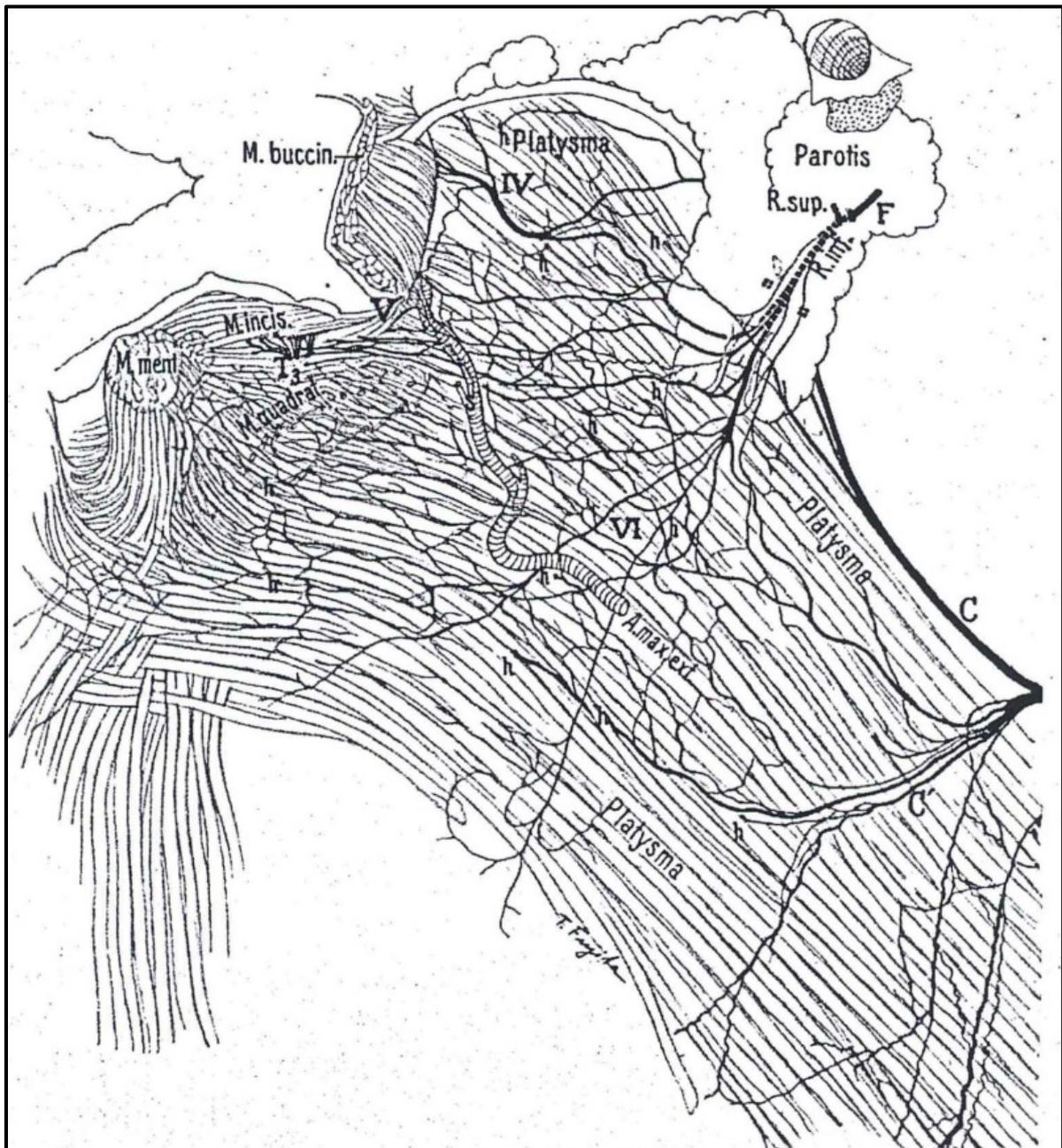
Die Muskelsonographie, und in ersten Ansätzen auch die MRT, konnten in den letzten Jahren diese diagnostische Lücke bei der Beurteilung und Quantifizierung der Muskulatur zumindest teilweise schließen: Auf große Muskeln der Extremitäten angewandt, liefern diese Techniken bereits seit Jahren gute quantitative Ergebnisse, aber ihr Einsatz bei den mimischen Muskeln war bisher auf kasuistische Berichte und Untersuchungen einzelner Muskeln beschränkt. Einheitliche Untersuchungsprotokolle, Reliabilitätsmessungen, Referenzwerte oder gar eine systematische Erfassung von pathologischen Veränderungen fehlten. Im Folgenden werden die anatomischen, pathophysiologischen, elektrophysiologischen und medizintechnischen Grundlagen dargelegt, um das Verständnis der Publikationen zu erleichtern, die in dieser publikationsbasierten Habilitation dargestellt und diskutiert werden. Besonderes Augenmerk liegt dabei, aufgrund des häufigen Auftretens, auf dem Symptom der peripheren Fazialisparese und seinen Auswirkungen auf die mimische Muskulatur.

## 2. Grundlagen

### 2.1 Anatomie

Laut der Nomina Anatomica setzt sich das System der mimischen Muskeln aus insgesamt 23 Muskeln zusammen (International Anatomical Nomenclature Committee und International Congress of Anatomists 1989). Sie sind Derivate des zweiten Pharyngealbogens und breiten sich im Verlauf der Embryonalperiode, ausgehend vom Zungenbein, flächenhaft über den Kopf aus (Scholz et al. 1988). Sie sind nicht nur für den individuellen Gesichtsausdruck eines jeden Menschen verantwortlich, sondern haben zum Teil auch wichtige Schutzfunktionen, wie den Lidschluss beim Kornealreflex. Des Weiteren sind sie essentiell für die Nahrungsaufnahme, die verbale und nonverbale Kommunikation, den emotionalen Ausdruck und damit die soziale Interaktion. Charles Darwin wies auf den Gesichtsausdruck als untrügliche und interkulturelle Quelle der Vermittlung emotionaler Botschaften hin (Darwin 1872). Guillaume-Benjamin Duchenne untersuchte den Zusammenhang zwischen Muskelkontraktionen, die er auch elektrisch provozierte, und deren emotionaler Bedeutung und dokumentierte diese bereits fotografisch. Damit gebührt ihm die Ehre, als erster die Fotografie zu wissenschaftlichen Dokumentation der mimischen Funktionen eingesetzt zu haben (Duchenne de Boulogne 1862). Jedoch ist zu beachten, dass nicht bei jedem Menschen alle 23 mimischen Muskeln angelegt sein müssen. Tatsächlich sind nur solche Muskeln konstant angelegt, die essentiell für die Expression der universellen Basisemotionen (Freude, Traurigkeit, Angst, Wut, Überraschung und Ekel) sowie für verschiedene Schutzfunktionen sind. Diese Muskeln sind der *Musculus (M.) frontalis*, *M. orbicularis oculi*, *M. zygomaticus major*, *M. orbicularis oris* und der *M. depressor anguli oris*. Die übrigen Muskeln hypomüssen für die oben genannten Funktionen nicht zwangsläufig vorhanden sein und zeigen zum Teil große Seitendifferenzen und Variabilität (Waller et al. 2008).

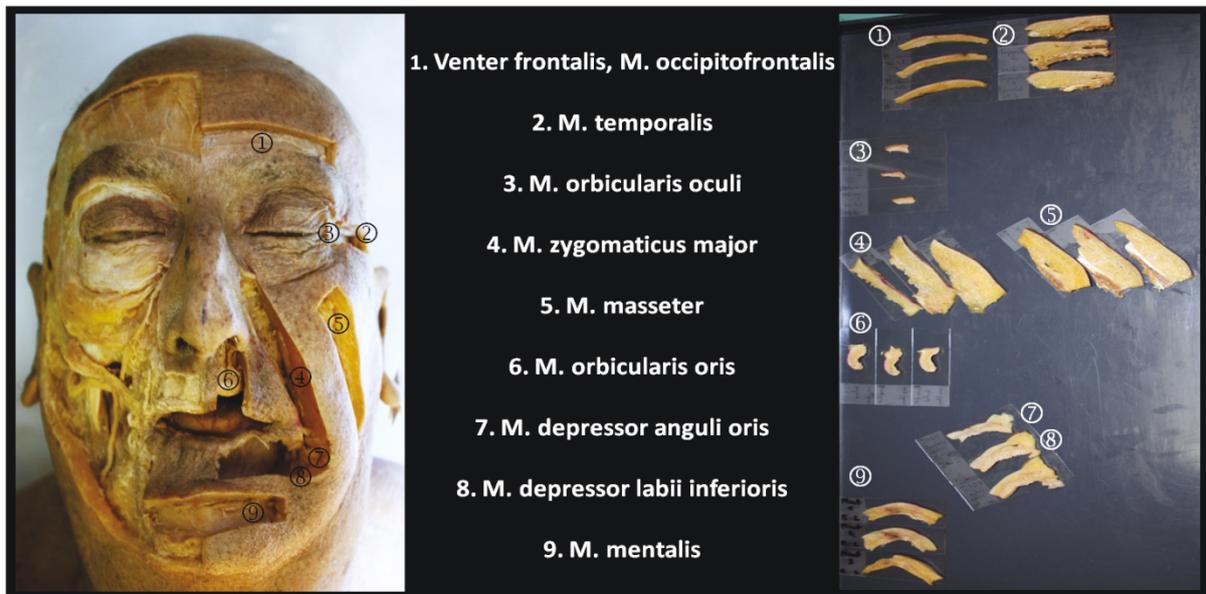
Die in vier Lagen angeordneten mimischen Muskeln besitzen mit Ausnahme des *M. buccinator* keine eigenen Faszien, sondern setzen direkt an der Haut und anderen Weichteilen des Gesichtes an (Zilles et al. 2010, Freilinger et al. 1987). Eine das Gesicht überspannende superfizielle Faszie gibt es nicht. Die Muskeln grenzen oft unmittelbar aneinander an, oder durchdringen sich gegenseitig. Eine frühe und ungewöhnlich detaillierte Darstellung dafür lieferte Tunetaro Fujita bereits 1934 (Abbildung: 1).



**Abbildung 1:** Diese bereits 1934 von Tunetaro Fujita gezeichnete Darstellung zeigt die periphere Ausbreitung des caudalen Anteils des N. facialis nach Entfernung der Knochen, von innen auf die orale und cervicale mimische Muskulatur schauend. Gleichzeitig ist das Geflecht der Muskelfasern des M. mentalis, M. incisivus (heute: M. depressor anguli oris), M. quadratus (heute: M. depressor labii inferioris), M. buccinator und des Platysma ungewöhnlich detailliert dargestellt.

Originalbeschriftung: Die Verbreitung der Rr. colli.; IV = Rr. maxillares des N. facialis; V = Rr. mandibulares.; VI = Rr. colli ; C = N. auricularis magnus; C' = N. cutaneus colli; h = Hautendäste; s = Gefäß-sympathicus.(Fujita 1934)

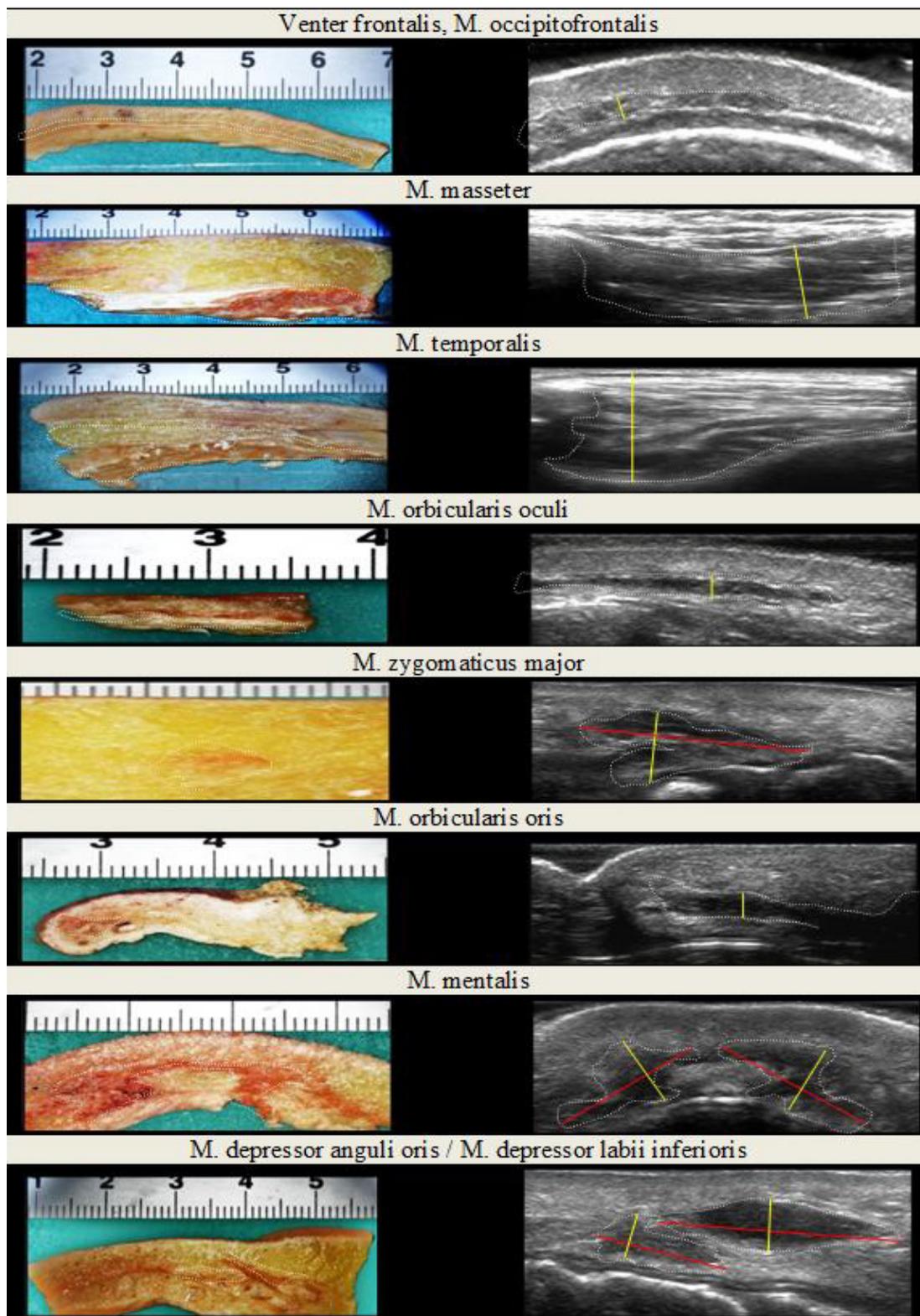
Die anatomische Gliederung der Gesichtsmuskeln wird in Ermangelung klarer struktureller Trennungen oft erst durch die Funktion und den Faserverlauf ersichtlich. Zu welchem Muskel einzelne Muskelfasern gezählt werden können, ist daher in manchen Bereichen in der klassischen anatomischen Präparation allein nicht eindeutig zu entscheiden (Abbildung 2).



**Abbildung 2: Präparation der mimischen Muskulatur und die entnommenen Schnittpräparate**

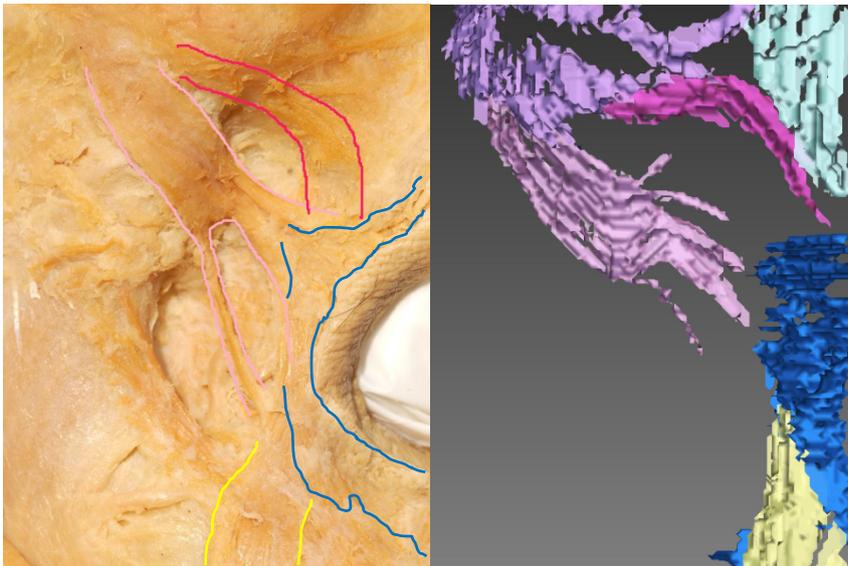
links: fixiertes Präparat. Die rechte Gesichtshälfte wurde klassisch anatomisch präpariert unter Entfernung des Fettgewebes und bewusster Präparation der a priori bekannten Muskeln. Die räumliche Tiefe, in der z.B. der M. zygomaticus im Fettgewebe liegt, geht bei dieser Präparationstechnik verloren. Der linken Gesichtshälfte wurden nach der Sonographie der Muskeln en-block-Resektionen jeweils unterhalb des Schallkopfes entnommen. Diese wurden nach Entnahme in je drei Scheiben mit zur Ultraschallebene paralleler Schnittführung zerteilt; rechts: Schnittpräparate der sonographisch identifizierten Zielmuskeln unter Erhalt des Fett- und Bindegewebes und der Haut. (Sauer 2013)

Dies macht verständlich, warum die klare Separation der Gesichtsmuskeln auch in Schnittbildern, wie sie von CT, MRT und Sonographie geliefert werden, eine Herausforderung darstellt. Um sicherzustellen, dass vom Anwender mit den neuen Schnittbildverfahren keine Artefakte erzeugt, sondern reale mimische Muskeln identifiziert werden, ist deshalb eine Präparation der Muskeln an Körperspendern sinnvoll. Idealerweise sollten bei jedem Präparat die Schnittbildverfahren zur Anwendung kommen, bevor eine anatomische Präparation erfolgt. Um einen möglichst direkten Vergleich mit den Schnittbildern zu erlauben, sind en-block-Entnahmen parallel der Schnittbild-Ebenen hilfreich (Abbildung 3). So kann die vermutete Struktur im Schnittbild mit der anatomischen Struktur verglichen und verifiziert werden.



**Abbildung 3: Vergleich der anatomischen Schnittpräparate mit den sonographischen Schnittbildern**  
 links: anatomisches Schnittpräparat entsprechend der sonographischen Schnittebene; rechts: sonographische Darstellung der entsprechenden Zielstruktur; die gelben Linien markieren den größten Querdurchmesser; die roten den größten Längsdurchmesser. Trotz der Verwendung sehr scharfer Klagen waren die Scher-Artefakte durch die Entnahme zu groß, um einen verlässlichen quantitativen Vergleich zuzulassen. Qualitativ konnte so aber in allen Fällen die korrekte sonographische Identifikation der Strukturen verifiziert werden. (Sauer 2013). Der bisher unbeschriebene intermentale Fettkörper, der sonographisch und anatomisch immer darstellbar war, ist median gut sichtbar und könnte ein spezifisches Merkmal der Homo sapiens sein.

Wenn als Endprodukt kein 2D-Schnittbild, sondern eine 3D-Rekonstruktion mit Volumeninformationen erstellt werden soll, ist eine schrittweise anatomische Präparation mit regelmäßiger Fotodokumentation sinnvoll (Abbildung 4). Ideal wäre es, auch bei der anatomischen Präparation 3D-Daten zu erfassen, wie sie 3D-Kameras oder manuelle 3D-Digitalisierer ermöglichen (zum Beispiel: MicroScribe MLX, Solution Technologies, Inc., Oella, Maryland, USA). Dies ist aber bisher noch nicht erfolgt.



**Abbildung 4:** Mm. zygomatici major (rosa) et minor (pink) dexter, ein Hauptast und kleiner Nebenast des M. zygomaticus major; links am Präparat, rechts 3D-Darstellung im MRT-Datensatz; lila: M. orbicularis oculi, blau: M. orbicularis oris, türkis: M. levator labii sup., gelb: M. depressor anguli oris (Meyer 2016)

Betrachtet man die Muskeln statt auf makroskopischer Ebene auf mikroskopisch/funktioneller Ebene, so ergibt sich eine weitere Möglichkeit der Klassifikation. Freilinger et al. haben die mimischen Muskeln entsprechend ihres Anteils an Slow-Twitch (langsam zuckende) Typ I-Fasern und Fast-Twitch (schnell zuckende) Typ II-Fasern in drei Gruppen aufgeteilt: phasische Muskeln mit 14 bis 15% Typ I-Fasern, intermediäre Muskeln mit 28 bis 37% Typ I-Fasern und tonische Muskeln mit 41 bis 67% Typ I-Fasern (Freilinger et al. 1990).

Die mimische Muskulatur, die vom N. facialis innerviert wird, unterscheidet sich in der Anzahl und Verteilung der motorischen Endplatten deutlich von denen der Skelettmuskulatur. Anstelle einer einzelnen zentral in der Muskelfaser gelegenen motorischen Endplatte besitzen die mimischen Muskeln über die gesamte Muskelfaser hinweg verteilte multiple, exzentrische Afferenzen (Happak et al. 1997). Die Muskeln der drei oberen Lagen erhalten ihre Innervation aus der Tiefe, in der unteren vierten Schicht ist sie dagegen oberflächlich und seitlich gelegen (Happak et al. 1994). Tabelle 1 gibt einen ausführlichen Überblick über den Ansatz und Ursprung, die Innervation, Blutversorgung sowie die wichtigsten Funktionen der mimischen Muskeln.

Tab. 1 Übersicht über die mimische Muskulatur (Zilles et al. 2010)

Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
<b>Muskeln des Schädeldaches</b>			
<b>M. epicranii</b>			
<b>M. occipitofrontalis</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Venter frontalis</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Venter occipitalis (M. occipitalis)</li> </ul> <p>57% Typ I Muskelfasern nach Freilinger et al.</p>	<b>Ursprung</b> über den Sehnen benachbarter Muskeln im Bereich der pars nasalis des Os frontale <b>Ansatz</b> Galea aponeurotica  <b>Ursprung</b> Linea nuchalis suprema <b>Ansatz</b> Galea aponeurotica	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rr. temporalis des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A. supraorbitalis</li> <li>▪ A. supratrochlearis</li> <li>▪ A. lacrimalis</li> <li>▪ R. frontalis der A. temporalis superficialis</li> </ul> <b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ R. occipitalis des N. auricularis posterior des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A. occipitalis</li> </ul>	Verschieben der Kopfhaut; Spannen der Galea aponeurotica; Anheben der Augenbrauen und der Stirnhaut
<b>M. temporoparietalis</b>	<b>Ursprung</b> Fascia temporalis <b>Ansatz</b> Galea aponeurotica	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rr. temporalis des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A. temporalis superficialis</li> </ul>	Verschieben der Kopfhaut; Spannen der Galea aponeurotica
<b>Muskeln im Bereich der Augenhöhle und der Lidspalte</b>			
<b>M. orbicularis oculi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pars orbitalis</li> <li>▪ Pars palpebralis</li> <li>▪ Pars lacrimalis (Horner-Muskel)</li> </ul> <p>Layer 1 und 15% Typ I Muskelfasern nach Freilinger et al.</p>	<b>Ursprung</b> Crista lacrimalis und Proc. frontalis der Maxilla <b>Ansatz</b> über der Raphe palpebralis lateralis am Os zygomaticum  <b>Ursprung</b> Lig. palpebrale mediale <b>Ansatz</b> Lig. palpebrale laterale  <b>Ursprung</b> Crista lacrimalis des Os lacrimale <b>Ansatz</b> Canaliculi lacrimales in die Pars palpebralis	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rr. temporalis</li> <li>▪ Rr. zygomatici des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A. facialis</li> <li>▪ R. frontalis der A. temporalis superficialis</li> <li>▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris</li> <li>▪ A. supraorbitalis, A. lacrimalis und A. supratrochlearis der A. ophthalmica</li> </ul>	fester Schluss der Lidspalte  Verschluss der Lidspalte, Beteiligung am Lidschlag und Stabilisierung des Unterlides zur Bildung des Tränensees Förderung des Tränenflusses, Abfluss der Tränenflüssigkeit
<b>M. corrugator supercilii</b>  <p>41% Typ I Muskelfasern nach Freilinger et al.</p>	<b>Ursprung</b> Os frontale oberhalb der Sutura frontomaxillaris, Glabella, Arcus superciliaris <b>Ansatz</b> Haut oberhalb des mittleren Drittels der Augenbraue, Galea aponeurotica	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rr. temporalis des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ supraorbitalis und A. supratrochlearis der A. ophthalmica</li> <li>▪ R. frontalis der A. temporalis superficialis</li> </ul>	Verschieben der Augenbrauenhaut nach unten medial
<b>M. depressor supercilii</b>	<b>Ursprung</b> Os frontale <b>Ansatz</b> medialer Teil der Augenbraue	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ R. temporalis des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aa. supratrochlearis und supraorbitalis der A. ophthalmica</li> </ul>	Verschiebung der Haut über der Nasenwurzel zu einer Querfalte
<b>Muskeln im Bereich der Nase</b>			
<b>M. procerus</b>  <p>14% Typ I Muskelfasern nach Freilinger et al.</p>	<b>Ursprung</b> Os nasale, Cartilago nasi lateralis <b>Ansatz</b> Haut der Glabella	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ R. zygomaticus des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A. dorsalis nasi, A. supratrochlearis und Äste der A. ethmoidalis anterior der A. ophthalmica</li> </ul>	Verschiebung der Haut über der Glabella nach unten und Bildung einer Querfalte über der Nasenwurzel
<b>M. nasalis</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pars transversa</li> <li>▪ Pars alaris</li> </ul> <p>15% Typ I Muskelfasern nach Freilinger et al.</p>	<b>Ursprung</b> Jugum alveolare des Eckzahnes bis in die Fossa canina der Maxilla <b>Ansatz</b> Aponeurose über dem Nasenrücken  <b>Ursprung</b> oberhalb des Jugum alveolare des seitlichen Schneidezahnes <b>Ansatz</b> Haut der Nasenöffnung und Nasenseptums	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rr. zygomatici des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ angularis der A. facialis</li> </ul> <b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rr. zygomatici des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A. dorsalis nasi und Äste der A. ethmoidalis anterior der A. ophthalmica</li> </ul>	Ziehen den Nasenflügel und die Nasenspitze nach unten, leichte Erweiterung des Nasenloches, Vertiefung des Nasenflügelruche

Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
<b>M. depressor septi nasi</b>	<b>Ursprung</b> oberhalb des Proc. alveolaris des ersten Schneidezahnes <b>Ansatz</b> knorpeliger Teil des Nasenseptums	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici und buccales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. labialis superior der A. facialis	Herabziehen der Nasenspitze und Erweiterung der Nasenlöcher
<b>M. levator labii superioris alaeque nasi</b>  Layer 2 nach Freilinger et al.	<b>Ursprung</b> Proc. frontalis des Maxilla, Margo infraorbitalis <b>Ansatz</b> Oberlippe, Haut der Nasenflügel	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris ▪ A. labialis superior und Äste der A. angularis der A. facialis	Anheben von Nasenflügel und Oberlippe, Erweiterung der Nasenöffnung
<b>Muskeln im Bereich des Mundes</b>			
<b>M. orbicularis oris</b>  Layer 3 und 29% Typ I Muskelfasern nach Freilinger et al.	<b>Ursprung</b> Jugum alveolare des oberen und des unteren Eckzahnes <b>Ansatz</b> Haut der Ober- und Unterlippe	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis im Bereich der Oberlippe ▪ Rr. buccales des N. facialis im Bereich des Mundwinkels ▪ R. marginalis mandibulae des N. facialis im Bereich der Unterlippe <b>Blutversorgung</b> ▪ Aa. labiales superior und inferior der A. facialis	<b>Gesamter Muskel:</b> Verengen und Schließen der Mundöffnung, Erzeugen der Lippenspannung <b>Alleinige Kontraktion der Pars marginalis:</b> Einziehen des Lippenrotanteils nach innen <b>Alleinige Kontraktion des Pars labialis:</b> Vorwölben der Lippen
<b>M. buccinator</b>  Layer 4 und 67% Typ I Muskelfasern nach Freilinger et al.	<b>Ursprung</b> Proc. alveolaris maxillae im Bereich der Molaren, Crista buccinatoria im Bereich der Unterkiefermolaren <b>Ansatz</b> Modiolus anguli oris, über dem M. orbicularis oris in der Ober- und Unterlippe	<b>Innervation</b> ▪ Rr. buccales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ Äste der A. facialis und der A. temporalis superficialis ▪ A. buccalis und A. alveolaris superior posterior der A. maxillaris	Beteiligung am Kauakt, indem er die Speise aus dem Mundvorhof zwischen die Zahnreihen und in die Mundhöhle schiebt. Erzeugung der Wangen- und Lippenspannung.
<b>M. zygomaticus major</b>  Layer 2 und 28% Typ I Muskelfasern nach Freilinger et al.	<b>Ursprung</b> Os zygomaticum vor der Sutura zygomaticotemporalis <b>Ansatz</b> Haut des Mundwinkels und der Oberlippe	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. zygomaticoorbitalis der A. temporalis superficialis ▪ Äste der A. facialis	Anheben des Mundwinkels nach außen-oben, Vertiefung der Nasolabialfurche und der Lidfurche
<b>M. zygomaticus minor</b>  Layer 1 nach Freilinger et al.	<b>Ursprung</b> Os zygomaticum medial vom M. zygomaticus major <b>Ansatz</b> Haut des Sulcus nasolabialis	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. zygomaticoorbitalis der A. temporalis superficialis ▪ Äste der A. facialis	Anheben des Mundwinkels nach außen-oben
<b>M. risorius</b>  Layer 2 nach Freilinger et al.	<b>Ursprung</b> Facia masseterica <b>Ansatz</b> Haut der Oberlippe, Schleimhaut des Vestibulum oris, Modiolus anguli oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. buccales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ Äste der A. facialis	Zug des Mundwinkels nach lateral, Vertiefung der Nasolabialfurche, Erzeugung des Wangengrübchens
<b>M. levator labii superioris</b>  Layer 3 und 31% Typ I Muskelfasern nach Freilinger et al.	<b>Ursprung</b> Margo infraorbitalis der Maxilla oberhalb des Foramen infraorbitale <b>Ansatz</b> Haut der Oberlippe und des Nasenflügels, M. orbicularis oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris ▪ A. labialis superior und Äste der A. angularis der A. facialis	Anheben der Oberlippe, Erzeugung einer Falte oberhalb und seitlich der Nasenflügel
<b>M. levator anguli oris</b> (M. caninus)  Layer 4 und 37% Typ I Muskelfasern nach Freilinger et al.	<b>Ursprung</b> Fossa canina unterhalb des Foramen infraorbitale <b>Ansatz</b> Haut und Schleimhaut des Mundwinkelbereiches, Modiolus anguli oris, M. orbicularis oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris ▪ Äste der A. angularis und A. labialis superior der A. facialis	Anheben des Mundwinkels nach kranial-medial
<b>M. depressor anguli oris</b> (M. triangularis, M. incisivus inferioris)  Layer 1 und 37% Typ I Muskelfasern nach Freilinger et al.	<b>Ursprung</b> Basis mandibulae vom Tuberculum mentale bis zum Jugum alveolare des ersten Molaren <b>Ansatz</b> Haut des Mundwinkels, Modiolus anguli oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. buccales des N. facialis ▪ variabel: R. marginalis mandibulae <b>Blutversorgung</b> ▪ Äste der A. facialis ▪ A. labialis inferior der A.	Zug des Mundwinkels nach unten
<b>M. depressor labii inferioris</b>			

Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
(M. quadratus inferioris) Layer 2 und 46% Typ I Muskelfasern nach Freilinger et al.	<b>Ursprung</b> Basis mandibulae unterhalb des Foramen mentale (Verbindung zum Platysma) <b>Ansatz</b> Haut und Schleimhaut der Unterlippe, Haut des Kinnwulstes, M. orbicularis oris	facialis <b>Innervation</b> ▪ R. marginalis mandibulae des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. labialis inferior der A. facialis	Zug der Unterlippe nach unterlateral, Vorwölbung des Lippenrotos
<b>M. mentalis</b> Layer 4 und 30% Typ I Muskelfasern nach Freilinger et al.	<b>Ursprung</b> Jugum alveolare des seitlichen Schneidezahnes der Mandibula <b>Ansatz</b> Haut des Kinns	<b>Innervation</b> ▪ R. marginalis mandibulae des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. labialis inferior der A. facialis	Verschieben der Haut des Kinns nach oben
<b>Extrinsische Muskeln des äußeren Ohres</b>			
<b>M. auricularis anterior</b>	<b>Ursprung</b> Fascia temporalis, Galea aponeurotica <b>Ansatz</b> Spina helix der Ohrmuschel	<b>Innervation</b> ▪ Rr. temporalis des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ temporalis superficialis	rudimentär: Zug der Ohrmuschel nach vorn
<b>M. auricularis superior</b>	<b>Ursprung</b> Galea aponeurotica <b>Ansatz</b> Hinterfläche der Ohrmuschel im Bereich der Eminentia scaphae und der Eminentia fossae triangularis, Spina helix	<b>Innervation</b> ▪ Rr. temporalis und R. auricularis des N. auricularis posterior des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. temporalis superficialis ▪ A. auricularis posterior	rudimentär: Zug der Ohrmuschel nach oben
<b>M. auricularis posterior</b>	<b>Ursprung</b> Proc. mastoideus, Linea nuchalis superior <b>Ansatz</b> Eminentia conchae der Ohrmuschel	<b>Innervation</b> ▪ R. auricularis des N. auricularis posterior des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. auricularis posterior ▪ R. auricularis der A. occipitalis	rudimentär: Zug der Ohrmuschel nach hinten
<b>Intrinsische Muskeln des äußeren Ohres</b>			
<b>M. helix major</b>	<b>Ursprung</b> Cartilago auriculae <b>Ansatz</b> Spina helix	<b>Innervation</b> ▪ Äste des N. fazialis <b>Blutversorgung</b> Aa. auriculares anteriores aus A. temporalis superficialis	rudimentär: Verengung des Gehörgangs; Ko-Innervation beim Sprechen, Kauen und Schlucken; Beteiligung beim okuloauriculären Phänomen
<b>M. helix minor</b>	<b>Ursprung</b> Cartilago auriculae <b>Ansatz</b> Crus helix	<b>Innervation</b> ▪ Äste des N. fazialis <b>Blutversorgung</b> Aa. auriculares anteriores aus A. temporalis superficialis	rudimentär: Verengung des Gehörgangs; Ko-Innervation beim Sprechen, Kauen und Schlucken; Beteiligung beim okuloauriculären Phänomen
<b>M. tragicus</b>	<b>Ursprung</b> Cartilago auriculae <b>Ansatz</b> Lamina tragi	<b>Innervation</b> ▪ Äste des N. fazialis <b>Blutversorgung</b> Aa. auriculares anteriores aus A. temporalis superficialis	rudimentär: Verengung des Gehörgangs; Ko-Innervation beim Sprechen, Kauen und Schlucken; Beteiligung beim okuloauriculären Phänomen
<b>M. antitragicus</b>	<b>Ursprung</b> Fissura antitragohelicana der Antihelix <b>Ansatz</b> Cartilago antitragi	<b>Innervation</b> ▪ Äste des N. fazialis <b>Blutversorgung</b> Aa. auriculares anteriores aus A. temporalis superficialis	rudimentär: Verengung des Gehörgangs; Ko-Innervation beim Sprechen, Kauen und Schlucken; Beteiligung beim okuloauriculären Phänomen
<b>M. obliquus auriculae</b>	<b>Ursprung</b> Eminentia fossae triangularis <b>Ansatz</b> Eminentia conchae	<b>Innervation</b> ▪ Äste des N. fazialis <b>Blutversorgung</b> Aa. auriculares anteriores aus A. temporalis superficialis	Faltung der Antihelix in der Embryonalentwicklung; Ko-Innervation beim Sprechen, Kauen und Schlucken; Beteiligung beim okuloauriculären Phänomen
<b>M. transversus auriculae</b>	<b>Ursprung</b> Eminentia fossae scaphae <b>Ansatz</b> Eminentia conchae	<b>Innervation</b> ▪ Äste des N. fazialis <b>Blutversorgung</b> Aa. auriculares anteriores aus A. temporalis superficialis	Faltung der Antihelix in der Embryonalentwicklung; Ko-Innervation beim Sprechen, Kauen und Schlucken; Beteiligung beim okuloauriculären Phänomen
<b>Muskeln im Bereich des Mittelohres</b>			
<b>M. stapedius</b>	<b>Ursprung</b> Eminentia pyramidalis <b>Ansatz</b> Hals des Stapes	<b>Innervation</b> ▪ R. stapedius des N. facialis	Verkippt den Stapes und spannt damit das Ligamentum anulare stapedis im Fenestra ovalis.
<b>Muskeln des Halses</b>			
<b>Platysma</b> Layer 2 und 32% Typ I Muskelfasern nach Freilinger et al.	<b>Ursprung</b> Basis mandibulae <b>Ansatz</b> Haut der oberen Brustregion	<b>Innervation</b> ▪ R. colli des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ R. superficialis der A. transversa colli ▪ A. submentalis der A. facialis	<b>Gesichtsteil:</b> Herabziehen der Mundwinkel nach lateral <b>Halsteil:</b> Verschieben der Haut zur Mandibula Spannen von Haut und Unterhautgewebe

Die Kaumuskulatur liegt tiefer als die Gesichtsmuskeln und wird durch den N. trigeminus innerviert. Durch ihre Funktion, das Kiefergelenk bzw. den Unterkiefer gegen den Oberkiefer zu bewegen, entspricht sie der klassischen Skelettmuskulatur, die an Knochen entspringt und an anderen Knochen ansetzt, die über Gelenke miteinander verbunden sind. Da der M. temporalis und der M. masseter von Läsionen des N. facialis nicht direkt betroffen sind, eignen sie sich als Kontrollen bzw. Referenzmuskeln für Bildgebungsstudien der mimischen Muskeln, wenn Patienten mit isolierten Fazialispareesen untersucht werden sollen.

## *2.2 Das Symptom der Fazialisparese*

Die einseitige akute periphere Fazialisparese ist die häufigste Krankheit des N. facialis und damit der mimischen Muskulatur. Die meisten Fälle werden nach einer Ausschlussdiagnostik als idiopathische akute Gesichtslähmung diagnostiziert (auf Englisch: Bell's Palsy) (Gilden 2004). Mit einer Inzidenz von 53,3/100.000 Einwohner/Jahr (Monini et al. 2010) und einer Heilungsquote zwischen 73 % (Volk et al. 2013a) und 94–96 % (Heckmann et al. 2012, Sullivan et al. 2007) heilen jährlich immer noch 2 - 14 Fazialispareesen pro 100.000 Einwohner nicht vollständig aus.

Neben der idiopathischen Fazialisparese sind Schädeltraumata, Infektionen, oder Tumore weitere häufige Ursachen von Gesichtsnervenschädigungen.

Je nach Ursache und Schwere der Nervenschädigung, kann es zu einer vollständig reversiblen Neurapraxie kommen, bei der die Axone erhalten bleiben und nur die Erregungsweiterleitung temporär gestört ist (Seddon et al. 1943). Im Gegensatz dazu kommt es bei der Axonotmesis zu einer strukturellen Zerstörung von Axonen, bei der Neurotmesis sogar zur Zerstörung der ganzen Nerven, so dass es zu Denervierungen von Muskelfasern und mindestens zu einem langanhaltenden Funktionsausfall kommt. Durch eine Denervierung kommt es im Muskel grundsätzlich zu einem zunehmenden Volumenverlust und einer Abnahme des Muskelfaserdurchmessers (Midrio 2006). Bislang ist jedoch unklar, wie langanhaltend und stark ausgeprägt eine Gesichtsnervenlähmung sein muss, um eine auch mit bildgebenden Verfahren wie Ultraschall, MRT oder CT messbare Volumenabnahme erfassen zu können, sei sie durch Verlust des Muskeltonus oder, bei längerer Parese, durch Muskelatrophie verursacht.

Im Gegensatz zu peripheren Paresen führen zentrale faziale Paresen, die durch intrazerebrale, meist kontralaterale Pathologien verursacht werden, zu Schädigung des ersten Motorneurons, nicht aber des zweiten. Deshalb ist auch keine direkte Denervierungs-Atrophie, sondern

vermutlich eine Inaktivitätsatrophie zu erwarten. Quantitative Daten dazu stehen bisher aber noch aus.

Eine besondere Form der Denervierung ist die Injektion von Botulinumtoxin, das zur Blockade der Synapsen des zweiten Motorneurons von den motorischen Endplatten an den Muskelfasern führt. Der Effekt dieser chemischen Denervierung einzelner Gesichtsmuskeln lässt sich im MRT mit Vorher-Nachher-Untersuchungen nachweisen: Einen Monat nach Injektion nimmt das Volumen ab – dieser Effekt hält für ungefähr ein Jahr an (Koerte et al. 2013).

Der Masseverlust von mimischen Muskeln bis zur fortgeschrittenen Muskelatrophie, wie sie im Falle einer chronischen Fazialisparese ohne Reinnervation zu erwarten ist, scheint über Jahre abzulaufen, ohne dass bisher longitudinale quantitative Daten vorliegen.

Ein im MRT mithilfe von Sequenzen mit dünner Schichtstärke und einem T<sub>1</sub> gewichteten Bildkontrast nachgewiesener Volumenschwund der mimischen Muskulatur nach tumorbedingter Nervenschädigung wurde an zwei Patientenbeispielen bereits 2001 beschrieben (Fischbein et al. 2001). In einer Studie von Gargulio et al. 2011 gelang es, mit Hilfe eines 3 Tesla MRT einzelne mimische Muskeln direkt zu visualisieren und diese mit einer Segmentierungssoftware zu quantifizieren. Damit konnten erstmals Seitendifferenzen der Muskelvolumina und -grauwerte bei Patienten mit einseitiger Fazialisparese nachgewiesen werden (Gargiulo et al. 2011b).

Der Nachweis dieser vermuteten deutlichen Abnahme des Muskelvolumens sollte eine erste klinische Anwendung der hier präsentierten quantitativen Muskeldarstellung sein. Eine Zunahme des Muskelvolumens, wie sie zum Beispiel nach erfolgreicher Gesichtsnervenrekonstruktion und daraus resultierender Reinnervation der mimischen Muskeln auftritt, sollte im Umkehrschluss ebenfalls darstellbar sein. Dabei spielt das gute Regenerationsvermögen von Axonen im peripheren Nervensystem eine wichtige Rolle: Nach axonalen Nervenschädigungen und der Phase der Wallerschen Degeneration, in der distal der Schädigung gelegene Axone untergehen, bilden die proximalen Axon-Stümpfe Wachstumskegel, die versuchen über die Läsionsstelle in die alten Myelinscheiden Richtung denervierter Muskel zu wachsen. Durch Sprossbildung und Polyinnervation gelingt zwar oft einer Reinnervation der mimischen Muskulatur durch den N. facialis. Gleichzeitig ist eine exakte Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes aufgrund genau dieser Fehl- und Überreaktionen bei der Reinnervation praktisch ausgeschlossen (Kimura et al. 1975). Man spricht dabei von Synkinesien, Kontrakturen und Massenbewegungen nach Defektheilung einer peripheren Fazialisparese.

### *2.3 Möbius Syndrom und andere hereditäre congenitale Fazialispareesen*

Fällt nach der Geburt eines Kindes ein sogenanntes asymmetrisches Schreigesicht auf, oder gar beidseits Defizite der Mimik, sollte dies, neben der Suche nach weiteren Organschäden, wie Herzfehlern, oder Fehlbildungen der Hirnnerven und des zentralen Nervensystems, die Abklärung der folgenden Differenzialdiagnosen anstoßen:

Das Möbius Syndrom ist ein genetisches Syndrom, das durch eine bilaterale Fazialisparese charakterisiert ist, die gemeinsam mit anderen Hirnnervenlähmungen auftreten kann (der N. abducens ist häufig mitbetroffen). Das Möbius Syndrom ist eine komplexe congenitale Anomalie der hinteren Schädelgrube mit Hypoplasie des kompletten Hirnstamms und Zeichen neuronaler Degeneration (Steenvoorden et al. 2005). Die fehlende Anlage der Gesichtsmuskeln ist deshalb typisch für das klinische Gesamtbild und sollte mittels bildgebender Verfahren überprüft werden.

Im Gegensatz dazu kann die hereditäre Fazialisparese in sehr variablen Ausprägungen und einseitig oder beidseitig auftreten. Die Hypoplasie ist auf den Nucleus facialis beschränkt. Deshalb können bei betroffenen Patienten oft Gesichtsmuskeln mit sehr variabler Schädigung und auch Restfunktion nachgewiesen werden. Für die Differenzialdiagnose zu einer peripheren Fazialisparese, wie sie durch ein Geburtstrauma auftreten kann, ist es wichtig zu prüfen, ob die Gesichtsmuskeln vorhanden sind und in welchem Zustand sie sich befinden. Obwohl bei Säuglingen mit unklarer Gesichtsnervenlähmung häufig ein MRT veranlasst wird, liegt dabei das Augenmerk des Radiologen primär auf zentralen Veränderungen. Das teilweise in den gleichen Sequenzen auch eine Aussage über den Status der mimischen Muskeln möglich ist und dies für die korrekte Diagnose und die optimale Wahl der Therapie entscheidende Hinweise liefern kann, wird bislang oft übersehen.

### *2.4 Kongenitales Fehlen von Gesichtsmuskeln ohne Gesichtsnervenlähmung*

Der M. risorius und der M. zygomaticus minor fehlen bei manchen Menschen bei sonst normaler Anlage des N. facialis und ohne klinische Relevanz (Nada et al. 1998). Die Inzidenz einer kongenitalen einseitigen Aplasie des M. depressor anguli oris wird auf 0,31% geschätzt (Lahat et al. 2000). Diese angeborene Anomalie verursacht ein asymmetrisches Schreigesicht des Neugeborenen und fällt deshalb den Eltern und Kinderärzten auf. Mit einer Bildgebung

der Gesichtsmuskeln lässt sich eine schwerwiegendere Fehlbildung, die weitere Gesichtsmuskel und den N. facialis selbst betreffen würde, ausschließen (Sapin et al. 2005 ).

### *2.5 Elektrophysiologie der mimischen Muskulatur*

In der Hoffnung auf objektive und reliable Testergebnisse ist die Elektrophysiologie ein integraler Bestandteil der heutigen klinischen Routinediagnostik bei Fazialisparesen. Gerade zur Abschätzung der Heilungsaussichten ist sie geeignet, denn die Schwere der Verletzung des N. facialis hängt direkt mit den später zu erwartenden Fehlfunktionen zusammen (Seddon et al. 1943). In den ersten Tagen nach Auftreten der Parese kann die Nadel-EMG-Untersuchung den kompletten elektrophysiologischen Leitungsblock sichern. Eine Degeneration synaptischer Endplatten bei höhergradiger (struktureller) Schädigung von Axonen (Axonotmesis) tritt erst fünf bis zehn Tage später auf, dies wird durch den Nachweis von pathologischen spontanen Fibrillations-Potentialen sichtbar (Karnes und March 1993). Daher empfiehlt es sich, bei kompletter peripherer Fazialisparese kasuistische Berichten 2-3 Wochen nach Beginn der Lähmung eine Nadel-EMG-Untersuchung zum Nachweis einer pathologischen Denervierungsaktivität durchzuführen. Dann besitzt die Untersuchung einen hohen prädiktiven Wert zur Vorhersage einer Defektheilung (Sittel et al. 2001, Grosheva et al. 2008). Der Seitenvergleich der durch Kontraktionen der mimischen Muskulatur hervorgerufenen Amplituden nach Stimulation am Foramen stylomastoideum (Fazialis-Neurographie) ist wegen fehlender Objektivität, Reliabilität und Teststabilität nicht zu empfehlen. Durch die zusätzliche Ableitung des Blinkreflexes können pathologische Latenzzeitveränderungen im Eigenreflexbogen R1, sowie pathologische Veränderungen im Bereich des Hirnstamms, vornehmlich im Bereich der monosynaptischen Umschaltstelle zwischen N. trigeminus und N. facialis, ausgeschlossen werden. Um eine Aussage über zentrale Komponenten einer Fazialisparese machen zu können, kann zusätzlich der Blinkreflex abgeleitet werden. Lediglich in wenigen spezialisierten Zentren steht die Magnetstimulation zur Verfügung. Hierbei wird mit Feldstärken von bis zu 3 Tesla über eine Spule ein Stromfluss im darunter liegenden Liquor induziert und so der N. facialis direkt oder kortikal kontralateral stimuliert. Die Magnetstimulation ist das einzige elektrophysiologische Verfahren, bei dem eine Stimulation proximal der (vermuteten) Läsionsstelle des Nervs möglich ist. Da es in Einzelfällen aber auch bei geringgradiger Schädigung des Nerven zu einem kompletten Ausfall der magnetischen Stimulierbarkeit kommen kann und des Weiteren auch unter idealen Bedingungen keine graduellen Werte sondern nur eine Ja-Nein-Antwort

erfasst wird, ist eine Interpretation der Ergebnisse schwierig und zur Zeit nicht für die klinische Routineuntersuchung geeignet.

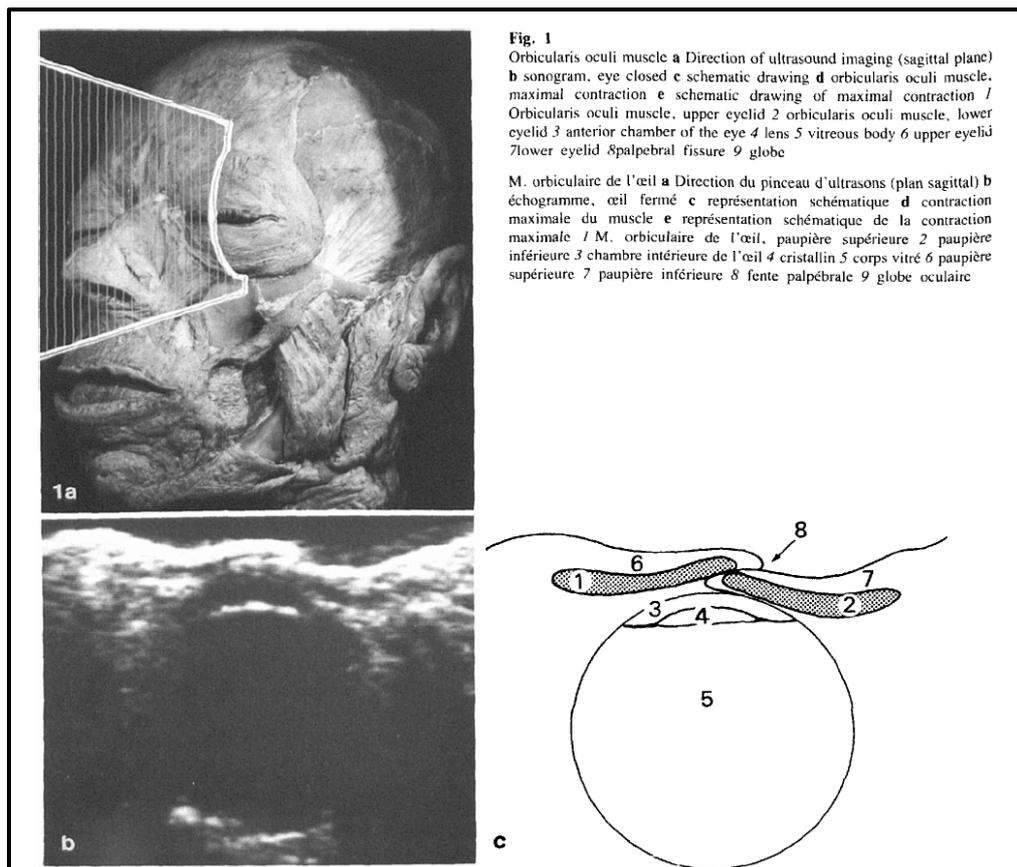
Die Schwere der axonalen Schädigung kann also elektrophysiologisch mit Einschränkungen beurteilt werden; die Willküraktivität eines innervierten Muskels lässt sich mittels Oberflächen- oder Nadel-EMG sogar gut quantifizieren. Besteht aber ein Nervenschaden schon lange und werden Nervenrekonstruktionen zur Reinnervation der denervierten Muskulatur erwogen, scheint das Ausmaß der Atrophie einen großen Einfluss auf den Erfolg der Operation zu haben (Grosheva et al. 2008, Guntinas-Lichius et al. 1997). Leider kann die elektrophysiologische Routinediagnostik aktuell nur über die Einstichaktivität bei der Nadel-EMG-Untersuchung Rückschlüsse auf das Ausmaß der Atrophie der mimischen Muskeln geben: Wird die EMG-Nadel durch den zu untersuchenden Muskel bewegt und trifft dabei auf noch zur Depolarisation fähige Muskelfasern, so kann oft eine durch die Nadel provozierte sogenannte Einstichaktivität ausgelöst und detektiert werden. Wenn diese sehr viel seltener auftritt als in gesunden Muskeln, ist von einer starken Atrophie mit Umbau des Muskels in Fett- und Bindegewebe auszugehen. Lassen sich gar keine depolarisierbaren Muskelfasern mehr nachweisen, ist der Erfolg einer Reinnervations-Operation fraglich. Jedoch ist die Einschätzung, ob Einstichaktivität vorhanden ist, sehr von der Ausbildung des Untersuchers, aber auch dessen Willen, möglichst viele Muskeln an verschiedenen Stellen zu testen, abhängig. Verlässliche, objektive Tests zur Quantifizierung der Muskelatrophie bietet die Elektrophysiologie aktuell nicht. Bildgebende Verfahren wie die Sonographie und die MRT der mimischen Muskulatur, wie in den hier vorgelegten Arbeiten, aber auch das CT, könnten diese diagnostische Lücke schließen. Auch ist zu erwarten, dass Aussagen über die Atrophie von Muskeln nicht nur für die mimische Muskulatur, sondern in ähnlicher Weise für alle Muskeln getroffen werden können. Voraussetzung dafür sind aber jeweils standardisierte Untersuchungsprotokolle und alters- und geschlechtsspezifische Referenzwerte für jeden untersuchten Muskel.

## *2.6 Sonographie*

Die Sonographie war das erste bildgebende Verfahren, mit dem muskuläre Erkrankungen dargestellt werden konnten. Die freie Wahl der geeigneten Bildebene, die hohe räumliche Auflösung sowie die Möglichkeit, sowohl statische als auch dynamische Untersuchungen durchführen zu können, sind die Hauptvorteile der Sonographie gegenüber MRT oder CT. Daher sind Muskeln eine der am präzisesten durch Sonographie beurteilbaren

Weichteilgewebe (VanHolsbeeck und Introcaso 2001, Peetrans 2002). Bisher hat dabei die dreidimensionale Volumetrie der Muskulatur kaum Bedeutung (Delcker et al. 1999). Stattdessen erfolgt eine Untersuchung hauptsächlich im zweidimensionalen B-Mode unter Berücksichtigung der geometrischen Größe, der Binnenstruktur und der Echogenität, in wenigen Fällen auch der Bewegung. Die sonographische Untersuchung von Muskeln sollte nach Möglichkeit vergleichend beidseitig, mit Bezug auf feste Landmarken, sowie unter konstanter Schallkopfposition und Druckapplikation durchgeführt werden (Walker et al. 1990). Pathologische Prozesse wie z. B. Atrophie können unter anderem durch die Vermessung der Muskelgröße, sowie durch gesteigerte Echogenität durch vermehrte Fetteinlagerung im Muskel diagnostiziert und quantifiziert werden (Scholz et al. 1988, Peetrans 2002).

Bereits 1988 gelang es einer Arbeitsgruppe aus Wien, verschiedene mimische Muskeln von 15 Freiwilligen sonographisch darzustellen (Balogh et al. 1988a). Von dieser Arbeitsgruppe wurde die Sonographie als wertvolle diagnostische Zusatzuntersuchung bei peripherer Fazialisparese, zur Planung plastischer und rekonstruktiver Operationen, sowie zur Verlaufskontrolle angesehen. Aufgrund der technischen Limitationen der damaligen Geräte konnten schallkopfnahen Strukturen jedoch nur mangelhaft beurteilt werden, wie Abbildung 5 verdeutlicht. Durch die Verwendung von Vorlaufstrecken konnten viele mimische Muskeln sonographisch dargestellt werden, obwohl damalige Ultraschallköpfe eine schlechte Darstellung im Nahfeld hatten.



**Abbildung 5:** Die Teilabbildung 1b aus der Publikation „Sonoanatomy of the muscles of facial expression“ (Balogh et al. 1988a) verdeutlicht die schlechte räumliche Auflösung selbst unter Verwendung von Hilfsmitteln wie Vorlaufstrecken. Teilabbildung 1a zeigt die Ultraschallebene auf einem anatomisch präparierten Kopf; Teilabbildung 1c trägt durch eine Skizzierung der in Teilabbildung 1b dargestellten Strukturen zur Orientierung in der Sonographieabbildung bei.

Die Veränderungen der Muskelgröße und -echogenität bei Patienten mit Fazialisparese konnte bereits nachgewiesen werden und wurde in mehreren Publikationen kasuistisch beschrieben (Balogh et al. 1988a, Balogh et al. 1988b, Czembrerek et al. 1988, Frühwald 1988, Millesi et al. 1988, Scholz et al. 1988). Eine weitere Anwendung der Sonographie der mimischen Muskulatur, oder gar die Übernahme der Technik durch andere Kliniken oder Forschergruppen blieb vorerst aus.

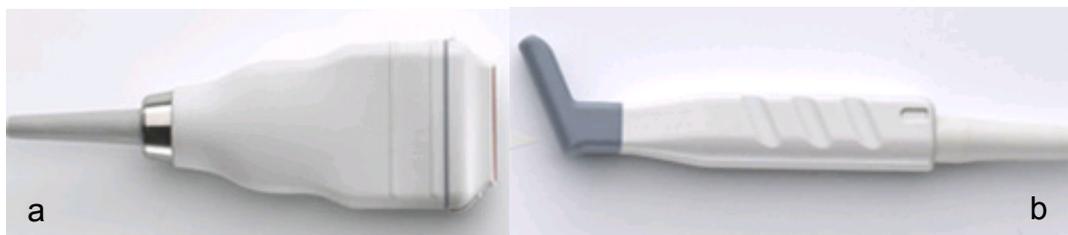
Erst in den letzten Jahren ist es aufgrund der stetigen Weiterentwicklung der Ultraschalltechnik und der Verwendung von hochfrequenten Linearschallköpfen mit besserer Bildauflösung, insbesondere im Nahfeld, zu einer Wiederentdeckung der Sonographie für die mimische Muskulatur gekommen. Weiterhin ist es mit Hilfe entsprechender Bildanalysesoftware nun möglich, Strukturen im sonographischen Bild im Submillimeter-Bereich zu vermessen. Vor diesem technischen Hintergrund ist es in den letzten Jahren verschiedenen Forschungsgruppen gelungen, einzelne mimische Muskeln und Kaumuskel sonographisch darzustellen und teilweise auch zu quantifizieren. So konnten bereits die

circumorale Muskulatur (Vinkka-Puhakka et al. 1989), die Heber der Oberlippe (McAlister et al. 1998) und der M. depressor anguli oris und labii inferioris (Roedel et al. 1998) dargestellt werden. Die Quantifizierung einzelner Muskeln zeigte weiterhin, dass der M. zygomaticus major bei Frauen eine signifikant größere Querschnittsfläche hat als bei Männern (McAlister et al. 1998) und dass der M. levator labii superioris beim Lächeln eine entscheidende funktionelle Bedeutung hat (Satiroglu et al. 2005). Von klinischer Bedeutung ist die sonographische Untersuchung des M. orbicularis oris, sowohl in Ruhe als auch in Kontraktion, was zur Verlaufskontrolle der Muskelentwicklung nach Rekonstruktion einer Lippenspalte verwendet werden kann (de Korte et al. 2009). Der M. masseter sowie der M. temporalis wurden vor allem in orthodontischen Studien untersucht: Die Muskeln wurden dabei in verschiedenen Schnittebenen dargestellt und entsprechend quantifiziert (Raadsheer et al. 2004, Rani und Ravi 2010, Kiliaridis und Kalebo 1991). Die Erstellung von Referenzwerten von 16 Probanden für den M. orbicularis oculi (Demirci und Nelson 2007) und eine sonographische Funktionsbeurteilung der Tränenwege bei unterschiedlich stark ausgeprägten Fazialispareesen gelang mit hochfrequenten Schallköpfen, wie sie in der Ophthalmologie weiter verbreitet sind (Al-Faky 2013).

Trotz der technischen Fortschritte der Sonographie hat die Methode bei der Darstellung und Quantifizierung der mimischen Muskulatur auch heute noch Limitationen: So kann im Gegensatz zum EMG mittels Sonographie ein frühe bzw. leichte Denervierung, oder Reinnervation, nur schwer aufgedeckt werden (Walker et al. 1990). Weiterhin ist es bisher noch nicht gelungen, die komplette mimische Muskulatur sonographisch darzustellen (McAlister et al. 1998, Scholz et al. 1988). Dementsprechend gab es bislang weder Referenzbereiche der Muskelgrößen und deren Muskeldynamik, noch ein klinisch anwendbares Untersuchungsprotokoll zur Darstellung und Quantifizierung der gesamten mimischen Muskulatur. Auch die Rolle der Sonographie bei der Diagnostik und Verlaufskontrolle der peripheren Fazialisparese blieb bisher weitestgehend unbeleuchtet. Erst seit 2012 sind Untersuchungsprotokolle zur Quantifizierung der mimischen Muskulatur veröffentlicht worden (Volk et al. 2013b, van Alfen et al. 2013). Geschlechts- und altersspezifische Referenzwerte sowie klinische Daten in Bezug auf die periphere Fazialisparese folgten (Volk et al. 2014c, Volk et al. 2014b, Sauer et al. 2016).

## 2.7 Standardisierte Durchführung der Ultraschalluntersuchung

Durch die verbesserte Bildqualität heutiger Ultraschallgeräte, gerade im Nahbereich, ist inzwischen eine gute Identifikation der mimischen Muskeln möglich. Um aber vergleichbare Messergebnisse zu erzeugen, sind detaillierte Protokolle notwendig, die eine standardisierte quantitative Ultraschalluntersuchung der wichtigsten Gesichtsmuskeln beschreiben. Diese liegen seit 2012 aus zwei Arbeitsgruppen vor (van Alfen et al. 2013, Volk et al. 2013b). Diesen Untersuchungsprotokollen folgend, wurden alters- und geschlechtsspezifische Referenzwerte für die dynamische Sonographie der mimischen Muskulatur von Erwachsenen veröffentlicht (Volk et al. 2014b). Die Anwendbarkeit in der Klinik konnte an Patienten mit chronischer Fazialisparese und fehlerhafter Reinnervation nach axonalem Schaden des N. facialis gezeigt werden (Volk et al. 2014b).



**Abbildung 6:** Im Rahmen der vorliegenden Arbeit verwendete Ultraschallköpfe: Links (a) ist der L12-3 Linearschallkopf mit 3-12 MHz dargestellt, rechts (b) der L15-7io „Hockey Stick“-Linearschallkopf. Die größere Aufstandslänge des L12-3 von 35 mm ermöglicht die Darstellung von größeren Muskeln und schließt mehr umgebendes Gewebe ein, was sowohl die Positionierung als auch die Quantifizierung erleichtert. Der L15-7io, der eine aktive Aufstandslänge von 23 mm hat, ist handlicher und kann auch eingeschränkt zugängliche Bereiche, wie zum Beispiel unter der Nase, die Oberlippe und die darin eingebetteten Muskeln, erreichen.

Die Ultraschallaufnahmen in der vorliegenden Arbeit wurden, mit Ausnahme der dreidimensionalen Aufnahmen, mit einem diagnostischen Standardultraschallsystem (HD11 XE, Philips, Niederlande) aufgenommen. Da das Untersuchungsprotokoll standardisiert für mehrere Publikationen verwendet wurde und sich als praktikabel und, trotz mehrere Anwender und großer zeitlicher Messintervalle, als reliabel herausgestellt hat, wird im Folgenden darauf genauer eingegangen. Eine detaillierte Anleitung, wie jeder einzelne Muskel zu sonographieren ist, können dem Anhang unter 8.2 entnommen werden. Zwei verschiedene Linearschallköpfe wurden verwendet (Abbildung 6): ein Schallkopf mit 3-12 MHz (L12-3, Philips) und ein weiterer mit 7-15 MHz (L15-7io, Philips).

Die Muskeln M. orbicularis oculi und M. orbicularis oris wurden aufgrund ihrer oberflächlichen Lage und der schlechten Zugänglichkeit unter der Nase mit dem hochfrequenten und handlicheren L15-7io-Schallkopf dargestellt. Für alle anderen Gesichtsmuskeln und die zwei Kaumuskeln (M. temporalis und M. masseter) wurde der größere L12-3-Schallkopf verwendet. Der mechanische Index wurde auf 1,5 für den L12-3-

Schallkopf und auf 1,4 für den L15-7io-Schallkopf eingestellt. Bei Verwendung der für die Darstellung der mimischen Muskulatur optimierten Geräteeinstellungen (Presets) betrug der thermische Index für beide Schallköpfe 0,6. Die Verstärkung (Gain) wurde auf 75 dB bei konstanter TGC (Time Gain Compensation, Tiefenausgleich) gesetzt. Die resultierenden Bilder haben eine Auflösung von 1280x1040 Pixel bei 60 Hz Bildwiederholfrequenz und 256 Graustufen (8 Bit). Alle Messungen erfolgten mit reichlich Ultraschallgel, aber ohne weitere Kopplungsmedien wie zum Beispiel Vorlaufstreifen. Der Schallkopf wurde orthogonal zur Hautoberfläche und zum Muskelfaserverlauf aufgesetzt. Dabei wurde darauf geachtet, so wenig Druck wie möglich auszuüben, um Artefakte durch unbeabsichtigte Komprimierung der Muskeln zu vermeiden. Alle Muskeln werden zuerst im entspannten Zustand untersucht. Kurze, rhythmische Willküraktivierungen beim Einstellen der richtigen Bildebene wurden zur sicheren Identifikation des Muskels verwendet. Die entsprechenden Manöver, die eine Identifikation ermöglichen, und Beispielbilder, sowie Skizzen der anatomischen Landmarken, können der „Anleitung zur Sonographie der mimischen Muskulatur“ in Anhang 8.2 entnommen werden (Sauer 2013).

Zusätzlich zu den mimischen Muskeln, die alle durch den N. facialis innerviert sind, wurden zwei weitere Muskeln als Kontrollmuskeln vermessen: der M. temporalis und der M. masseter, die als Kaumuskeln beide vom N. trigeminus innerviert werden. Im Falle einer Fazialisparese sollte der motorische Anteil des N. trigeminus, der diese beiden Kaumuskeln versorgt, nicht betroffen sein und so primär keine Atrophie auftreten. Eine Berechnung von relativen Seitenunterschieden ist damit in der Regel möglich.

Die Querschnittsflächen des M. mentalis, M. depressor anguli oris, M. depressor labii inferioris und M. zygomaticus sind klein genug, um als Ganzes in einem Ultraschallbild ( die Aufstandslänge des L12-3 beträgt 35 mm) dargestellt zu werden. Deshalb ist es möglich, für diese Muskeln die Querschnittsfläche, den maximalen Durchmesser, sowie den darauf rechtwinklig stehenden Querdurchmesser auszumessen. Der maximale Durchmesser der Muskeln wird orthogonal zur Muskelfaserorientierung bestimmt. Der M. temporalis, M. masseter, M. orbicularis oris, M. orbicularis oculi, und der M. frontalis sind zu groß, um ganz in einem Ultraschallschnittbild dargestellt zu werden. Deshalb ist bei diesen Muskeln nur die maximale Dicke, orthogonal zur Muskelfaserorientierung und zur flächigen Ausdehnung des Muskels, bestimmbar.

Da ein Ziel beim Erstellen der Untersuchungsprotokolle die Quantifizierung von Therapieerfolgen war, wurde nach besseren Markern für die Funktion der mimischen Muskulatur gesucht, die über die Querschnittsflächen und Durchmesser in Ruhe

hinausgehen. Da eine verbesserte Beweglichkeit der mimischen Muskulatur oft das eigentliche Therapieziel ist, wurde ein sogenannte „Contractility Index“ eingeführt, der die Funktion der einzelnen Muskel beschreiben soll (Volk et al. 2014b). Dazu wurde über eine Dauer von 10 Sekunden eine Videosequenz aufgezeichnet, in welcher der Proband/Patient gebeten wurde, eine für den jeweiligen Muskel typische Muskelbewegung durchzuführen, die bei maximaler Kontraktion für mindestens zwei Sekunden gehalten werden sollte. Diese Bewegung wurde vor der Aufnahme mit Hilfe eines Spiegels und vorgemachter Grimassen mit dem Probanden/Patienten geübt. Die spezifischen Bewegungen sind ebenfalls in der „Anleitung zur Sonographie der mimischen Muskulatur“ im Anhang 8.2 aufgeführt (Sauer 2013).

Aus der so gewonnenen Videosequenz wurde dann ein Einzelbild des entspannten Muskels in guter Bildqualität und mit korrekter Einstellung der Bildebene ausgewählt, sowie danach ein zweites Einzelbild in maximaler Kontraktion des Muskels. In beiden Einzelbildern wurde der Muskel vermessen und aus den so bestimmten Dimensionen des Muskels der proportionale „Contractility Index“ berechnet. Wenn die Querschnittsfläche bzw. der Durchmesser des Muskels bei maximaler willkürlicher Kontraktion größer ist als in Ruhe, lautet die Formel:  $Contractility\ Index = -100 \times [1 - \text{Wert der maximalen Kontraktion} / \text{Wert in Ruhe}]$ ; andernfalls  $Contractility\ Index = 100 \times [1 - \text{Wert in Ruhe} / \text{Wert der maximalen Kontraktion}]$ . Dem liegt die Annahme zu Grunde, dass sich der Querschnitt eines Muskels stärker vergrößert, wenn er sich stärker kontrahiert. Diese Annahme setzt allerdings eine parallele oder fusiforme Muskelfaserarchitektur voraus, was für die untersuchten Muskeln nur bedingt zutrifft. Differenzierte biomechanische Beschreibungen der einzelnen mimischen Muskeln, die ein realistischeres Verformungs-Modell ermöglichen würden, liegen aber aktuell noch nicht vor.

## 2.8 *Magnetresonanztomographische Darstellung der mimischen und der Kaumuskulatur*

Mittels MRT lassen sich Muskelatrophien von Extremitätenmuskeln sowie bindegewebige, oder fettige Infiltrationen, gut darstellen (Farrugia et al. 2007). Die Myofibrillen des betroffenen Muskels schrumpfen als Folge der Inaktivität, und der extrazelluläre Raum vergrößert sich kompensatorisch. Dies führt zu einer Verlängerung der T<sub>2</sub>-Relaxationszeit (Vahlensieck u. Reiser 2014). Bei einer chronischen irreversiblen Denervierung kommt es im weiteren Verlauf zu einer kompensatorischen Fetteinlagerung, was eine Verkürzung der T<sub>1</sub>-Relaxationszeit zur Folge hat. Die Veränderungen führen damit insbesondere in T<sub>1</sub>-gewichteten Bildern zu einer Signalerhöhung (Vahlensieck u. Reiser 2014).

Auch pathologische Veränderungen der mimischen Muskulatur lassen sich im MRT darstellen. Die Beurteilung stellt sich jedoch schwieriger dar als bei Extremitätenmuskeln (Farrugia et al. 2007). Dies liegt u.a. daran, dass die Gesichtsmuskeln, mit Ausnahme der Kaumuskulatur, sehr klein und daher oft schwer zu identifizieren sind (Farrugia et al. 2007). Auch werden die mimischen Muskeln mit Ausnahme des M. buccinator von keiner Faszie umgeben und sind daher nur unscharf vom umgebenden Gewebe abgegrenzt. Schließlich sind sie miteinander verbunden oder gar stark verflochten, wie z.B. der M. orbicularis oris, M. mentalis und der M. buccinator (Abbildung 1) oder der M. orbicularis oculi mit dem M. frontalis (Farrugia et al. 2007). Bisherige Studien nutzen daher meist die Sonographie bzw. die CT zur Darstellung der mimischen Muskulatur (Farrugia et al. 2007). Forschungen zur MRT-Darstellung von Muskeln am Kopf konzentrierten sich meist auf den M. masseter und die Pterygoideus-Muskulatur (Farrugia et al. 2007). MRT wurde bislang v.a. für die Darstellung des N. facialis genutzt (Kim et al. 2007; Murphy 1991). Dennoch gelang es Kleinheinz und Joos bereits 2001, die Gruppen der perinasalen und perioralen mimischen Muskeln zu visualisieren (Kleinheinz u. Joos 2001). Auch Farrugia und Kollegen zeigten 2007, dass die Darstellung der mimischen Muskulatur im MRT prinzipiell möglich ist, indem sie neben der extrinsischen und intrinsischen Zungenmuskulatur und den Kaumuskeln Mm. pterygoidei und masseter auch die mimischen Muskeln M. orbicularis oris und M. buccinator darstellten und ihr Volumen berechneten (Farrugia et al. 2007). Die quantitative Bewertung der mimischen Muskulatur im MRT könnte nützlich sein, um das Verständnis für pathologische Prozesse innerhalb der Muskeln aufgrund bestimmter neuromuskulärer Störungen zu verbessern (Vahlensieck u. Reiser 2014).

Der Volumenschwund der mimischen Muskulatur kann im MRT am besten mithilfe von Sequenzen mit dünner Schichtstärke und einem T<sub>1</sub>-gewichteten Bildkontrast beurteilt werden (Fischbein et al. 2001). Änderungen innerhalb des Muskelgewebes können wiederum durch T<sub>2</sub>-gewichtete fast spin echo Sequenzen mit hoher Fettsättigung gut erkannt werden (Fischbein et al. 2001).

Seitendifferenzen der Muskelvolumina und -grauwerte bei Patienten mit einseitiger Fazialisparese konnten mittel 3 Tesla MRT und halbautomatischer Segmentierungssoftware erstmals 2011 von Gargiulo et al. quantifiziert werden (Gargiulo et al. 2011b).

In zwei retrospektiven MRT-Studien wurde die Asymmetrie der mimischen Muskeln als Prädiktor für die Erholung der Gesichtsbeweglichkeit nach Nervenrekonstruktion (Kaylie et al. 2003) und nach Vestibularisschwannom Operation (Kaylie et al. 2004) herangezogen. In beiden Studien bestand ein Zusammenhang zwischen präoperativem Verlust an Muskelmasse,

abgeleitet aus einer deutlichen Asymmetrie in mindestens zwei auf einander folgenden MRT-Schichten, und einer schlechten funktionellen Erholung. Dabei wurden der M. zygomaticus, M. orbicularis oculi, M. orbicularis oris, M. levator labii superioris und M. nasalis im Seitenvergleich beurteilt. In diesen Publikationen wurde eine qualitative Einteilung in schwache oder starke Asymmetrie vorgenommen, genauere Daten zur Ausprägung der Asymmetrie werden jedoch nicht berichtet. Prospektive bildgebende Studien, die aus quantitativen präoperativen Daten über den Zustand der Muskeln den Operationserfolg von Reinnervationsoperationen vorhersagen, wären der nächste, noch ausstehende, Schritt.

### *2.9 Die 3D-Segmentierung von MRT-Datensätzen*

Um Muskeln im MRT visualisieren und quantifizieren zu können, müssen sie aus dem Stapel aus Grauwert-Bildern segmentiert werden. Segmentierung, also das Zuordnen einzelner Bildbereiche zu anatomischen Strukturen, stellt einen zunehmend wichtigeren Aspekt der medizinischen Bildverarbeitung dar. Dabei ist das Ziel immer, einen relevanten Bildbereich (region-of-interest, ROI), wie z.B. Organe, Gewebe, oder pathologischer Prozess, vom restlichen Bild zu separieren. Wenn in 3D-Daten gearbeitet wird, werden dafür die einzelnen Volumenelemente (Voxel) konturiert (Voxel = Schichtdicke x Pixelgröße). Wird die ROI in allen Schichten des Bildvolumens segmentiert, kann das Volumen bestimmt und ein 3D-Modell zur visuellen Beurteilung erstellt werden. In der Hoffnung auf höhere Reliabilität und eine deutliche Zeitersparnis gibt es inzwischen auch halb- und vollautomatische Segmentierungsalgorithmen, doch gilt die manuelle Segmentierung noch als Methode mit der höchsten Genauigkeit (Rezaeitarab und Ulusoy 2012, Fetzer 2011).

Die Segmentierung von MRT-Datensätzen wurde bereits für die unterschiedlichsten menschlichen Gewebe und Organe beschrieben, beispielsweise Leber (Grieser et al. 2014), Anulus fibrosus und Nucleus pulposus der Bandscheiben (Castro-Mateos et al. 2014) oder Prostata (Korsager et al. 2015). Es wurden auch schon erste Versuche berichtet, die 3D-Segmentierung an der mimischen Muskulatur im MRT-Datensatz anzuwenden, um sie damit im Ganzen zu visualisieren und die einzelnen Muskel-Volumina ermitteln zu können (Gargiulo et al. 2011). Durch Datenfusion von MRT und CT-Daten gelang es bereits, einzelne kleine mimische Muskeln wie den M. orbicularis oculi auch automatisch zu segmentieren. Dies ist bisher aber nur an Datensätzen von zwei Personen erfolgt, ohne dass ein Vergleich zu einer manuellen Segmentierung vorgenommen wurde (Sener et al. 2016). Die Erfahrungen bei der 3D-Segmentierung in der nachfolgend berichteten Studie wurden in einer detaillierten

Anleitung zur Identifikation der mimischen Muskeln aus MRT-Datensätzen gebündelt. Diese „Anleitung zur quantitativen Segmentierung der mimischen Muskulatur im MRT“ kann dem Anhang 8.3 entnommen werden (Meyer 2016). Sie enthält neben einer detaillierten Beschreibung der Vorgehensweise auch Beispielbilder und Skizzen der anatomischen Landmarken und soll neuen Anwendern den Einstieg erleichtern und reliable Daten erzeugen.

### **3. Zielsetzung**

Grundsätzliches Ziel dieser Arbeit ist es, das Verständnis der mimischen Muskulatur zu erweitern. Durch den systematischen und standardisierten Einsatz von Sonographie und Kernspintomographie sollen sowohl anatomische und physiologische Grundlagen, wie auch pathophysiologische Umbauprozesse, besser beschrieben werden. Diese sind bisher kaum untersucht und insbesondere ist ihre Bedeutung für den Erfolg konservativer und chirurgischer Behandlungskonzepte unklar.

Es wurden dabei folgende Fragen untersucht:

1. Welche mimischen Muskeln können durch klinische Ultraschallgeräte reproduzierbar erfasst und vermessen werden?
2. Welche quantitativen Daten lassen sich erfassen und wie hoch ist deren Reliabilität?
3. Wie groß sind die darstellbaren mimischen Muskeln? Gibt es Geschlechts- und Altersunterschiede? Gibt es Zusammenhänge mit der Körpergröße, oder dem -gewicht?
4. Ist die Methode geeignet, pathologische Veränderungen der mimischen Muskulatur zu detektieren?
5. Sind 3D-Ultraschall-Aufnahmen der mimischen Muskulatur möglich und enthalten ihre Daten neue Erkenntnisse, die 2D-Ultraschall-Aufnahmen nicht hätten liefern können?
6. Können auch in MRT-Datensätzen die mimischen Muskeln reproduzierbar identifiziert und segmentiert werden? Wenn ja, was ist dafür ein sinnvolles Vorgehen?
7. Korrelieren die in den Bildgebungen gesehenen Veränderungen mit elektrophysiologischen Untersuchungsergebnissen? Wie ergänzen sich diese Methoden?

## 4. Originalarbeiten der vorgelegten kumulativen Habilitationsschrift

### 4.1 *Quantitative ultrasonography of facial muscles*

#### QUANTITATIVE ULTRASONOGRAPHY OF FACIAL MUSCLES

GERD FABIAN VOLK, MD,<sup>1</sup> NADJA WYSTUB,<sup>1</sup> MARTIN POHLMANN, MD,<sup>1</sup> MIRA FINKENSIEPER, MD,<sup>1</sup> HEATHER J. CHALMERS, DVM,<sup>2</sup> and ORLANDO GUNTINAS-LICHIUS, MD<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Otorhinolaryngology, Jena University Hospital, Lessingstrasse 2, D-07740 Jena, Germany

<sup>2</sup> Department of Clinical Studies, Ontario Veterinary College, University of Guelph, Guelph, Canada

Accepted 1 October 2012

**ABSTRACT:** *Introduction:* There is no standardized method for examination of facial muscles with ultrasound. The purpose of this study was to identify those facial muscles accessible for reliable identification and to provide reference data. *Methods:* In healthy subjects all facial muscles were screened for visibility, separation from adjacent muscles, and reliability of landmarks. Bilateral scans of reliable muscles were performed in 40 adult volunteers. *Results:* Six facial muscles were clearly demarcated with ultrasound. These were: frontalis, orbicularis oculi, orbicularis oris, depressor anguli oris, depressor labii inferioris, and mentalis muscles. Cross-sectional area and muscle thickness showed gender differences and were independently related to age for some muscles. A significant left–right side difference was only seen for the orbicularis oculi muscle in women. *Conclusions:* These data demonstrate the usefulness of ultrasonography to assess facial muscles and provide reference values that can be applied in the clinical setting.

*Muscle Nerve* 47: 878–883, 2013

**S**evere facial nerve lesions after Bell palsy, trauma, or tumor surgery lead to atrophy of facial (mimetic) muscles. So far, decision making for facial nerve reconstruction is based mainly on clinical observation rather than on quantitative measurement.<sup>1</sup> Additionally, needle electromyography (EMG), although useful diagnostically to detect facial muscle atrophy, is not particularly useful prognostically.<sup>2</sup> At present there is no quantitative tool that can directly monitor mimetic muscle regeneration after reconstructive surgery and/or directly verify facial muscle size. A tool such as ultrasound, which is painless and noninvasive would allow for quantitative serial studies which are needed to map out the time course of loss and regeneration of muscle bulk after facial nerve injury and recovery or repair.

One study has been published which showed that the degree of facial muscle atrophy can be detected by magnetic resonance imaging (MRI).<sup>3</sup> MRI and computed tomography (CT) may also be used to monitor structural changes of facial muscles after reconstructive surgery.<sup>4</sup> Yet, both CT and MRI have specific drawbacks. When performed in a routine manner, the sectional planes acquired in CT or MRI often do not correspond to the axial symmetry of the face due to the technical

difficulty in achieving perfectly symmetrical slices, and reconstructions which aim to correct these deficiencies typically have reduced spatial resolution. CT studies involve radiation exposure to the patient. Both CT and MRI might have limited resource accessibility and are costly and immobile. These restrictions may explain why photography is currently the main visualization technique used routinely in the clinical setting, even for cases undergoing reconstructive surgery.

In contrast, ultrasonography allows individual optimized cross-sections to be obtained quickly and in a manner that is reproducible by using routinely visible landmarks. Ultrasound can provide functional and structural information at the same time, can be used for sequential follow up evaluation that is efficient and free of ionizing radiation, and reveals distinctive patterns in muscles affected by neuromuscular disease.<sup>5,6</sup> The first report on visualization of muscles of facial expression with ultrasonography was published in 1988.<sup>7</sup> Of interest, but perhaps due to technical limitations at the time, the possibilities of ultrasonography have not been explored further.

In this study, we describe the process for identification of those facial muscles appropriate for reliable ultrasonographic examinations, and we report reference data of muscle cross-sectional area and thickness.

#### METHODS

**Subjects.** Healthy adult volunteers were recruited. Only subjects without a history of facial or head trauma, facial palsy, or any other neurological disorder were included. None of the volunteers had a history of a hereditary neuromuscular disorder or any other congenital disorder. Initially, 10 subjects participated in the pilot study to identify the facial muscles which could be visualized clearly by ultrasonography. Afterward, reference data for the determined facial muscles were estimated in 40 subjects. Three additional volunteers were measured 10 times at different dates to determine the reliability of the method. The study was approved by the local ethics committee, and informed consent was obtained from all participants. Age, gender, body weight, body height, body mass index (BMI), and handedness of all subjects were recorded.

**Abbreviations:** CT, computed tomography; EMG, electromyography; MRI, Magnetic resonance imaging; NA, not applicable

**Key words:** anatomy, facial muscles, facial nerve, quantitative ultrasound, reconstructive surgery

**Correspondence to:** O. Guntinas-Lichius; e-mail: orlando.guntinas@med.uni-jena.de

© 2012 Wiley Periodicals, Inc.  
Published online 8 October 2012 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI 10.1002/mus.23693

**Ultrasound Equipment.** The ultrasonography examinations were performed by 2 of the investigators (N.W., G.F.V.). All measurements were performed using a diagnostic ultrasound system (HD11 XE, Philips, The Netherlands). Two different linear-array transducers were used: a transducer with 3-12-MHz (L12-3, Philips) and another with 7-15-MHz (L15-7io, Philips). After the pilot study, the equipment settings were fixed as follows: mechanical index - 1.5 (L12-3) and 1.4 (L15-7io); thermal index - 0.6 (L12-3 and L15-7io); and gain - 75 dB using constant time gain compensation. All equipment settings were kept constant during the measurements.

**Pilot Study: Identification of Visualizable Facial Muscles.** The pilot study was necessary to determine which facial muscles were identifiable in a reliable manner, to define those anatomical landmarks which allow muscle identification, and to standardize the planes for transducer positioning to optimize imaging at each site. All subjects were examined in the supine position and were completely relaxed. During the examination, directed activation of facial muscles was used to confirm the correct position of the transducer. The transducer was always placed perpendicular to the skin surface. A muscle was considered to be reliably identified when it was possible to trace the muscle along its complete anatomic course without interference from other radiating adjacent muscles. Overlap with other facial muscles with mutual anchoring is a characteristic feature of some facial muscles. In these areas of overlap, a distinction of individual muscles was impossible. This circumstance would skew the muscle area measurement. Effort was made to identify at least 1 target muscle for each of the 5 peripheral facial motor nerve branches. Several aqueous stand-off pads were tested but did not improve muscle visualization. Finally, all measurements were performed only with transmission gel but without any other coupling media. To avoid systematic error by compressing the muscles, before acquiring a picture, the pressure between probe and skin was minimized.

**Quantitative Measurements.** All ultrasound pictures were stored in DICOM format and had a resolution of 1280 × 1040 pixels (8-bit, 256 gray-scale levels). Muscle cross-sectional area and muscle thickness were estimated using quantification software (QLAB, Philips, The Netherlands). To determine muscle area, the muscle borders were delimited manually on each picture as a region of interest. Maximal muscle thickness was determined perpendicular to the muscle fiber orientation.

**Statistics.** All statistical analyses were performed using IBM SPSS, version 19.0. Each facial muscle was studied separately for men and women. The nonparametric Mann-Whitney U-test was used to analyze gender differences. The nonparametric Wilcoxon test was applied to analyze left-right differences separately for men and women. Pearson correlation was used to analyze the relationship between age, weight, height, and the muscle measurements. A multivariate linear regression analysis was performed including gender, age, and height as independent variables. Finally, to determine intra-rater reliability, the intraclass correlation (ICC) of the muscle measurements of the 3 volunteers, measured 10 times were calculated. The rater was not blinded from 1 measurement to the next. The interval between the measurements was 7 days. Nominal *P* values of two-tailed tests are reported. The significance level was set at *P* < 0.05.

## RESULTS

**Identification of 6 Index Facial Muscles.** Six facial muscles could be delineated clearly from surrounding connective tissue, bone, and adjacent facial muscles (Table 1; Fig. 1). In the cranio-caudal direction, these muscles were as follows: frontalis, orbicularis oculi, orbicularis oris, depressor anguli oris, depressor labii inferioris, and mentalis muscles. The delimitation of these 6 muscles was not disturbed by radiation of adjacent facial muscle fibers. Separation of the zygomatic major muscle from the zygomatic minor muscle was not possible in all cases. Distinct delineation of the nasalis muscle and other small facial muscles was not possible. Furthermore, reproducible separation of the nasalis muscle from parts of the levator labii superioris muscle was not achievable. A plane was defined to visualize the complete cross-sectional area of the depressor anguli oris, depressor labii inferioris, and mentalis muscles. The landmarks used to locate and verify these muscles, along with the imaging planes and the concurrent clinical maneuvers used to activate the muscles are listed in Table 1. The frontalis, orbicularis oculi, and orbicularis oris muscles were too large to display the muscle cross-section in a single image plane. Here, the muscle thickness was estimated perpendicular to the muscle fiber course. There were size and shape differences between the 2 transducers applied (L12-3 and L15-7io). As indicated in Table 1, one probe was preferred for some muscles and another for other muscles. For muscles that were located on more curved portions of the face, such as the orbicularis oculi and orbicularis oris muscles, the smaller probe (L15-7io) was

**Table 1.** Identification of the 6 index mimetic muscles.

Index muscle	Transducer* (MHz)	Landmarks	Imaging plane	Maneuver for muscle identification
Frontalis	L12-3	Frontal bone, supraorbital margin	Transverse position 1 cm cranial supraorbital margin	Frowning
Orbicularis oculi	L15-7io	Frontal process of zygomatic bone, lateral wall of orbital cavity	Transverse position perpendicular on the frontal process	Blinking
Orbicularis oris	L15-7io	Columella, philtrum ridges, upper lip	Sagittal position within the philtrum ridges	Pressing the lips together
Depressor anguli oris	L12-3	Infralabial fossa, mandibular premolar teeth, alveolar processes of mandibular body, inferior labial artery, facial artery	Positioning parallel to mandibular body, movement in cranio-caudal direction along the alveolar processes of mandibular body	Pulling the corners of the mouth downwards
Depressor labii inferioris	L12-3	Infralabial fossa, mandibular premolar teeth, alveolar process of mandibular body, inferior labial artery, facial artery	Positioning parallel to mandibular body, movement in cranio-caudal direction along the alveolar processes of mandibular body	Pulling the corners of the mouth downwards
Mentalis muscle	L12-3	Mandible, mental protuberance, contralateral muscle	Transverse position, movement from mental protuberance toward mentolabial sulcus and lower lip.	Pressing the lips together

\*Transducer from Philips, The Netherlands.

preferable due to its smaller footprint. Otherwise, the larger transducer (L12-3) was used.

**Muscle Cross-section Area and Thickness.** The 40 volunteers consisted of 20 women and 20 men. The mean age was  $46 \pm 19$  years (range: 18–95 years). The mean height for men was  $178.6 \pm 7.1$  cm and  $167.1 \pm 5.5$  cm for women. The mean weight was  $80.2 \pm 8.7$  kg for men and  $69.9 \pm 12.2$  kg for women. All subjects were of western European descent. Table 2 gives an overview of the facial muscle sizes in women and men. The depressor labii inferioris muscle had the highest cross-sectional area, and the orbicularis oculi muscle was the thinnest muscle. The depressor anguli oris muscle on both sides of the face had a significantly larger area and was thicker in men than in women. The orbicularis oculi muscle was significantly thinner in men than in women.

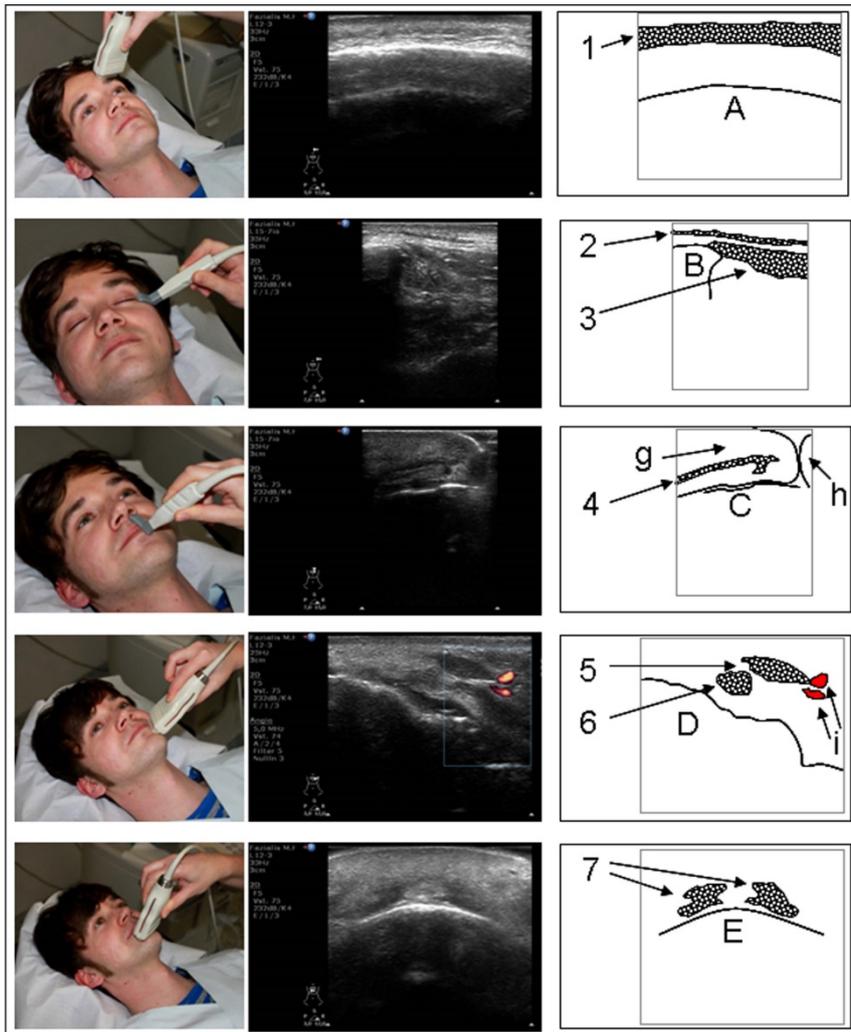
The normal ranges for the difference between the left and right sides are shown in Table 3. A significant side-to-side difference was only seen for the orbicularis oculi muscle in women. Here, the right muscle was thicker than the left muscle ( $P = 0.042$ ).

Only the depressor anguli oris muscle show a correlation with age. Higher age was correlated with smaller muscle cross-sectional area on the right side ( $r = -0.317$ ;  $P = 0.046$ ) and as a trend also on the left side ( $r = -0.297$ ;  $P = 0.063$ ). The right frontalis muscle was thicker in older patients ( $r = 0.337$ ;  $P = 0.0034$ ). There was a non-signifi-

cant trend on the left side ( $r = 0.303$ ;  $P = 0.057$ ). All other muscles did not correlate with age (all  $P > 0.05$ ). The height of the subjects influenced some muscles: Larger individuals had a thinner frontalis muscle on the right side ( $r = -0.441$ ;  $P = 0.004$ ) and on the left side ( $r = -0.385$ ;  $P = 0.014$ ). Also the left orbicularis oculi muscle was thicker in larger individuals ( $r = 0.417$ ;  $P = 0.007$ ). On the right side a nonsignificant correlation was seen ( $r = 0.265$ ;  $P = 0.098$ ). Weight had no influence on muscle cross-sectional area or muscle thickness (all  $P > 0.05$ ).

The multivariable linear regression analysis revealed a significant influence of age (beta =  $-0.384$ ;  $P = 0.030$ ) and gender (beta =  $0.546$ ;  $P = 0.012$ ) on the cross-sectional area of the right depressor anguli oris muscle. The same was seen for the left side (age: beta =  $-0.356$ ;  $P = 0.052$ ; gender: beta =  $-0.484$ ;  $P = 0.030$ ). In accordance, the same independent influence was estimated for thickness of the right depressor anguli oris muscle (age: beta =  $-0.391$ ;  $P = 0.027$ ; gender: beta =  $-0.555$ ;  $P = 0.010$ ) and also for the left depressor anguli oris muscle (age: beta =  $-0.373$ ;  $P = 0.042$ ; gender: beta =  $-0.479$ ;  $P = 0.032$ ). Gender was an independent factor for the thickness of the right orbicularis oculi muscle (beta =  $-0.712$ ;  $P = 0.001$ ) and the left orbicularis oculi muscle (beta =  $-0.807$ ;  $P < 0.001$ ).

The intraclass correlation coefficient (ICC) within the repetitive measurement of the 3 volunteers was 0.93 ( $n = 10$ ;  $P < 0.001$ ) for the right



**FIGURE 1.** Seven facial muscles could be delineated clearly from surrounding connective tissue, bone, and adjacent facial muscles. 1, frontalis muscle; 2, orbicularis oculi muscle; 3, temporalis muscle; 4, orbicularis oris muscle; 5, depressor anguli oris muscle; 6, depressor labii inferioris muscle; 7, mentalis muscle. A, frontal bone; B, lateral wall of orbital cavity; C, incisor; D, alveolar process of mandibular body; E, mental protuberance; g, upper lip; h, lower lip; i, inferior labial artery. [Color figure can be viewed in the online issue, which is available at [wileyonlinelibrary.com](http://wileyonlinelibrary.com).]

mentalis muscle and 0.83 ( $n = 30$ ;  $P < 0.001$ ) for the left mentalis muscle. The ICC for the depressor anguli oris muscle was 0.68 ( $P < 0.001$ ) for the right side and 0.66 ( $P < 0.001$ ) for the left side. The ICC for the depressor labii inferioris muscle was 0.72 ( $P < 0.001$ ) for the right side and 0.33 ( $P = 0.007$ ) for the left side. For the orbicularis oris

muscle, the ICC for the right side was 0.45 ( $P < 0.001$ ) and 0.54 for the left side ( $P < 0.001$ ). The ICC for the orbicularis oculi muscle was 0.40 ( $P = 0.002$ ) for the right side and 0.59 ( $P < 0.001$ ) for the left side. For the frontalis muscle, the ICC for the right side was 0.44 ( $P < 0.001$ ) and 0.55 for the left side ( $P < 0.001$ ).

**Table 2.** Comparison of muscle thickness and cross-sectional area of facial muscles in men and women.\*

Comparison of thickness of facial muscles				Comparison of cross-sectional area			
Side	Muscle thickness (mm)			Muscle cross-sectional area (mm <sup>2</sup> )			
	Men	Women	P-value**	Men	Women	P-value**	
Frontalis	L	2.27 ± 0.95	2.86 ± 0.58	0.076	NA	NA	NA
	R	2.20 ± 1.00	2.88 ± 0.56	0.050	NA	NA	NA
Orbicularis oculi	L	1.07 ± 0.17	0.72 ± 0.22	< <b>0.0001</b>	NA	NA	NA
	R	1.02 ± 0.16	0.76 ± 0.26	< <b>0.0001</b>	NA	NA	NA
Orbicularis oris	L	3.54 ± 0.90	3.55 ± 0.65	0.543	NA	NA	NA
	R	3.49 ± 0.79	3.40 ± 0.74	0.507	NA	NA	NA
Depressor anguli oris	L	NA	NA	NA	27.42 ± 7.57	22.49 ± 6.39	<b>0.037</b>
	R	NA	NA	NA	27.38 ± 6.89	21.55 ± 6.94	<b>0.008</b>
Depressor labii inferioris	L	NA	NA	NA	42.98 ± 18.51	47.08 ± 18.00	0.465
	R	NA	NA	NA	43.85 ± 19.71	46.10 ± 20.38	0.705
Mentalis	L	NA	NA	NA	28.78 ± 11.57	22.55 ± 7.78	0.105
	R	NA	NA	NA	28.96 ± 9.47	23.74 ± 9.94	0.105

\*Data represented as mean ± standard deviation.  
\*\*P-values < 0.05 in bold; NA – not applicable.

### DISCUSSION

Quantitative muscle ultrasonography as a diagnostic tool has been implemented recently.<sup>8</sup> Furthermore, normative data of muscle thickness and echo intensity have been published for some muscles of the extremities in children and adults.<sup>6,9</sup> Such data is very helpful to estimate muscle atrophy in neuromuscular diseases and to monitor muscle changes in longitudinal studies.<sup>10</sup> The accuracy of ultrasonography in estimating muscle size is reported to be comparable to CT and MRI in limb muscles.<sup>11,12</sup> The combination of EMG and ultrasonography is reported to be a powerful tool for evaluation of healthy muscle function and for quantification of muscle degeneration due to severe motor neuron lesions.<sup>13,14</sup> In contrast to the large skeletal muscles, the electrodiagnostic options to assess the facial nerve and facial muscles are very limited.<sup>15</sup> This is related to the limited accessibility of the peripheral facial nerve within the temporal bone. Evaluation of the nerve is only achievable along a short distance from its exit at the stylomastoid

foramen to its branching in the parotid gland. Furthermore, the facial muscles are very thin, directly anchored to the facial skin, and some of them overlap, which complicates the diagnostic approach.<sup>16</sup> In cases of congenital facial palsy or in patients who are candidates for facial nerve reconstruction surgery after longer denervation times, and to monitor such patients after surgery, it would be very helpful to have ultrasonography as an additional tool to evaluate the functional status of the facial muscles.

Against this background, it seems to be valuable that this study was able to successfully define measurements for 6 facial muscles representative of all 5 peripheral motor end branches of the facial nerve. The study from Balogh et al.<sup>7</sup> held out the possibility of a future prospective study to provide standardized data for facial muscle measurements. This goal has been achieved in this study. A recent study evaluating the results of cleft lip surgery using ultrasonography to monitor orbicularis oris muscle thickness does not provide reference data.<sup>17</sup>

**Table 3.** Normal range\* of right – left differences in thickness and cross-sectional area of facial muscles in men and women.

	Muscle thickness (mm)				Muscle cross-sectional area (mm <sup>2</sup> )			
	Men	P-value**	Women	P-value**	Men	P-value**	Women	P-value**
Frontalis	-0.47 to 0.34	0.219	-0.46 to 0.42	0.601	NA	NA	NA	NA
Orbicularis oculi	0.73 to 1.41	0.087	0.37 to 1.42	0.286	NA	NA	NA	NA
Orbicularis oris	-1.20 to 1.06	0.355	-0.99 to 0.77	<b>0.042</b>	NA	NA	NA	NA
Depressor anguli oris	NA	NA	NA	NA	-7.50 to 7.41	1.00	-9.06 to 8.07	0.526
Depressor labii inferioris	NA	NA	NA	NA	-14.49 to 16.23	0.709	-15.38 to 15.28	0.643
Mentalis	NA	NA	NA	NA	-9.12 to 9.47	0.526	-8.58 to 9.95	0.391

\*Data represent -2 SD to +2 SD from the mean right-left difference. NA, not applicable.  
\*\*Difference between right and left side; P-values < 0.05 in bold.

According to the methodology of a previous study in adult skeletal muscles of the extremities,<sup>6</sup> this study provides reference data of adult facial muscles and a reproducible technique for performing facial ultrasonography. As some of the facial muscles are small and have complex shapes, it was useful in these muscles to measure cross-sectional area instead of muscle thickness. In accordance with the results in larger skeletal muscles, muscle thickness and area of facial muscles is also gender- and age-dependent, at least for some facial muscles. Gender and age have been revealed to be independent factors for muscle thickness for some facial muscles in multivariate analysis. Furthermore, height but not weight was related to the muscle measurements in the univariate analysis. The gender and age effect were not as different as in larger limb muscles, and there was no difference for some facial muscles. This might be explained by the function of facial muscles. Mimetic muscles certainly are exposed to a smaller physical burden than the functions of larger limb muscles. This study is limited by its sample size. To further explore the age effect on facial muscles, larger cohorts with age groups would be needed.

The results of the ICC show a moderate or better agreement in 8 of 12 muscles. This demonstrates the value of the method to detect even the differences in healthy probands. It remains to be seen whether these measurements will be of use clinically in differentiating diseased patients from normal subjects; this will be the subject of study in the future.

The addition of routine facial ultrasonography to the available clinical tests is anticipated to be of substantial value both in diagnosis and monitoring of neuromuscular disorders of the face. The minimally invasive nature, easy access, cost effectiveness, and reproducibility of ultrasonography make it an ideal tool offering many advantages over CT and MRI. Moving forward, other static parameters, including echo intensity and dynamic muscle ultrasonography could further expand the utility of this exciting modality.<sup>18</sup> A clinical trial in patients with

facial palsy using the measurement parameters presented in this study is already ongoing.

Informed written consent was obtained for publication of the patient images. The authors issued the whole manuscript. All authors have read and approved the final manuscript. The authors declare that they have no competing interests.

#### REFERENCES

- Guntinas-Lichius O, Streppel M, Stennert E. Postoperative functional evaluation of different reanimation techniques for facial nerve repair. *Am J Surg* 2006;191:61–67.
- Volk GF, Pantel M, Guntinas-Lichius O. Modern concepts in facial nerve reconstruction. *Head Face Med* 2011;6:25.
- Kaylie DM, Wax MK, Weissman JL. Preoperative facial muscle imaging predicts final facial function after facial nerve grafting. *AJNR Am J Neuroradiol* 2003;24:326–330.
- Gargiulo P, Klingner CM, Friogeirsson EA, Burmeister HP, Volk GF, Guntinas Lichius O. Side differences in MRI-scans in facial palsy: 3-D modelling, segmentation and grey value analysis. Rome: September 12–14, 2011.
- Pillen S, Scholten RR, Zwarts MJ, Verrips A. Quantitative skeletal muscle ultrasonography in children with suspected neuromuscular disease. *Muscle Nerve* 2003;27:699–705.
- Arts IM, Pillen S, Schelhaas HJ, Overeem S, Zwarts MJ. Normal values for quantitative muscle ultrasonography in adults. *Muscle Nerve* 2010;41:32–41.
- Balogh B, Fruhwald F, Millesi W, Millesi H, Firbas W. Sonoanatomy of the muscles of facial expression. *Surg Radiol Anat* 1988;10:101–106.
- Walker FO, Cartwright MS, Wiesler ER, Cares J. Ultrasound of nerve and muscle. *Clin Neurophysiol* 2004;115:495–507.
- Scholten RR, Pillen S, Verrips A, Zwarts MJ. Quantitative ultrasonography of skeletal muscles in children: normal values. *Muscle Nerve* 2003;27:693–698.
- Arts IM, Overeem S, Pillen S, Schelhaas HJ, Zwarts MJ. Muscle changes in amyotrophic lateral sclerosis: a longitudinal ultrasonography study. *Clin Neurophysiol* 2011;122:623–628.
- Sipila S, Suominen H. Muscle ultrasonography and computed tomography in elderly trained and untrained women. *Muscle Nerve* 1993;16:294–300.
- Walton JM, Roberts N, Whitehouse GH. Measurement of the quadriceps femoris muscle using magnetic resonance and ultrasound imaging. *Br J Sports Med* 1997;31:59–64.
- Bayrak IK, Bayrak AO, Tilki HE, Nural MS, Sunter T. Ultrasonography in carpal tunnel syndrome: comparison with electrophysiological stage and motor unit number estimate. *Muscle Nerve* 2007;35:344–348.
- Simoneau EM, Longo S, Seynes OR, Narici MV. Human muscle fascicle behavior in agonist and antagonist isometric contractions. *Muscle Nerve* 2012;45:92–99.
- Groshova M, Wittekindt C, Guntinas-Lichius O. Prognostic value of electroneurography and electromyography in facial palsy. *Laryngoscope* 2008;118:394–397.
- Wilkinson C. Facial reconstruction—anatomical art or artistic anatomy? *J Anat* 2010;216:235–250.
- Ridgway EB, Estroff JA, Mulliken JB. Thickness of orbicularis oris muscle in unilateral cleft lip: before and after labial adhesion. *J Craniofacial Surg* 2011;22:1822–1826.
- van Alfen N, Nienhuis M, Zwarts MJ, Pillen S. Detection of fibrillations using muscle ultrasound: diagnostic accuracy and identification of pitfalls. *Muscle Nerve* 2011;43:178–182.

## QUANTITATIVE ULTRASONOGRAPHY OF FACIAL MUSCLES IN PATIENTS WITH CHRONIC FACIAL PALSY

GERD FABIAN VOLK, MD,<sup>1,2</sup> MARTIN POHLMANN, MD,<sup>1</sup> MAIK SAUER, MD,<sup>1</sup> MIRA FINKENSIEPER, MD,<sup>1,2</sup> and ORLANDO GUNTINAS-LICHIUS, MD<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Otorhinolaryngology, Jena University Hospital, Lessingstrasse 2, D-07740 Jena, Germany

<sup>2</sup>Facial Nerve Center, Jena University Hospital, Jena, Germany

Accepted 23 December 2013

**ABSTRACT:** *Introduction:* In this study we introduce quantitative facial muscle ultrasound as a diagnostic tool for patients with chronic unilateral facial palsy. *Methods:* Muscle area, thickness, and echo intensity of 6 facial muscles (frontalis, orbicularis oculi, orbicularis oris, depressor anguli oris, depressor labii inferioris, and mentalis) and of 2 chewing muscles (temporalis and masseter, as controls) were measured in 20 patients with chronic facial palsy. *Results:* Aside from 1, all facial muscles were significantly smaller on the paralyzed side. With exception of frontalis and orbicularis oculi muscles, all other facial muscles showed significantly higher echo intensity on the affected side. Muscle size and echo intensity of the chewing muscles showed no side-to-side asymmetry. *Conclusions:* Quantitative ultrasound of facial muscles helps to better characterize their status in patients with chronic facial palsy in the phase of denervation and during regeneration.

*Muscle Nerve* 50: 358–365, 2014

**A** severe facial nerve lesion, such as after temporal bone trauma or tumor surgery, leads to Wallerian degeneration of the peripheral facial nerve distal to the lesion site and consequent atrophy of the mimetic (facial) musculature. If the facial nerve is regenerating and the muscles are reinnervated, the mimic musculature often does not completely recover functionally. In case of misdirected reinnervation and defective healing, the muscles can remain weakened or are characterized by synkinesis and hyperkinesis. Treatment decisions for (a) facial nerve reconstruction after long-term denervation or (b) adjuvant surgical and non-surgical treatment of defective healing after misdirected spontaneous regeneration or after facial nerve reconstruction surgery is based mainly on the clinical observation that functional results are worse if >2 years elapse after denervation.<sup>1,2</sup> In addition, during muscle denervation, the degree of muscle atrophy can be roughly estimated by analysis of the needle electromyographic (EMG) insertional activity. Furthermore, multichannel EMG can be used to quantitatively characterize involuntary synkinetic activity in patients with chronic facial palsy.<sup>1,2</sup>

**Abbreviations:** EMG, electromyography

**Key words:** facial muscles; facial nerve; facial palsy; mimetic muscles; quantitative sonography; reconstructive surgery

**Correspondence to:** O. Guntinas-Lichius; e-mail: orlando.guntinas@med.uni-jena.de

© 2013 Wiley Periodicals, Inc.  
Published online 28 December 2013 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI 10.1002/mus.24154

358 Facial Muscle Sonography

In recent reports, quantitative muscle ultrasound has been used to measure facial muscle size and echo intensity in healthy subjects.<sup>3,4</sup> In addition, this new imaging technique was applied as an example in a patient with myotonic dystrophy type 1.<sup>4</sup>

In this study we report muscle cross-sectional area, thickness, and echo intensity in patients with chronic peripheral facial palsy in different stages of denervation and reinnervation. The primary goal was to determine whether quantitative muscle ultrasound can detect differences in facial muscle size and echo intensity between paralyzed and healthy sides in patients with chronic facial palsy.

### METHODS

**Patients.** Twenty patients with chronic facial palsy were recruited between June and September 2012. Chronic palsy was defined as a peripheral facial palsy with a duration of >3 months. Furthermore, an initial EMG study had to show signs of denervation; that is, pathological spontaneous activity and reduced voluntary activity in at least 2 mimic muscles on the affected side.<sup>5,6</sup> The last EMG study (<4 weeks) before ultrasonographic examination was also evaluated for signs of reinnervation (polyphasic motor unit potentials and synkinetic activation). The study was approved by the local ethics committee, and informed consent was obtained from all participants. Furthermore, consent was obtained for use of patients' images. Age, gender, body weight, height, body mass index (BMI), and handedness of all subjects were recorded. Patients' charts were evaluated for the origin of facial palsy, types of reconstructive surgery, and facial nerve grading using the Stennert index.<sup>7</sup> The Stennert index at rest (range from 0 to 4) was evaluated for associations with the ultrasonographic examinations. A Stennert index at rest of 0 represents normal facial tone, and an increasing loss of facial tone is graded up to 4; that is, complete loss of resting tone. As only ultrasonographic evaluations at rest were performed, the result of the Stennert index concerning facial movements (range from 0 to 6; 0 = normal to 6 = no motion) were not further explored.

**Ultrasonographic Examination of Facial Muscles.** Each patient was examined once. The ultrasonography examinations were performed by

MUSCLE & NERVE September 2014

2 of the investigators (M.P. and M.S.). Examiners were blinded to the patients' baseline characteristics. All measurements were performed using a diagnostic ultrasound system (HD11 XE; Philips, Amsterdam, The Netherlands). Two different linear-array transducers were used: a 3–12-MHz transducer (L12-3; Philips) and a 7–15-MHz transducer (L15-7io; Philips). As described recently,<sup>3</sup> 1 probe was preferred for some muscles and another for other muscles. For muscles located on more curved portions of the face, such as the orbicularis oculi and orbicularis oris muscles, the smaller probe (L15-7io) was preferable due to its smaller footprint. Otherwise, the larger transducer (L12-3) was used (see Table 1 in the study by Volk *et al.*<sup>3</sup>). The equipment settings were fixed, with mechanical index 1.5 (for L12-3) and 1.4 (for L15-7io), thermal index 0.6 (for both), and gain 75 dB, using constant time gain compensation. All equipment settings were kept constant during the measurements. All measurements were performed with transmission gel, but without any other coupling media. The transducer was always placed perpendicular to the skin surface.

Ultrasonography scans were made of the following 6 mimic muscles on both sides: frontalis; orbicularis oculi; depressor anguli oris; depressor labii inferioris; orbicularis oris; and mentalis. As shown in previous studies in healthy subjects, other facial muscles cannot always be identified in all subjects or with sufficient reliability. Two additional muscles were analyzed: the temporalis and masseter muscles. This was done to establish reference data for neighboring muscles that are not innervated by the facial nerve as bilateral reference muscles. The identification of the muscles and the measurement procedure of each muscle have been described in detail recently.<sup>3</sup>

**Quantitative Measurements.** All ultrasound images were stored in the DICOM format. Three separate measurements were made for each muscle at rest. Muscle cross-sectional area, thickness, and gray-value analysis were estimated using quantification software (QLAB; Philips). To determine the cross-sectional area (in mm<sup>2</sup>) of each muscle on both sides of the face, the muscle borders were delimited manually on each image as regions of interest (ROIs) using the freehand function of QLAB (Fig. 1). Maximal muscle thickness was determined orthogonal to the muscle fiber orientation. The temporalis, masseter, orbicularis oris, orbicularis oculi, and frontalis muscles were too large to visualize the complete muscle area on a single image. Hence, the maximal muscle diameter orthogonal to the muscle fiber orientation was measured (in mm). As in the recent pilot study,<sup>3</sup> only the muscle cross-sectional area but not the maximal muscle thickness was estimated for the depressor anguli oris, depressor labii inferioris, and mentalis muscles. The retest reliability of the thickness measurements for these 3 muscles seems to be insufficient (Volk *et al.*, unpublished data). The ratio between the affected side and the contralateral healthy side was calculated (in percent) as follows: ratio = [(palsy side/healthy side) · 100] – 100. Using gray-scale analysis, the echo intensity of each muscle was quantified.<sup>4</sup> The mean gray value of the ROI from each muscle was calculated. The results of the 3 separate measurements were averaged for each muscle to minimize variation.<sup>4,8</sup>

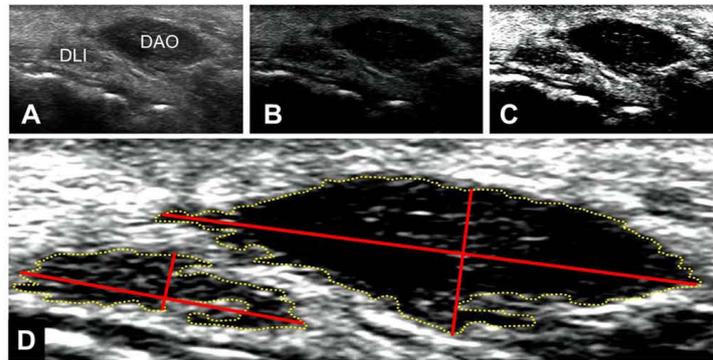
**Statistics.** All statistical analyses were performed using IBM SPSS, version 21.0. If not otherwise indicated, data are presented as mean ± standard deviation (SD). The non-parametric Wilcoxon test was

**Table 1.** Muscle thickness and area at rest.

Muscle	Palsy side [mean (SD)]	Healthy side [mean (SD)]	Ratio palsy/healthy side*	P†
Frontalis, thickness (mm)	3.00 (0.85)	3.15 (0.78)	-4.6%	0.147
Frontalis, area (mm <sup>2</sup> )	68.29 (18.82)	71.95 (20.65)	-2.0%	0.502
Orbicularis oculi, thickness (mm)	0.67 (0.31)	0.82 (0.23)	-11.0%	<b>0.040</b>
Orbicularis oculi, area (mm <sup>2</sup> )	5.56 (4.33)	7.92 (4.08)	-25.2%	<b>0.012</b>
Orbicularis oris, thickness (mm)	2.57 (0.39)	2.80 (0.61)	-5.8%	<b>0.037</b>
Orbicularis oris, area (mm <sup>2</sup> )	30.38 (6.75)	35.34 (9.94)	-7.6%	<b>0.028</b>
Depressor anguli oris, area (mm <sup>2</sup> )	17.43 (10.76)	29.17 (9.82)	-36.2%	<b>0.002</b>
Depressor labii inferioris, area (mm <sup>2</sup> )	14.81 (6.96)	21.60 (5.33)	-33.6%	<b>&lt;0.0001</b>
Mentalis, area (mm <sup>2</sup> )	25.60 (10.71)	34.56 (9.48)	-23.2%	<b>0.004</b>
Temporalis, thickness (mm)	18.85 (2.12)	19.39 (2.04)	-2.6%	0.086
Temporalis, area (mm <sup>2</sup> )	384.48 (63.23)	395.88 (58.47)	-1.7%	0.550
Masseter, thickness (mm)	10.96 (2.78)	10.86 (1.96)	0.1%	0.936
Masseter, area (mm <sup>2</sup> )	243.38 (84.42)	233.29 (56.07)	2.7%	0.411

\*Ratio (%) = [(palsy side / healthy side) · 100] – 100.

†Statistically significant P-values (P < 0.05) in bold.



**FIGURE 1.** Example of quantitative facial muscle measurement after post-processing. The depressor anguli oris (DAO) and the depressor labii inferioris (DLI) on the healthy left side are shown. (A) Original image; (B) decreased brightness; (C) increased contrast; and (D) final manual delineation of the region of interest (ROI), using the freehand function of the software to determine the cross-sectional areas. [Color figure can be viewed in the online issue, which is available at [wileyonlinelibrary.com](http://wileyonlinelibrary.com).]

applied to analyze differences between the affected facial side and the healthy contralateral side. The non-parametric Mann–Whitney *U*-test was used to analyze the influence of clinical parameters on the muscle measurements. Nominal *P*-values of 2-tailed tests are reported. The significance level was set at  $P < 0.05$ . Informed written consent was obtained for publication of patients' images.

## RESULTS

**Patients' Characteristics.** The study sample consisted of 16 women and 4 men. The average age was  $57 \pm 18$  years (median 61, range 26–85). BMI was  $27 \pm 6$  kg/m<sup>2</sup> (median 24, range 19–37). All patients, except 1, were right-handed. The etiology of facial palsy was: postsurgical ( $n = 14$ ); idiopathic ( $n = 3$ ); Ramsey–Hunt syndrome ( $n = 1$ ); trauma ( $n = 1$ ); and preoperative malignant parotid tumor infiltration ( $n = 1$ ). The average duration of the palsy since onset was  $51.3 \pm 59$  months (range 10.0–102.4). At the time of the ultrasonographic examination, 10 patients had already undergone facial nerve reconstruction via facial nerve interpositional graft or hypoglossal–facial jump nerve suture. In these 10 patients, reconstructive surgery was performed  $11.8 \pm 7.3$  months (median 3–21.8) before ultrasonographic assessment. EMG still showed evidence for denervation of the mimic muscles in 6 patients (patient examples in Fig. 2) and reinnervation in 14 patients (patient examples in Fig. 3). 5 patients showed synkinetic activity. The Stennert index at rest was  $2.4 \pm 1.2$  (median 2.5, range 0–4). Stennert index during facial movements was  $4.5 \pm 1.9$  (median 6, range 1–6).

**Muscle Thickness and Areas at Rest.** Muscle thickness and area of the facial and chewing muscles

for the affected side and the contralateral healthy side are listed in Table 1. Significantly smaller sizes on the palsy side were measured for thickness and area of the orbicularis oculi, orbicularis oris, depressor labii inferioris, depressor anguli oris, and mentalis muscles (all  $P < 0.05$ ). No side differences for affected and normal side were seen for the frontalis muscle and the 2 chewing muscles. When focusing on the affected side only, denervated mimic muscles showed significantly smaller size than reinnervated muscles for orbicularis oculi thickness ( $P = 0.003$ ), orbicularis oculi area ( $P = 0.026$ ), and depressor anguli oris area ( $P = 0.012$ ). Only the depressor anguli oris showed a larger area in the case of synkinetic activity compared to patients without synkinesis ( $P = 0.019$ ). A higher Stennert index at rest (Stennert index 3 and 4; i.e., less facial tonus) was associated with a smaller depressor anguli oris area ( $P = 0.004$ ), a thinner orbicularis oculi muscle ( $P = 0.003$ ), and a smaller orbicularis oris area ( $P = 0.043$ ), all on the affected side, compared to patients with better resting tone (Stennert index 1 and 2). All mentioned parameters with influence on muscle measurements of the affected side had no significant influence on the healthy side (all  $P > 0.05$ ). Taking into account that a series of 1 patient per time-point was analyzed, it seemed from visual inspection that, for most of the mimic muscles, the muscle thickness and area decreased on the paralyzed side in relation to the healthy side and remained lower over the time course of denervation (Fig. 4A, top). After reinnervation, muscle thickness and area seemed to increase again and even appeared to be higher finally on the paralyzed side than on the healthy side (Fig. 4A, bottom). The 2 chewing muscles did not show a significant effect over the



**FIGURE 2.** Two faces at rest with chronic facial palsy (denervated facial muscles on the left side). (A, B) Patient 1 denervation for 30 months, Stennert index 4/6. (C, D) Patient 2 denervation for 43 months, Stennert index 4/6. (A, C) Normal imaging. (B, D) Image with superimposed muscle drawing and ratio values of muscle size for frontalis, orbicularis oculi, orbicularis oris, depressor anguli oris, depressor labii inferioris, and mentalis. Negative values: muscle size smaller on palsy side in black; positive values: muscle size larger on palsy side in white. [Color figure can be viewed in the online issue, which is available at [wileyonlinelibrary.com](http://wileyonlinelibrary.com).]

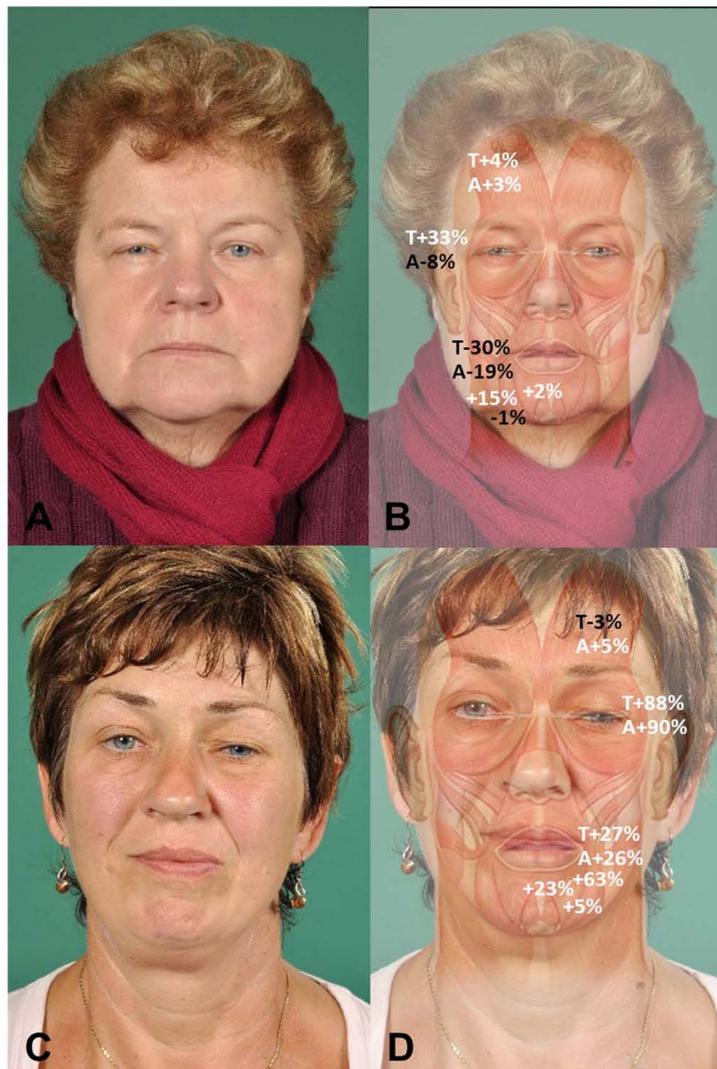
time course of denervation (and reinnervation) of the facial nerve.

**Muscle Echo Intensity at Rest.** Muscle echo intensity of the facial and chewing muscles for the affected side and the contralateral healthy side are

Facial Muscle Sonography

listed in Table 2. Significantly higher echo intensity was measured for all mimic muscles ( $P < 0.05$ ), except for the orbicularis oculi and frontalis muscles ( $P = 0.212$  and  $P = 0.108$ , respectively). The 2 chewing muscles did not show significant side differences. When focusing on the affected

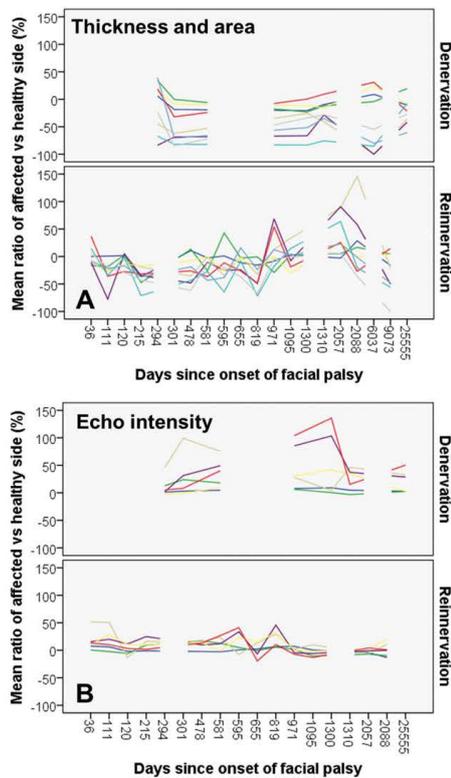
MUSCLE & NERVE September 2014 361



**FIGURE 3.** Two faces at rest with chronic facial palsy with reinnervated facial muscles and defective healing on the right side (A, B) and on the left side (C, D) characterized by severe hyperkinesis of the orbicularis oris muscle. (A, B) Patient 1 reinnervation after 37 months, Stennert index 1/1. (C, D) Patient 2 reinnervation after 69 months, Stennert index 2/2. (A, C) Normal imaging. (B, D) Imaging with superimposed muscle drawing and ratio values of muscle size for frontalis, orbicularis oculi, orbicularis oris, depressor anguli oris, depressor labii inferioris, and mentalis; negative values = muscle size smaller on palsy side in black; positive values = muscle size larger on palsy side in white. [Color figure can be viewed in the online issue, which is available at [wileyonlinelibrary.com](http://wileyonlinelibrary.com).]

side only, innervation status, synkinetic activity, and Stennert index at rest had no significant association with echo intensity (all  $P > 0.05$ ). Echo intensity seemed to increase on the paralyzed side for some mimic muscles during denervation

(Fig. 4B, top) and appeared equivalent for both sides during reinnervation (Fig. 4B, bottom). Echo intensity of the 2 chewing muscles did not change significantly during the time course of denervation and reinnervation.



**FIGURE 4.** Facial muscle thickness and area (**A**) and echo intensity (**B**) in relation to days since onset of the facial palsy for the 6 mimic muscles during facial nerve denervation (top graph) and during reinnervation (bottom graph). Each patient was examined only once. Each time-point is from a different patient. For better visualization of the time course of denervation and regeneration, data are plotted as lines. (**A**) Blue = frontalis thickness; green = frontalis area; beige = orbicularis oculi thickness; purple = orbicularis oculi area; yellow = orbicularis oris thickness; red = orbicularis oris area; turquoise = depressor anguli oris area; gray = depressor labii inferior; light blue = mentalis. (**B**) Blue = frontalis, green = orbicularis oculi, beige = orbicularis oris; purple = depressor anguli oris, yellow = depressor labii inferior; red = mentalis.

## DISCUSSION

Using quantitative ultrasonography, we have shown that mimic muscle size is decreased after facial nerve denervation and that muscle size increases again after reinnervation. In accordance with the EMG data, we found that synkinetically reinnervated muscles, especially with clinical and electrophysiological signs of hyperkinesis, are characterized by an increase in muscle size compared to the healthy side. Previously, mimetic

muscle atrophy has only been demonstrated qualitatively in selected muscles by magnetic resonance imaging.<sup>9</sup> Furthermore, we found that the echo intensity of the facial muscles increased during denervation and was restored to equivalent values compared with the normal side during reinnervation. Recently, it was shown that this method could detect changes of mimic muscle size and echo intensity in a patient with myotonic dystrophy type 1.<sup>4</sup>

Muscle atrophy is a secondary effect of denervation induced by nerve transection.<sup>10</sup> The denervation and reinnervation process of human mimic muscles has not been studied in detail. Most knowledge we have is from human limb muscles. Here, histology typically shows no degenerative changes in the first 2 months after a nerve lesion, but considerably reduced muscle fiber diameter 4 months to 1 year after denervation.<sup>11,12</sup> Taking into account that we only had single-point measurements but no time course of quantitative ultrasound, the plots over the time since onset of the facial palsy (cf. Fig. 4) suggest that significant mimic muscle atrophy starts about 3–7 months after facial denervation. In accordance with clinical experience, facial reanimation is even possible after denervation times of >2 years and can still lead to recovery of mimic muscle size.<sup>1</sup> Further studies should clarify whether quantitative facial muscle ultrasound has the potential to assess facial muscle atrophy (and thereby the probability of success of facial nerve reconstruction surgery after long-term denervation) better than clinical examination and EMG alone.

Routine clinical grading of facial palsy is typically performed by subjective grading scales like the House–Brackmann scale or the Sunnybrook facial grading system.<sup>13,14</sup> The latter, like the Stennert index used in this study, has the advantage that the face is also evaluated at rest and in cases of chronic facial palsy for synkinesis.<sup>7</sup> Nevertheless, all these subjective and rater-dependent grading systems have the disadvantage of insufficient intra- and interrater reliability.<sup>15</sup> Therefore, there has been debate about computer-generated objective evaluation techniques for years, but no image analysis system has been accepted clinically.<sup>16</sup> In this study the Stennert index at rest showed a significant correlation with muscle size at rest. The intra- and interrater reliability using quantitative facial muscle ultrasound for patients with facial palsy has to be clarified in a further study. At that time, quantitative facial muscle ultrasound may offer the potential for further development into an objective and regional facial grading system.

Muscle atrophy induced by denervation is accompanied by infiltration of interstitial fat and

**Table 2.** Muscle echo intensity at rest.

Muscle	Palsy side [mean (SD)]	Healthy side [mean (SD)]	Ratio palsy/healthy side*	<i>p</i> <sup>†</sup>
Frontalis	169.83 (12.98)	167.57 (13.59)	1.5%	0.108
Orbicularis oculi	174.29 (13.67)	169.04 (13.85)	3.6%	0.212
Orbicularis oris	113.41 (20.88)	94.41 (16.61)	22.7%	<b>0.002</b>
Depressor anguli oris	141.39 (21.45)	120.57 (21.24)	20.7%	<b>0.001</b>
Depressor labii inferioris	157.64 (24.11)	142.72 (26.86)	12.2%	<b>0.004</b>
Mentalis	126.24 (23.24)	115.57 (27.75)	17.4%	<b>0.008</b>
Temporalis	141.48 (14.75)	141.35 (14.39)	0.4%	0.502
Masseter	120.63 (23.91)	120.34 (25.07)	2.5%	0.852

\*Ratio (%) = [(palsy side / healthy side) 100] - 100.

†Statistically significant *P*-values (*P* < 0.05) in bold.

fibrous tissue.<sup>11</sup> Increasing amounts of fibrous tissue seem to be correlated with higher ultrasound echo intensity.<sup>4,17</sup> Echo intensity is associated negatively with muscle strength, especially in the elderly.<sup>18</sup> These findings are consistent with our results on echo intensity in mimic muscles during denervation (increase of echo intensity) and reinnervation (restoration of baseline values) in patients with chronic facial palsy. It would be worthwhile to correlate echo intensity with muscle strength in a future study during reinnervation in facial palsy patients.

A problem still to be solved is the optimal reference for quantitative ultrasound measurements of unilaterally paralyzed facial muscles. In this study we used the contralateral healthy side as a reference. Therefore, the proportional results could have been influenced by changes on the healthy side. Overuse of muscles on the healthy side is often seen in clinical practice and may result in muscle enlargement that could lead to overestimation of the relative atrophy on the paralyzed side. The alternative is to reference all data to normal reference data of healthy adults.<sup>5</sup> Looking at the range of facial muscle sizes in healthy adults and the potential influence of factors like age, gender, height, and weight, it is first mandatory to establish reference data in large cohorts with different age groups and a balanced gender ratio. To define the best reference system will be even more important for the echo intensity data. In this study the mean echo intensity values of the facial muscles varied on the healthy side between 94 and 169. In contrast, Alfen *et al.* measured mean values of between 6 and 50.<sup>4</sup> Echo intensity is very dependent on the preset of the ultrasound machine and selection of the ROI. Therefore, direct comparison of data is not possible. A good solution for the future would be to report echo intensity data in reference to the echo intensity of a muscle that is not innervated by the facial nerve. This is the reason we included the temporalis and masseter in the present study. Both

chewing muscles are direct neighbors of the facial muscles; that is, they are easy to access in the same examination. In addition, the results show that muscle size and echo intensity of both chewing muscles seem not to be influenced by the facial palsy, and thus both muscles would be suitable as reference muscles.

In conclusion, we recommend adding quantitative facial ultrasonography to the available clinical tests for patients with chronic facial palsy, as it is anticipated to be of substantial value both in diagnosis and monitoring of neuromuscular disorders of the face. The minimally invasive nature, easy access, cost-effectiveness, and reproducibility of ultrasonography make it an ideal tool that offers many advantages over computed tomography, magnetic resonance imaging, or even biopsies for obtaining information about mimic muscle vitality and function.

#### REFERENCES

- Guntinas-Lichius O, Streppel M, Stennert E. Postoperative functional evaluation of different reanimation techniques for facial nerve repair. *Am J Surg* 2006;191:61-67.
- Volk GF, Pantel M, Guntinas-Lichius O. Modern concepts in facial nerve reconstruction. *Head Face Med* 2011;6:25.
- Volk GF, Wytub N, Pohlmann M, Finkensieper M, Chalmers HJ, Guntinas-Lichius O. Quantitative ultrasonography of facial muscles. *Muscle Nerve* 2013;47:878-883.
- Alfen NV, Gilhuis HJ, Keijzers JP, Pillen S, van Dijk JP. Quantitative facial muscle ultrasound: feasibility and reproducibility. *Muscle Nerve* 2013;48:375-380.
- Grosheva M, Wittekindt C, Guntinas-Lichius O. Prognostic value of electroneurography and electromyography in facial palsy. *Laryngoscope* 2008;118:394-397.
- Volk GF, Klingner C, Finkensieper M, Witte OW, Guntinas-Lichius O. Prognostication of recovery time after acute peripheral facial palsy: a prospective cohort study. *BMJ Open* 2013;3:pii: e003007. doi: 10.1136/bmjopen-2013-003007.
- Stennert E, Limberg CH, Frentrup KP. [An index for paresis and defective healing—an easily applied method for objectively determining therapeutic results in facial paresis (author's transl.)]. *HNO* 1977;25:238-245.
- Scholten RR, Pillen S, Verrips A, Zwarts MJ. Quantitative ultrasonography of skeletal muscles in children: normal values. *Muscle Nerve* 2003;27:693-698.
- Kaylie DM, Wax MK, Weissman JL. Preoperative facial muscle imaging predicts final facial function after facial nerve grafting. *Am J Neuroradiol* 2003;24:326-330.
- Gutmann E. The denervated nerve. Prague: Czechoslovak Academy of Sciences; 1962.
- Bowden RE, Gutmann E. Denervation and reinnervation of human voluntary muscle. *Brain* 1944;67:273-313.

12. Bowden RE, Cutmann E. Clinical value of muscle biopsies. *Lancet* 1945;2:768-771.
13. House JW, Brackmann DE. Facial nerve grading system. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1985;93:146-147.
14. Ross BG, Fradet G, Nedzelski JM. Development of a sensitive clinical facial grading system. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1996;114:380-386.
15. Vrabeč JT, Backous DD, Djalilian HR, Gidley PW, Leonetti JP, Marzo SJ, et al. Facial Nerve Grading System 2.0. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2009;140:445-450.
16. Nakata S, Sato Y, Ganaratne P, Suzuki Y, Sugiura S, Nakashima T. Quantification of facial motion for objective evaluation using a high-speed three-dimensional face measurement system—a pilot study. *Otol Neurotol* 2006;27:1023-1029.
17. Pillen S, Tak RO, Zwarts MJ, Lammens MM, Verrijp KN, Arts IM, et al. Skeletal muscle ultrasound: correlation between fibrous tissue and echo intensity. *Ultrasound Med Biol* 2009;35:443-446.
18. Watanabe Y, Yamada Y, Fukumoto Y, Ishihara T, Yokoyama K, Yoshida T, et al. Echo intensity obtained from ultrasonography images reflecting muscle strength in elderly men. *Clin Interv Aging* 2013;8:993-998.

## 4.3 3D-Ultrasonography for evaluation of facial muscles in patients with chronic facial palsy or defective healing: a pilot study Palsy

Volk et al. *BMC Ear, Nose and Throat Disorders* 2014, **14**:4  
<http://www.biomedcentral.com/1472-6815/14/4>



TECHNICAL ADVANCE

Open Access

# 3D-Ultrasonography for evaluation of facial muscles in patients with chronic facial palsy or defective healing: a pilot study

Gerd Fabian Volk<sup>1</sup>, Martin Pohlmann<sup>1</sup>, Mira Finkensieper<sup>1</sup>, Heather J Chalmers<sup>2</sup> and Orlando Guntinas-Lichius<sup>1\*</sup>

### Abstract

**Background:** While standardized methods are established to examine the pathway from motorcortex to the peripheral nerve in patients with facial palsy, a reliable method to evaluate the facial muscles in patients with long-term palsy for therapy planning is lacking.

**Methods:** A 3D ultrasonographic (US) acquisition system driven by a motorized linear mover combined with conventional US probe was used to acquire 3D data sets of several facial muscles on both sides of the face in a healthy subject and seven patients with different types of unilateral degenerative facial nerve lesions.

**Results:** The US results were correlated to the duration of palsy and the electromyography results. Consistent 3D US based volumetry through bilateral comparison was feasible for parts of the frontalis muscle, orbicularis oculi muscle, depressor anguli oris muscle, depressor labii inferioris muscle, and mentalis muscle. With the exception of the frontal muscle, the facial muscles volumes were much smaller on the palsy side (minimum: 3% for the depressor labii inferior muscle) than on the healthy side in patients with severe facial nerve lesion. In contrast, the frontal muscles did not show a side difference. In the two patients with defective healing after spontaneous regeneration a decrease in muscle volume was not seen. Synkinesis and hyperkinesis was even more correlated to muscle hypertrophy on the palsy compared with the healthy side.

**Conclusion:** 3D ultrasonography seems to be a promising tool for regional and quantitative evaluation of facial muscles in patients with facial palsy receiving a facial reconstructive surgery or conservative treatment.

**Keywords:** 3D-Sonography, Facial musculature, Reconstructive surgery, Facial nerve, Facial palsy

### Background

Acute denervation of the facial muscles after a severe facial nerve lesion leads to facial palsy. Furthermore, long-term denervation causes loss of the resting tone accompanied by progressive facial muscle atrophy. Therefore, it is generally recognized that a longer duration of denervation is a negative prognostic factor for a good functional recovery after facial nerve reconstruction [1,2]. According to a general doctrine, facial nerve reconstruction surgery is not recommended beyond two to three years after degenerative facial nerve lesion [3]. Obviously, this rule of thumb is rough as the time

course of muscle atrophy seems to be highly variable. Yet, a fast, non-invasive, and reliable method to evaluate the condition of the facial muscles and the degree of atrophy is missing. So far, the only method used in clinical routine is needle electromyography (EMG) [2,4]. The vitality of the muscles is assessed by subjective and qualitative examination of the insertion activity. Other EMG parameters, such as spontaneous muscle activity or evaluation of voluntary activity, which may be used to predict the degree of facial nerve degeneration, do not allow an evaluation of the degree of muscle atrophy.

Principally, one pilot study has shown that magnetic resonance imaging (MRI) is able to demonstrate facial muscles and to evaluate the degree of muscle atrophy by bilateral comparison [5]. Probably, specific MRI drawbacks have hindered a usage in clinical routine; namely

\* Correspondence: [orlando.guntinas@med.uni-jena.de](mailto:orlando.guntinas@med.uni-jena.de)

<sup>1</sup>Department of Otorhinolaryngology, Jena University Hospital, Lessingstrasse 2, D-07740 Jena, Germany

Full list of author information is available at the end of the article



© 2014 Volk et al.; licensee BioMed Central Ltd. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly credited. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated.

there is restricted access to MRI, it is time consuming and costly. Furthermore, when facial MRI is elected, adjusting the sectional planes to the individual face requires a high practical knowledge. In order to optimize sequence acquisition for each muscle, multiple pulse sequences would be necessary. In contrast, ultrasonography allows individual cross-sections optimized for every muscle during real time imaging. It can also detect distinctive patterns in muscles affected by a neuromuscular disease [6]. Additionally, the spatial resolution of MRI is inferior to high frequency (8-15 MHz) ultrasound. Moreover, the additional application of three dimensional (3D) ultrasonography produces volumetric data that might simplify the quantification of muscle atrophy [7].

A first report on visualization of the muscles of facial expression with ultrasonography was published in 1988 [8]. Interestingly, although possibly attributable to the technical limitations in early generation ultrasound equipment, the possibilities of ultrasonography have not been further explored until recently [9]. In the present pilot study we explored the possibilities of modern 3D ultrasonography to allow a fast assessment of regional muscle volume changes in patients with facial palsy.

## Methods

### Subjects

To establish 3D ultrasonography of facial muscles, a healthy adult volunteer was recruited (#0). He never had a facial trauma, head trauma, facial palsy or any other neurological disorder. He had no history of a hereditary neuromuscular disorder or of any other congenital disorder. Afterwards, 3D ultrasonography was performed in a cross section of seven patients (#1-7) affected with a history of facial palsy of different etiology, duration, and treatment (Table 1). The study was approved by the local ethics committee, and informed consent was obtained from all participants. Age, gender, body weight, body height, body mass index (BMI), and handedness of all subjects were recorded. The local ethics committee of the Friedrich-Schiller University, Jena, Germany, approved the study. Informed consent including consent for publication of the report and any accompanying images was obtained from the volunteer and the patients.

### Electromyography

Electromyography (EMG) was performed with a Medelec Synergy EMG system (Viasys CareFusion, Höchberg, Germany). The examination technique was published in detail elsewhere [10]. The paralyzed hemiface was examined at rest and during voluntary activity, and the function of six facial muscles was analyzed: the frontalis, orbicularis oculi, major zygomatic, orbicularis oris, levator labii superior, and the depressor anguli oris muscle. The EMG

recordings were analyzed for insertion activity, pathologic spontaneous fibrillation potentials, the degree of voluntary polyphasic reinnervation potentials, and for synkinetic activity.

### 3D Ultrasonography

The ultrasonography examinations (Figure 1) were performed by three of the present investigators (G.F.V.; M. P.; H.C). A GE Logic E ultrasound machine with a L12-5 Mhz linear array transducer was used for the composite imaging (GE Healthcare, Wisconsin, USA). The probe had an acoustic window of 38.5 mm. The probe was attached to a motorized 3D US acquisition system driven by a custom built linear mover (Robarts Institute, University of Western Ontario, Canada) with an Lenovo ThinkPad laptop computer (64 bit operating system 8 GB RAM, Inter core i5 CPU @ 2.4 GHz; Lenovo, North Carolina, USA). This was equipped with a frame grabber digitizing 2D frames at 30 Hz from the ultrasound machine as the probe was moved along the face at a uniform speed of 3 mm/s driven by the robotic mover along a maximum length of 10 cm. 3D volumes were constructed using the acquired frames and displayed using multiplanar reformatting and custom software (Robarts Institute, University of Western Ontario, Canada). To illustrate the measured muscle volumes, the 3D reconstructions were color-coded and superimposed on photographs of the faces of the patients.

### Identification of facial muscles

The primary aim was to identify different facial muscles using the 3D system and to perform comparison between healthy and affected sides. All subjects were examined in supine position and completely relaxed. Before starting the 3D acquisition, volunteer activation of facial muscles was used to confirm the correct position of the transducer. The transducer was positioned perpendicular to the facial skin and acoustic coupling gel was used generously to facilitate the motorized movement of the probe and to minimize contact artifact at facial contours. A muscle was considered to be identifiable when it was possible to delineate the facial muscle throughout its complete course without interference from other radiating adjacent facial muscles (An example is provided in Figure 2: the frontalis muscle on both sides). The overlap with other mimic muscles with mutual anchoring is a characteristic feature of some mimic muscles. In these areas, a distinction of each mimic muscle was often impossible. This circumstance would skew the muscle area measurement. It must be stressed that the aim was not to measure the complete, absolute, volume of the mimic muscles but to measure the volume of the same part of each muscle through direct bilateral comparison. Therefore, the absolute measured volumes are not of

**Table 1 Patients' characteristics**

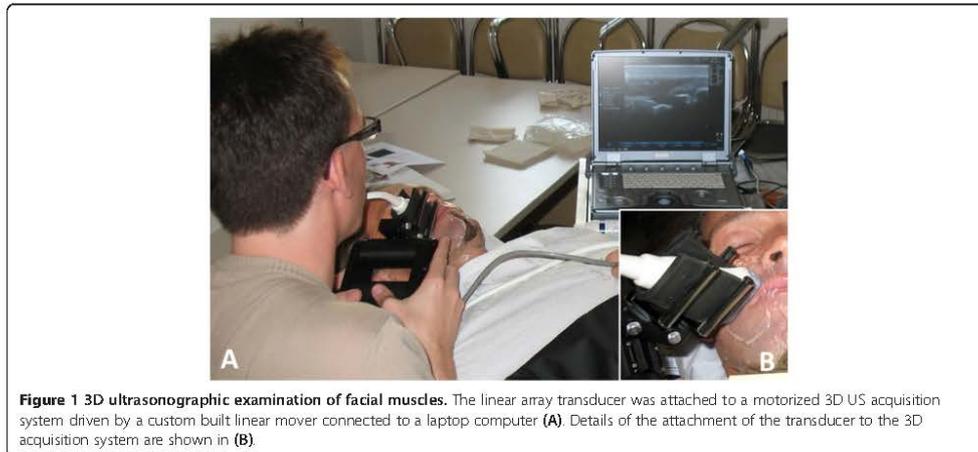
Patient	Age (years)	Sex	Etiology	Interval since onset of palsy (months)	Type of reconstruction	Interval since reconstruction (months)	Side	EMG results*
#1	32	M	Brainstem surgery for medulloblastoma	37	Selective HFJ	18	L	IA: reduced PSA: none  VA: Reinnervation potentials in nasalis m., zygomatic m., and orbicularis oris m. during tongue movements  I: Reinnervation lower face by hypoglossal nerve
#2	26	F	Unclear	432	HFJ	7	R	IA: reduced PSA: none  VA: Reinnervation potentials only in orbicularis oris m. during tongue movement  I: Reinnervation by hypoglossal nerve has started
#3	26	F	Vestibular schwannoma surgery	37	HFJ	2	L	IA: reduced PSA: none VA: none  I: Reinnervation has not yet started
#4	63	F	Glomus jugulare tumor surgery	35	None	NA	L	IA: reduced PSA: none  VA: none  I: severe lesion without signs of spontaneous regeneration; HFJ planned for same day
#5	65	F	Glomus jugulare tumor surgery	10	None	NA	R	IA: normal PSA: none VA: none  I: severe lesion without signs of spontaneous regeneration; HFJ planned for one week later
#6	39	F	Idiopathic palsy	23	None	NA	R	IA: normal PSA: none  VA: reduced in zygomatic muscles, synkinetic activity between orbicularis oris and oculi m.  I: defective healing with synkinesis
#7	46	F	Vestibular schwannoma surgery	87	None	NA	R	IA: normal PSA: none  VA: synkinetic activity between orbicularis oris and oculi m., massive activity in orbicularis oculi m.  I: defective healing with synkinesis and hyperkinesis

NA = not applicable; \*Insertion activity (IA); Pathologic spontaneous activity (PSA); Voluntary activity (VA); Interpretation (I).

interest but the relation between palsy side and healthy side.

Parts of five facial muscles were clearly delineated from surrounding connective tissue, bone, adjacent facial muscles, and were suitable for 3D ultrasonography (Figure 2A). In the cranio-caudal direction these muscles were: frontalis muscle, orbicularis oculi muscle, depressor anguli oris muscle, depressor labii inferioris muscle, and mentalis

muscle. Because we only measured parts of the muscles, it was very important to measure always the same part of the muscle on both sides and in all subjects. Hence, reliable landmarks were very important: The frontal muscle was measured in two 60 mm long strip-like acoustic windows starting from the supraorbital margin going cranial. Vertical lines through the pupils were used to determine the midline of each strip. To standardize the acquisition of



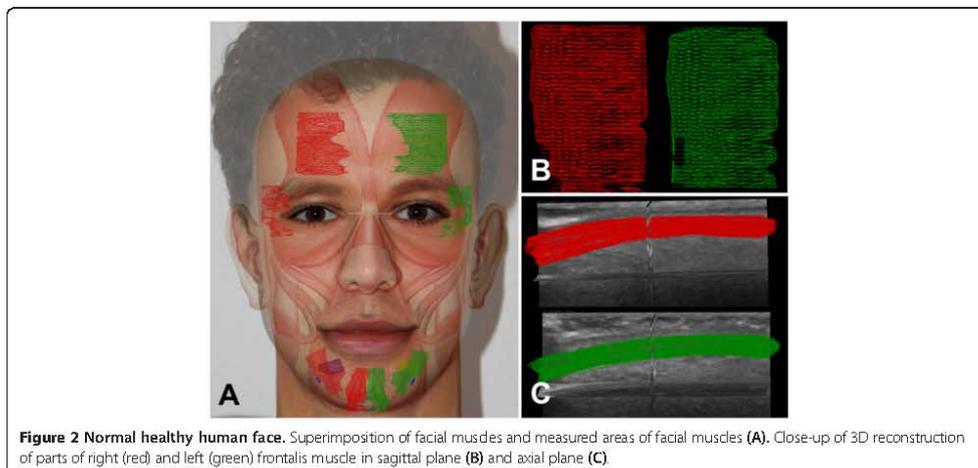
the orbicularis oculi muscle, a horizontal line through the pupils marked the middle of this cranio-caudal orientated 60 mm strip. The lateral wall of the orbital cavity and the frontal process of the zygomatic bone were important landmarks for this scan of the orbicularis oculi muscle.

The depressor anguli oris muscle and the depressor labii inferioris muscle were measured using one scan on each side. The alveolar processes of the mandibular body were used as landmarks for these scans, starting on a standardized axial position. From here, the line probe excursions were set for 30 mm both cranial and caudal. The mentalis muscles of both sides were measured using a single scan, orientated in the midline on the face. The

lower lip was the cranial border, the mental protuberance the caudal one. In most patients, this scan was smaller than 60 mm.

#### Statistics

All statistical analyses were performed using IBM SPSS, version 19.0. If not reported differently, data are presented as means  $\pm$  standard deviation. The non-parametric Kruskal Wallis test for dependent parameters was used to compare muscle volumes between both facial sides. The ratio of the volume of each mimic muscle on the palsy in relation to the healthy side was calculated as follows: Ratio = Palsy side/healthy side (Table 2).



**Table 2 Volumes of the same region of different mimic muscles on both sides of the face in a healthy subject\* and seven patients**

Patient	Frontal muscle			Orbicularis oculi muscle			Depressor anguli oris m.			Depressor labii inf. muscle			Mentalis muscle		
	Partial volume (mm <sup>3</sup> )			Partial volume (mm <sup>3</sup> )			Partial volume (mm <sup>3</sup> )			Partial volume (mm <sup>3</sup> )			Partial volume (mm <sup>3</sup> )		
	Healthy side	Palsy side	Ratio												
#0	559.18	462.61	0.83	317.15	302.46	0.95	1143.79	1084.22	0.95	414.38	348.87	0.84	534.16	502.49	0.94
#1	430.05	512.75	1.19	248.13	31.24	0.13	590.94	208.01	0.35	281.57	7.95	0.03	388.84	147.30	0.38
#2	1489.67	963.28	0.65	116.31	32.34	0.28	418.77	82.26	0.20	142.29	15.67	0.11	225.57	104.83	0.46
#3	763.21	1025.27	1.34	159.94	41.66	0.26	537.21	114.63	0.21	165.53	27.76	0.17	239.04	154.60	0.65
#4	1605.73	1845.93	1.15	105.79	55.00	0.52	548.25	211.70	0.39	392.06	198.29	0.51	367.92	173.88	0.47
#5	1214.30	1290.93	1.06	212.49	113.5	0.05	NA	328.20	NA	NA	42.11	NA	371.95	227.44	0.61
#6	1747.60	1265.61	0.72	214.90	189.08	0.88	925.64	911.25	0.98	317.75	327.64	1.03	NA	NA	NA
#7	1317.75	1223.41	0.93	79.72	84.37	1.06	370.74	391.01	1.05	193.47	246.94	1.28	232.10	212.54	0.92

\*In the healthy subject (#0), both facial sides are healthy. There is no palsy side in this subject. Ratio = Palsy side/healthy side, NA = not applicable.

**Results**

**Patients**

Details on the seven patients with different types of facial palsy are presented in Table 1. Five patients (#1, #2, #3, #4, #5; Figure 3) presented 37 to 432 months after skull base or brainstem surgery with chronic facial palsy

without any signs of regeneration. In three patients (#1, #2, #3; Figure 3A-F) reanimation of the affected hemiface was performed by hypoglossal-facial jump nerve suture (HFJ) 2 to 18 months before the 3D ultrasonographic examination. In the other two patients (#4, #5; Figure 3G-J), HFJ was performed one day (BI) and one week (BB) after



**Figure 3** Five patients with degenerative facial nerve lesion on the left side (AB, EF; GH) or right side (CD, IJ) of the face; face at rest on the left side (A, C, E, G, I) and with projections of the muscle areas measured on both sides (B, D, F, H, J). In two patients (A-D), regeneration after reconstruction with hypoglossal facial nerve suture already started.

the 3D ultrasonographic examination. Additionally, two patients (#6, #7; Figure 4A-D) with defective healing after spontaneous regeneration of severe facial palsy without surgical reconstruction were examined.

#### Facial muscle volume on healthy side and facial palsy side in correlation to the EMG results

Projections of all measured muscle parts for all patients are presented in Figures 3 and 4. In one subject (#5), both depressor muscles were not completely visible on the healthy side. In another patient (#6), both mentalis muscle were not accessible due to a scar in this area.

An overview about the EMG results is given in Table 1. All US measurements are presented in Table 2. The healthy subject (#0) showed a right-left side relation of the facial muscle volumes between 83% and 94%. The fact, that all measured muscles on the right side were bigger than on the left side could be a hint for individual side-differences similar to handedness. As in the patients the measurements were robust and reproducible. Statistically,

volume of the mentalis muscle and the orbicularis oculi muscle were significantly smaller on the palsy side in comparison to the healthy side in the patient prior to or during regeneration after facial nerve reconstruction (#1, #2, #3, #4, #5;  $p = 0.043$ , respectively). In the small sample, there was no side difference for the frontalis, depressor anguli oris, and for the depressor labii inferior muscle volume (all  $p > 0.05$ ). The frontal muscles did not show a side difference in size, even in patients without any sign of spontaneous regeneration (#4, #5). The minimum volume measured on the palsy was 3% of the healthy side for the depressor labii inferior muscle. These muscles also showed decreased insertion activity during the EMG examination but no pathologic spontaneous activity. The degree of muscle atrophy within different muscles in each of the five patients with severe facial nerve lesion was highly variable between the patients but also within the same patient (#1, #2, #3, #4, #5). In this small sample size a correlation of the degree of atrophy to the denervation interval or the regeneration interval (in patients #1, #2, #3 with facial nerve reconstruction) or to the result of voluntary EMG activity was not obvious. Even in the patient with a denervation time of 35 months and complete loss of resting tone (#4) who was evaluated in order to decide if facial nerve reconstruction still is indicated, at least half of the muscle volume still remained on the palsy side. This fact was co-decisive to indicate facial nerve reconstruction in spite of the long denervation of nearly three years. In the two patients with defective healing after spontaneous regeneration (#6, #7) a US volume side difference was not seen (all  $p > 0.05$ ). Interestingly, synkinesis and hyperkinesis (seen clinically and confirmed by EMG) were even more correlated to higher muscle volumes on the palsy than on the healthy side.

#### Discussion

The clinical examination does not allow a reliable assessment of the vitality of the facial muscles in patients with long-term unilateral facial palsy. EMG is so far the only method available in clinical routine for an indirect assessment of extent of atrophy. But EMG does not allow a quantification of the degree of atrophy. Reduced or loss of insertion activity during needle EMG can be considered as a qualitative indication for muscle atrophy. For this reason, a more precise method would be of great value. From experimental data in other species, it appears that severe atrophy of the target musculature is an important negative prognostic factor for a good functional outcome in nerve reconstruction surgery [11,12]. As there is currently no better method to establish the argument for or against facial nerve reanimation, the recommendation to proceed is mainly based on the denervation time. Yet, there is no clear correlation between denervation time and atrophy of the



**Figure 4** Two patients with spontaneous defective healing after facial nerve lesion on the right side without reconstructive surgery. Face at rest of both patients on the left side (A, C), and same faces (B, D) with superimposed 3D reconstructions of the facial muscles.

muscles because other factors including site and type of the lesion, age, and type of conservative treatment may all influence the degree of muscle atrophy. Therefore, sometimes patients with longer denervation time show better functional results after facial nerve reconstruction than others with short denervation time [1].

In two retrospective MRI studies, asymmetry of the facial muscles was used to predict the outcome of facial nerve reconstruction and vestibular schwannoma surgery [5,13]. In both situations, pronounced asymmetry with reduced muscle mass on the affected side was associated with poor functional outcome. The facial muscles were evaluated on the MRI images as symmetrical or asymmetrical. The muscles that were evaluated were the zygomaticus, orbicularis oris and oculi, levator labii superioris, and nasalis muscles. One side was considered asymmetric compared with the other side when more than one muscle group was atrophied on consecutive images. The asymmetrical group was further qualitatively divided into mild or pronounced asymmetry, however data on the reliability of these assessments was not presented and objective measures of muscle size were not used. In contrast to the present study, no quantitative and reproducible measurements were performed in this MRI study.

As in the previous MRI studies, the present pilot study has shown that not all facial muscles can be assessed using ultrasound. Mimic muscles are often overlapping which hinders a distinct separation of the individual muscle bellies. Moreover, the size and stiffness of the probe with its attachment to motorized linear mover limit the access to some muscles over the surface contours of the face. This methodological problem will be overcome when smaller and more flexible systems are available. The major advantages of 3D US compared to MRI are the better accessibility, lower costs, individual planning of the section planes, the ease of repetition, and the fast potential to quantify muscle atrophy in bilateral comparison. As we could not measure complete muscle volumes, it is not possible to give absolute size of single muscles but a bilateral comparison is possible. Doing so, we can detect even small remnants of atrophic musculature: In one patient (#1), only 3% of the depressor labii inferior muscle was left on the paralyzed side in comparison to the healthy side. We can confirm that the degree of atrophy is highly variable between patients. For instance, patients #1 and #4 have the same denervation time, but although facial nerve regeneration takes place already in #1 after facial nerve reconstruction, the degree of atrophy is much more severe in some mimic muscles than in #4 who was waiting for reconstructive surgery. Furthermore, the pilot study revealed that actually in all patients the degree of atrophy is variable in-between mimic muscles of different facial regions in

the same patients although the nerve was lesioned before its separation into the peripheral end branches. This might be relevant when regional reconstruction techniques or combinations of nerve surgery with regional static measures are discussed for an individual patient. Interestingly, we could detect in the two patients with defective healing (#6, #7) for the first time a hyperplasia of synkinetic muscles.

## Conclusion

Of course, the presented data is only preliminary. A larger sample size has to be measured and especially the major advantage of the 3D US technique has to be applied: Next step, we will perform serial measurements over time of the same muscles in patients with nerve surgery (here we expect an increase of muscle volume) and in patients under botulinum toxin treatment for synkinesis (here we might expect a decrease of muscle volume). In both situations, the 3D US might help us to monitor for the first time the time course of muscle gain or loss after therapeutic interventions in the face.

## Abbreviations

3D: Three dimensional; BMI: Body mass index; EMG: Electromyography; MRI: Magnetic resonance imaging; US: Ultrasound.

## Competing interests

There is no conflict of interest. The authors confirm that they do not have any financial relationship concerning this research.

## Authors' contributions

GFV, OGL and HJC had the idea for the study. OGL drafted the manuscript. MP and MF performed the ultrasound at the participants. OGL performed the statistical analysis. OGL designed tables and figures. All authors read and approved the final manuscript.

## Author details

<sup>1</sup>Department of Otorhinolaryngology, Jena University Hospital, Lessingstrasse 2, D-07740 Jena, Germany. <sup>2</sup>Department of Clinical Sciences, Ontario Veterinary College, University of Guelph, 50 McGillvray St. Guelph, Guelph, ON N1G 2 W1, Canada.

Received: 12 September 2013 Accepted: 15 April 2014

Published: 25 April 2014

## References

1. Guntinas-Lichius O, Streppel M, Stennert E: Postoperative functional evaluation of different reanimation techniques for facial nerve repair. *Am J Surg* 2006, **191**:61-67.
2. Volk GF, Pantel M, Guntinas-Lichius O: Modern concepts in facial nerve reconstruction. *Head Face Med* 2011, **6**:25.
3. Terzis JK, Konofaos P: Nerve transfers in facial palsy. *Facial Plast Surg* 2008, **24**:177-193.
4. Finkensieper M, Volk GF, Guntinas-Lichius O: Facial nerve disorders. *Laryngo-Rhino-Otologie* 2012, **91**:121-141. quiz 142.
5. Kaylie DM, Wax MK, Weissman JL: Preoperative facial muscle imaging predicts final facial function after facial nerve grafting. *Am J Neuroradiol* 2003, **24**:326-330.
6. Arts IM, Overeem S, Pillen S, Schelhaas HJ, Zwarts MJ: Muscle changes in amyotrophic lateral sclerosis: a longitudinal ultrasonography study. *Clin Neurophysiol* 2011, **122**:623-628.
7. Min L, Lai G, Xin L: Changes in masseter muscle following curved osteotomy of the prominent mandibular angle: an initial study with real-time 3D ultrasonography. *J Oral Maxillofac Surg* 2008, **66**:2434-2443.

8. Balogh B, Fruhwald F, Millesi W, Millesi H, Firbas W: **Sonoanatomy of the muscles of facial expression.** *Surg Radiol Anat* 1988, **10**:101–106.
9. Volk GF, Wystub N, Pohlmann M, Finkensieper M, Chalmers HJ, Guntinas-Lichius O: **Quantitative ultrasonography of facial muscles.** *Muscle Nerve* 2013, **47**:878–883.
10. Grosheva M, Wittekindt C, Guntinas-Lichius O: **Prognostic value of electroneurography and electromyography in facial palsy.** *Laryngoscope* 2008, **118**:394–397.
11. Guntinas-Lichius O, Angelov DN, Stennert E, Neiss WF: **Delayed hypoglossal-facial nerve suture after predegeneration of the peripheral facial nerve stump improves the innervation of mimetic musculature by hypoglossal motoneurons.** *J Comp Neurol* 1997, **387**:234–242.
12. Gordon T, Tyreman N, Raji MA: **The basis for diminished functional recovery after delayed peripheral nerve repair.** *J Neurosci* 2011, **31**:5325–5334.
13. Kaylie DM, Jackson CG, Aulino JM, Gardner EK, Weissman JL: **Preoperative appearance of facial muscles on magnetic resonance predicts final facial function after acoustic neuroma surgery.** *Otol Neurotol* 2004, **25**:622–626.

doi:10.1186/1472-6815-14-4

**Cite this article as:** Volk et al.: 3D-Ultrasonography for evaluation of facial muscles in patients with chronic facial palsy or defective healing: a pilot study. *BMC Ear, Nose and Throat Disorders* 2014 **14**:4.

Submit your next manuscript to BioMed Central  
and take full advantage of:

- Convenient online submission
- Thorough peer review
- No space constraints or color figure charges
- Immediate publication on acceptance
- Inclusion in PubMed, CAS, Scopus and Google Scholar
- Research which is freely available for redistribution

Submit your manuscript at  
[www.biomedcentral.com/submit](http://www.biomedcentral.com/submit)



#### 4.4 Quantitative Magnetic Resonance Imaging Volumetry of Facial Muscles in Healthy and Patients with Facial Palsy

OPEN



ORIGINAL ARTICLE

Reconstructive

## Quantitative Magnetic Resonance Imaging Volumetry of Facial Muscles in Healthy Patients with Facial Palsy

Gerd F. Volk, MD\*†  
Inna Karamyan, MD\*  
Carsten M. Klingner, MD†‡  
Jürgen R. Reichenbach, PhD§  
Orlando Guntinas-Lichius,  
MD\*†

**Background:** Magnetic resonance imaging (MRI) has not yet been established systematically to detect structural muscular changes after facial nerve lesion. The purpose of this pilot study was to investigate quantitative assessment of MRI muscle volume data for facial muscles.

**Methods:** Ten healthy subjects and 5 patients with facial palsy were recruited. Using manual or semiautomatic segmentation of 3T MRI, volume measurements were performed for the frontal, procerus, risorius, corrugator supercilii, orbicularis oculi, nasalis, zygomaticus major, zygomaticus minor, levator labii superioris, orbicularis oris, depressor anguli oris, depressor labii inferioris, and mentalis, as well as for the masseter and temporalis as masticatory muscles for control.

**Results:** All muscles except the frontal (identification in 4/10 volunteers), procerus (4/10), risorius (6/10), and zygomaticus minor (8/10) were identified in all volunteers. Sex or age effects were not seen (all  $P > 0.05$ ). There was no facial asymmetry with exception of the zygomaticus major (larger on the left side;  $P = 0.012$ ). The exploratory examination of 5 patients revealed considerably smaller muscle volumes on the palsy side 2 months after facial injury. One patient with chronic palsy showed substantial muscle volume decrease, which also occurred in another patient with incomplete chronic palsy restricted to the involved facial area. Facial nerve reconstruction led to mixed results of decreased but also increased muscle volumes on the palsy side compared with the healthy side.

**Conclusions:** First systematic quantitative MRI volume measures of 5 different clinical presentations of facial paralysis are provided. (*Plast Reconstr Surg Glob Open* 2014;2:e173; doi: 10.1097/GOX.0000000000000128; Published online 20 June 2014.)

Lower motor cranial nerve dysfunction has an effect on the target muscles, typically leading to immediate flaccid paresis or paralysis and atrophy with fatty infiltration if the innervating cranial nerve is damaged.<sup>1</sup> This effect is permanent if no reinnervation takes place or may lead to defective healing if the nerve damage is degenerative

with spontaneous nerve regeneration or after nerve reconstruction surgery.<sup>2</sup> Morphologically, the result of cranial nerve dysfunction is an alteration of the bulk of the target muscles, a decreased or increased muscle tone, and a change of the muscle position. Involvement of adjacent and functionally associated muscles with innervation by other nerves may oc-

From the \*Department of Otorhinolaryngology, Jena University Hospital, Jena, Germany; †Facial Nerve Center, Jena University Hospital, Jena, Germany; ‡Hans Berger Department for Neurology, Jena University Hospital, Jena, Germany; and §Medical Physics Group, Institute for Diagnostic and Interventional Radiology I, Jena University Hospital, Jena, Germany.  
Received for publication November 28, 2013; accepted May 7, 2014.

Copyright © 2014 The Authors. Published by Lippincott Williams & Wilkins on behalf of The American Society of Plastic Surgeons. PRS Global Open is a publication of the American Society of Plastic Surgeons. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 3.0 License, where it is permissible to download and share the work provided it is properly cited. The work cannot be changed in any way or used commercially.  
DOI: 10.1097/GOX.0000000000000128

cur. The magnetic resonance imaging (MRI) signal, computed tomography (CT) attenuation, and contrast medium enhancement are also affected.<sup>1</sup>

Facial palsy is the most frequent cranial nerve lesion.<sup>2,3</sup> Case reports or small case series focusing on some exemplary facial muscles have demonstrated that CT can show qualitatively the consequences of end-stage appearance of denervation, like severe atrophy, asymmetrical muscle size, or fatty infiltration.<sup>4</sup> On the other hand, MRI seems to facilitate depiction of the progressive evolution from an acute phase to a subacute and then to a chronic phase of facial nerve damage by delineating asymmetrical decreases in affected muscle volume, fatty infiltration of the involved muscle group, and variable signal intensity changes, including both T2 prolongation and post-contrast enhancement.<sup>5</sup> Detection of pronounced preoperative MRI facial muscle asymmetry has been shown to predict a poorer functional outcome of facial nerve reconstruction.<sup>6</sup> So far, quantitative assessment of facial musculature in patients has been restricted to selected muscles like the orbicularis oculi, orbicularis oris, and the buccinator muscle in myasthenia gravis patients,<sup>7,8</sup> facial muscles around the lips to support craniofacial surgery,<sup>9</sup> and the procerus after botulinum toxin injection.<sup>10</sup> Furthermore, 3-dimensional (3D) reconstructions have not been performed in patients and have been restricted in healthy volunteers to only a few facial muscles.<sup>9,11,12</sup>

In this pilot study, we report on first quantitative MRI data of facial muscle volumes after 3D reconstruction for 13 mimic muscles and additionally for 2 chewing muscles as controls innervated by the motor trigeminal nerve in 10 healthy volunteers. Additionally, first qualitative data are presented for 5 patients with different types of acute and chronic peripheral facial palsy.

## PATIENTS AND METHODS

Ten healthy adult volunteers and 5 patients with facial palsy were recruited. Only volunteers without history of facial trauma, head trauma, facial palsy, or any other neurological disorder were included. None of the volunteers had a history of hereditary

neuromuscular disorder or any other congenital disorder. After the examination of the volunteers, the established MRI protocol was applied in 5 patients (#11–15). In 1 patient (#11) with postoperative facial palsy, it was also possible to evaluate the preoperative MRI data. Preoperatively, this patient had no facial palsy. The study was approved by the local ethics committee, and informed consent was obtained from all participants. Age, sex, and handedness of all volunteers were recorded. The charts of the patients were reviewed for details of the facial palsy. The palsy was graded according to the House-Brackmann 6-point facial grading system<sup>13</sup> and also according to the Stennert Index.<sup>14</sup> Results of the needle electromyography tests were evaluated with regard to defective healing in the patients with chronic facial palsy.<sup>3,15</sup>

## MRI Procedures

All healthy volunteers and patients underwent a 3T MRI examination (Magnetom Tim Trio; Siemens, Erlangen, Germany) by using a 12-channel head coil provided by the manufacturer. All participants were examined in supine position. The imaging protocol included a sagittal acquired T1-weighted 3D sequence [repetition time 2300 millisecond, echo time 3.03 millisecond, flip angle 9 degree, voxel size  $1 \times 1 \times 1$  mm ( $=1 \text{ mm}^3$ ), in-plane matrix  $256 \times 256$ , time to acquisition 5:21 minutes) covering the whole head including the face. Each slice had  $256 \times 256$  pixels, and each pixel had a specific value within the 4096 gray-scale values, that is, it was represented with a 12-bit value. One hundred ninety-two slices were acquired with a slice thickness of 1.0 mm. A total data set from a single 3D volume scan of 192 slices consisted therefore of  $(256 \times 256 \times 12 \times 192) / 8 = 1.9 \times 10^7$  bytes; considering that 2 bytes were needed for the 12-bit representation, the data set needed approximately 26-MB storage, representing a complete 3D description of the tissue within the head for each subject.

## Quantitative Measurements

Segmentation of facial muscles was performed using the Avizo Fire 7.1 software package (Visage Imaging Inc., Carlsbad, Calif.). The facial muscles and 2 muscles of mastication, the masseter muscle and temporal muscle, were identified in 3D (coronal, sagittal, and axial) in the MRI data. The 2 chewing muscles were chosen as control muscles as both are innervated by the trigeminal nerve and not by the facial nerve. About 400–500 images were analyzed per subject. Principally, the software provides 3 different segmentation modes: fully automatic, semiautomatic, or interactive (manual), depending on the input images and desired results. Fully automatic segmentation was not feasible. The following facial

**Disclosure:** Dr. Volk was supported by a grant from the Interdisciplinary Center for Clinical Research (IZKF), Jena University Hospital, Jena. Dr. Karamyan was supported by a grant from the German Academic Exchange Service (DAAD). No benefits in any form have been or will be received. Neither of the other authors has any financial disclosures. The Article Processing Charge was paid for by the authors.

muscles were segmented in the interactive (manual) mode: frontalis, corrugator supercilii, depressor anguli oris, depressor labii inferioris, and mentalis. Other examined facial muscles revealed better image contrast to the surrounding structures, particularly if the muscles were encircled by fat. Therefore, semiautomatic segmentation was feasible for the following muscles: procerus, risorius, orbicularis oculi, nasalis, zygomaticus major, zygomaticus minor, levator labii superior, orbicularis oris, and the 2 chewing muscles (Fig. 1). The interactive (manual) segmentation for the thin muscles was performed using the “brush-tools” option of the software, which is the most basic segmentation tool offered by the software. Each segmentation procedure started with the coronal MRI images. The target muscle was manually marked voxel by voxel in all layers of the selected MRI orientation until the muscle was completely encircled. In the next step, the procedure was repeated in the sagittal and axial MRI images, respectively, to verify the muscle borders. In the semiautomatic segmentation mode, areas of similar gray values were automatically selected in each MRI image layer by the software. By using the “limit line”-editing tool, it was possible to adjust manually incorrect automatic segmentations to the correct anatomic borders of the muscle. After this, the new contour was projected into the next MRI image of the same orientation and the procedure was repeated. In analogy to the interactive (manual) mode, the semiautomatic segmentation was also performed in all 3 image orientations (coronal, sagittal, and axial). The complete segmentation of a face required about 3 hours. The duration to segment a single muscle depended on its volume (eg, segmentation of the zygomaticus major took about 7 minutes for each side, whereas about 15 minutes were needed for the orbicularis oculi).

#### Analyzed Facial Muscles

All images were evaluated by 3 investigators. Definite identification of a muscle was only considered successful if all investigators identified the muscle. Identification of the following mimic muscles was attempted: occipitalis, temporoparietalis, procerus, nasalis, depressor septi nasi, orbicularis oculi, corrugator supercilii, depressor supercilii, the 3 auricularis muscles (anterior, superior, and posterior), orbicularis oris, depressor anguli oris, risorius, zygomaticus major, zygomaticus minor, levator labii superior, levator labii superioris alaeque nasi, depressor labii inferioris, levator anguli oris, buccinator, mentalis, and transversus mentis. For the following muscles, a distinct identification was in general not possible for any of the participants: occipitalis, temporoparietalis muscle, depressor septi nasi, depressor supercilii,

auricularis muscles, levator labii superioris alaeque nasi, levator anguli oris, and transversus mentis. All other muscles were identified by all investigators and included for further evaluation in the study: frontalis, procerus, risorius, corrugator supercilii, orbicularis oculi, nasalis, zygomaticus major, zygomaticus minor, levator labii superior, orbicularis oris, depressor anguli oris, depressor labii inferioris, mentalis, and additionally the masseter and the temporalis as chewing muscles. It should be mentioned that some muscles could not be identified in all volunteers: frontal (identification in 4/10 volunteers), procerus (4/10), risorius (6/10), and zygomaticus minor (8/10). These muscles were also not identified in all patients. The following muscles were identified in all 10 healthy controls and all patients: corrugator supercilii, orbicularis oculi, nasalis, zygomaticus major, levator labii superior, orbicularis oris, depressor anguli oris, depressor labii inferioris, mentalis, and the 2 chewing muscles, masseter and temporalis.

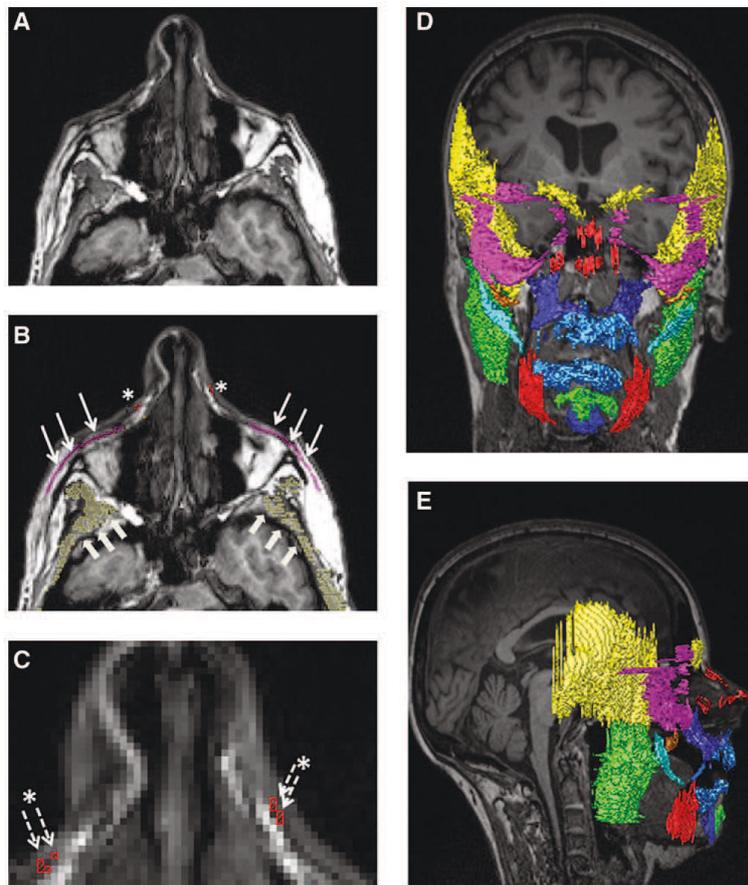
#### Statistics

All statistical analyses were performed using Microsoft Excel and IBM SPSS, version 21.0. The data of the healthy volunteers are presented as mean, SD, and 95% confidence intervals, if not indicated otherwise. Statistical significance was defined as  $P < 0.05$ . Volumes of each healthy muscle on the left and right side and the sum of all volumes on the healthy versus the palsy side in each patient were compared using the Wilcoxon signed rank test for paired data. Additionally, the data of the left and right side of each muscle were pooled for further analysis. The difference between sides was calculated by dividing the larger volume by the smaller volume and expressing it as a percentage value (% difference LR = [(largest/smallest volume) × 100] – 100). The Mann-Whitney  $U$  test for independent data was used to analyze for sex differences and the influence of age in the volunteers. The data of the patients are presented separately for each case. The difference between the healthy and the paralyzed facial side was calculated by dividing the volume from the palsy side by the volume of the healthy side and expressing it as a percentage (% difference PH = [(palsy side/healthy side) × 100] – 100), that is, a negative value indicates a smaller muscle volume on the palsy side compared with the healthy side and, vice versa, a positive value indicates a larger muscle volume on the paralyzed or reinnervated side, respectively.

## RESULTS

#### MRI of Facial Muscle Volumes in Healthy Volunteers

Five women and 5 men were analyzed. The mean age was  $33 \pm 14$  years (95% confidence interval, 23–43



**Fig. 1.** Example for semiautomatic muscle segmentation of the orbicularis oculi, nasalis, and the temporalis (patient D in Fig. 2). A, Original axial MRI image. B, Semiautomatic segmentation of the muscles: pink, orbicularis oculi (thin arrows); red, nasalis muscle (asterisks); yellow, temporalis muscle (big arrows). C, Magnification of B, better visualizing the nasalis (asterisks and thin-dotted arrows). D, 3D reconstruction of the complete face of the same patient, frontal view. E, 3D reconstruction of the complete face of the same patient, lateral view; \* indicates nasalis muscle.

years). An overview about the volumes of the facial and the 2 chewing muscles is presented in Table 1. There was no sex difference (all  $P > 0.05$ ) or influence of age (all  $P > 0.05$ ) on muscle volume for both sides of the face. A significant side difference was only seen for the zygomaticus major muscle (larger on the left side;  $P = 0.012$ ) and the temporalis muscle (larger on the right side;  $P = 0.022$ ). Of the facial muscles, the orbicularis oculi (5.6%), the depressor anguli oris (13.8%), and the orbicularis oris muscle (14.9%) had the smallest but insignificant mean side asymmetry. The largest and smallest volume for the mimic muscles was observed for the orbicularis oculi

(mean of both sides:  $2992\text{mm}^3$ ) and the procerus muscle ( $80.8\text{mm}^3$ ), respectively. Summing the volumes of all measured facial muscles, there was no significant side difference. The overall side asymmetry was 4.6%.

#### Facial Muscles Volumes in Patients with Facial Palsy

The data of the 5 patients are summarized in Table 2 and Figure 2. Two patients had an acute palsy originating postoperatively after vestibular schwannoma surgery (patients #11 and #14). Taking into account the physiological side asymmetry, the acute facial palsy resulted in both cases in a de-

**Table 1. Magnetic Resonance of Facial Muscle and Chewing Muscle Volumes in Healthy Adult Volunteers**

Muscle	Parameter	Volume Left Side (mm <sup>3</sup> )	Volume Right Side (mm <sup>3</sup> )	P	Mean LR	% Difference LR
Frontalis	Mean	601.0	498.0	0.180	549.5	18.0
	SD	349.3	397.4		373.4	
	95% CI	NA	NA		-2804.9 to 3903.9	
Procerus	Mean	68.0	93.7	0.593	80.8	49.0
	SD	20.9	78.3		49.2	
	95% CI	16.1–119.9	NA		-41.3 to 203.0	
Risorius	Mean	270.1	197.0	0.237	233.6	264.2
	SD	117.8	144.9		102.6	
	95% CI	194.7–402.6	86.6–363.1		138.7–328.4	
Corrugator supercillii	Mean	365.6	330.0	0.241	347.8	30.6
	SD	116.6	128.4		115.3	
	95% CI	282.2–449.0	238.1–421.8		265.4–430.2	
Orbicularis oculi	Mean	3024.7	2959.9	0.285	2992.3	5.6
	SD	607.2	640.1		618.1	
	95% CI	2590.3–3459.1	2502.0–3417.8		2550.1–3434.5	
Nasalis	Mean	279.1	341.8	0.241	310.5	50.6
	SD	72.7	97.0		53.6	
	95% CI	227.1–331.1	272.4–411.2		272.1–348.8	
Zygomaticus major	Mean	1035.1	910.9	0.012 *	973.0	17.3
	SD	455.5	392.0		422.3	
	95% CI	709.2–1361.0	630.5–1191.4		670.9–1275.1	
Zygomaticus minor	Mean	219.9	231.8	0.889	225.8	63.4
	SD	129.1	130.9		126.9	
	95% CI	112.0–327.8	122.3–341.2		119.8–331.9	
Levator labii superior	Mean	742.1	806.3	0.241	774.2	23.3
	SD	251.4	309.8		264.8	
	95% CI	562.2–922.0	584.7–1027.9		584.8–963.6	
Orbicularis oris	Mean	1560.6	1614.0	0.959	1587.3	14.9
	SD	461.5	667.1		550.3	
	95% CI	1230.5–1891.0	1136.8–2091.2		1193.6–1981.0	
Depressor anguli oris	Mean	1303.7	1388.7	0.059	1346.2	13.8
	SD	751.1	756.0		750.96	
	95% CI	766.4–1841.0	847.9–1929.5		809.0–1883.4	
Depressor labii inferioris	Mean	543.1	559.2	0.678	551.2	25.4
	SD	483.96	538.9		509.0	
	95% CI	171.2–915.1	145.0–973.5		159.9–942.4	
Mentalis	Mean	429.5	439.2	0.959	434.4	47.1
	SD	347.8	309.4		317.4	
	95% CI	180.7–678.3	217.9–660.6		207.3–661.4	
Sum of all facial muscles	Mean	11,832.7	11,843.0	1.000	11,837.85	4.6
	SD	2342.1	2319.8		2304.6	
	95% CI	10,157.3–13,508.1	10,183.5–13,502.5		10,189.3–13,486.5	
Masseter	Mean	20,845.9	18,610.6	0.203	19,728.3	100.9
	SD	7452.6	9644.4		8253.6	
	95% CI	15,514.6–26,177.2	11,711.4–18,711.4		13,823.9–25,632.5	
Temporalis	Mean	20,207.1	21,746.2	0.022*	20,976.7	11.3
	SD	7521.0	6869.6		7144.2	
	95% CI	14,826.9–25,587.3	16,832.0–26,660.4		15,866.0–26,087.3	

CI, confidence interval; % Difference LR, [(largest/smallest value) × 100]–100; mean LR, average of left and right side; NA, not applicable.  
\*P-values, <0.05

crease of muscle volume on the palsy side for some facial muscles already after 2 weeks (patient #11) and even more pronounced after 2 months without regeneration (patient #14). When looking on the sum of all measured facial muscles, side asymmetry was not present 2 weeks after facial nerve lesion but significantly 2 months after acute nerve lesion with a summary difference of –21.5%. In patient #11, the volume of the temporal muscle was larger 2 weeks after lesion onset compared with the situation before. In all other cases, the temporal muscle was smaller on the palsy side. With the exception of patient #15, the masseter muscle was also smaller on

the palsy side compared with the normal side. Two patients had chronic palsy after facial nerve transection due to meningioma and petrosal neurofibroma surgery, respectively (patients #12 and #13). In 1 case (patient #13), MRI was performed before the planned facial nerve reconstruction, and in the other case (patient #12), the facial nerve was already reconstructed and the MRI was performed 7 months later, that is, during the phase of facial nerve regeneration. Needle electromyography in patient #12 showed already distinct synkinesis between the upper and lower face. Eighteen months after the facial nerve lesion and chronic palsy, no signs of muscle

**Table 2. Magnetic Resonance of Facial Muscle Asymmetry in 5 Patients with Acute and Chronic Facial Palsy**

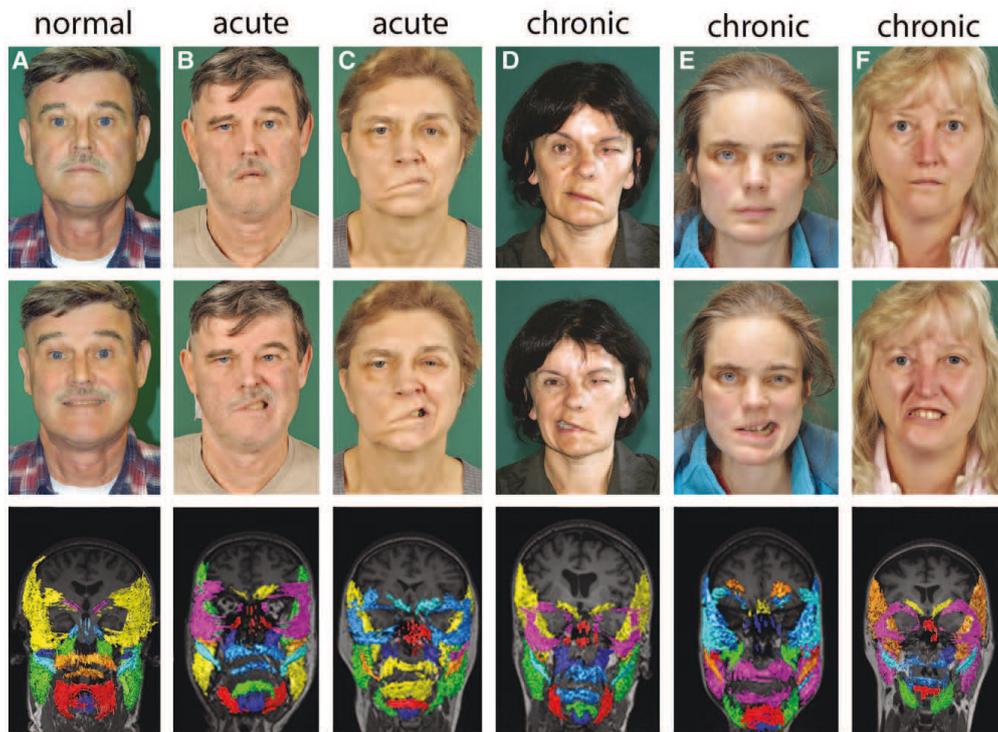
Variable	#11	#14	#13	#12	#15	
Age, y	59	63	52	37	46	
Sex	Male	Female	Female	Female	Female	
Palsy type	Normal	Acute	Acute	Chronic with facial nerve reconstruction 7 mo before MRI	Chronic	
Etiology	—	Vestibular schwannoma postoperative	Vestibular schwannoma postoperative	Meningeoma postoperative	Petrosal neurofibroma postoperative	Congenital
Duration of palsy	—	2 wk	2 mo	18 mo	10 mo	46 y
House-Brackmann	0	V	V	VI	V	II
Stennert Index	0/0	2/6	3/6	4/6	1/4	0/3
Synkinesis	No	No	No	No	Yes	No
<b>% Difference PH</b>						
Frontalis	NA	NA	-7.6	NA	-41.9	NA
Procerus	NA	NA	NA	NA	137.0	NA
Risorius	NA	NA	NA	NA	-100.0	NA
Corrugator supercilii	-5.4	-78.2	-42.4	-24.3	-33.5	-16.1
Orbicularis oculi	-1.9	5.7	-19.0	-14.2	6.8	-6.3
Nasalis	-12.5	19.2	-71.4	-10.5	20.6	-29.8
Zygomaticus major	-9.0	-21.7	-44.8	-33.4	30.7	-24.0
Zygomaticus minor	48.3	-35.9	-100.0	-44.4	-32.8	-46.3
Levator labii superior	27.2	-29.3	-57.5	-55.1	-3.7	-100.0
Orbicularis oris	-9.0	28.0	4.8	-23.4	12.8	77.8
Depressor anguli oris	3.5	2.7	-11.4	7.2	2.4	-35.0
Depressor labii inferioris	16.8	12.8	32.0	-57.0	62.4	293.9
Mentalis	-4.5	22.2	16.7	-31.6	NA	NA
Sum of facial muscles	1.7	-0.7	-21.5	-24.1	7.1	-9.2
<i>P</i> *	0.308	0.937	0.101	0.004	0.955	0.534
Masseter	10.9	-2.5	-7.6	-33.8	-28.5	49.4
Temporalis	3.2	62.6	-42.4	-28.5	-10.2	-16.1

\*Comparison of the sum on the healthy versus palsy side.  
% Difference PH, [(palsy side/healthy side) × 100] - 100; NA, not applicable.

reinnervation were seen clinically and also electrophysiologically in patient #13, with most facial muscles being smaller on the palsy side than on the healthy side. On the other hand, 7 months after facial nerve reconstruction and occurrence of clinical and electrophysiological signs of first reinnervation, the MRI-based muscle measurements yielded mixed results in patient #12: some facial muscles showed a higher and others a smaller volume on the facial palsy side. Looking at the summed muscle volumes, the volume decrease on the palsy side was evident before the planned reconstruction (-24%, patient #13) but disappeared after functional recovery (7%, patient #12). One case of chronic congenital palsy (patient #15) without any facial reconstruction was also included in our study. The circumscribed palsy in the lower face was reflected by a combination of smaller facial muscles with function to pull up the corner of the mouth, but a higher volume of the orbicularis oris muscle and muscles to pull down the corner of the mouth on the palsy side. In summary, if at all, only a slight summary volume decrease was seen on the palsy side compared with the healthy side (-9%, patient #15).

### DISCUSSION

This study demonstrated the feasibility of quantitative magnetic resonance facial muscle measurements in a sample of 10 healthy volunteers aged 23-43 years and in 5 patients with facial palsy. Despite the small sample size, this is to our knowledge the largest and, concerning the number of different mimic muscles, the most comprehensive study on data of facial muscle volumes so far. Since the group of healthy adults was small and limited to a certain age range, the presented data are certainly preliminary and cannot be regarded as normative reference values. A recent study using ultrasonography to measure facial muscles did not reveal a stringent left-right side difference.<sup>16</sup> Therefore, the side difference revealed for the zygomatic minor muscle and also the observation of no sex differences should be considered in light of the above-mentioned limitations. It is difficult to estimate the accuracy of the calculated muscle volumes because literature on MRI and CT volumetry in the face is sparse. Often only diameters or thicknesses are calculated. Furthermore, the measurements depend on the applied MRI technique. Goto et al<sup>17</sup> measured the MRI volume of the



**Fig. 2.** Patient before and after onset of acute complete peripheral facial palsy (A, B), acute palsy 2 months after surgery (C), chronic complete facial palsy before reconstruction (D), after facial nerve reconstruction (E), and distinct congenital chronic palsy of the lower face (F). The faces are shown at rest (upper row) and while showing the teeth (middle row). A coronal view of the 3D reconstructions of the evaluated facial muscles and chewing muscles is shown in the lower row. Color coding of the facial muscles is varying from patient to patient.

masseter muscle during jaw opening and closing and calculated manually a volume of 29,000–30,000mm<sup>3</sup> (present study: volume at rest about 20,000mm<sup>3</sup>). CT data for the masseter ranges from 22,000 to 38,000mm<sup>3</sup>.<sup>18</sup> Some MRI studies have described facial muscle differences between both sides only qualitatively,<sup>5,19</sup> whereas other studies on semiautomatic and automatic 3D reconstructions of facial or chewing muscles only present impressive pictures but no quantitative volume data.<sup>9,12</sup> Recently, manual volumetry of the procerus muscles was used to quantify the effect of muscle atrophy after botulinum toxin injection.<sup>10</sup> Unfortunately, the authors only present percent volume changes but no absolute values. Ultimately, the data presented here allow for the first time at least a quantitative comparison of all regions of both facial sides.

To do so, the muscles were segmented manually or semiautomatically. Although a fully automatic

segmentation procedure would be worthwhile and less time-consuming, it was not feasible with the commercial software we used. A manual or semiautomatic analysis required about 3 hours, that is, to use MRI quantification in clinical routine, and it will be mandatory to develop an automatic procedure. Manual segmentation involves the investigator subjectively assessing an image, leading to intrarater and interrater variability. If a clear, objective, delineation of facial muscles is present in the MRI data sets, theoretically the automatic algorithm could detect it without any variability. To date, only the masseter and the temporal muscle have been segmented automatically as a proof-of-principle applying a non-commercial algorithm.<sup>12</sup> An application in larger patient groups is pending.

Not all facial muscles could be segmented because some facial muscles seemed to be thinner than the MRI slice thickness used. Others were interwo-

ven with each other so that a separation from each other or from the surrounding tissue was not possible. Nevertheless, the analyzed muscles were distributed over the whole face. Therefore, the method seems able to provide an overview about side differences in patients with unilateral facial palsy and to evaluate regional differences in relation to different mimic functions. Although facial palsy is the most frequent cranial nerve palsy, so far no method has been established to objectively and quantitatively evaluate the status of the facial muscles. At the moment, the muscles are judged and graded clinically when the patient is asked to perform typical mimic movements. Furthermore, needle electromyography is used to evaluate the severity of the lesion.<sup>3,15</sup> Electroneurography using surface electromyography to evaluate the summary action potential is normally only performed on a single muscle (typically the nasalis muscle) to predict the probability of recovery.<sup>3</sup> It took a learning curve of about 1-week training to detect and delineate reliably the analyzed muscles. It is entirely conceivable to teach any radiologist in this method to give the plastic surgeon or head and neck surgeon information on the mimic muscle status in the individual patient.

The casuistic evaluation of a first series of 5 patients using quantitative MRI muscle volumetry demonstrated that the nonuse of muscles in acute palsy seems to cause decreases in facial muscle volume within several weeks (patient #11). In accordance to these findings, it has also been recently shown by MRI volumetry that the procerus muscle volume starts to decrease 1 month after botulinum toxin injection and that the effect holds up for about a year.<sup>10</sup> A much more severe de-efferentation than botulinum toxin injection takes place after facial nerve transection with muscle atrophy being a secondary effect of this transection.<sup>20</sup> So far, the denervation and reinnervation processes of the human mimic muscles have not been studied quantitatively in detail. Most of the knowledge we have stems from human limb muscles. Here, histology typically reveals no degenerative changes during the first 2 months after nerve lesion but considerably reduced muscle fiber diameters 4 months to 1 year after denervation.<sup>21,22</sup> Taking into account that we only had cross-sectional measurements but no longitudinal time course of quantitative MRI (exception: patient #11), the results (Table 2) suggest that significant mimic muscle atrophy already starts early (patient #11), is significantly present after 2 months following denervation (patients #13, #14, and #15), and seems to be at least partially reversible approximately 10 months after facial nerve reconstruction (patient #12). Furthermore, synkinesis (patient #12) or compensatory

activity of nonaffected facial muscles in patients with chronic palsy (patient #15) seems to cause muscle hypertrophy compared with the healthy side.

## CONCLUSIONS

For patients considered as candidates for facial nerve reconstruction surgery after longer denervation time and for monitoring these patients after surgery, the presented quantitative MRI method will be very helpful as an additional tool to evaluate the functional status of the mimic muscles. As a next step, future studies should establish normative MRI muscle volume data in a large sample size. MRI is often performed to assess the underlying disease of a patient with facial palsy. In these situations, MRI should be used to measure facial muscle volumes and to learn more about its value in monitoring facial disease progression or evaluating treatment effects as reflected by the facial muscles as our functional end organ of mimics and nonverbal communication.

## PATIENT CONSENT

*Patients provided written consent for the use of their images.*

Orlando Guntinas-Lichius, MD

Department of Otorhinolaryngology

Jena University Hospital

Lessingstrasse 2, D-07740 Jena, Germany

E-mail: orlando.guntinas@med.uni-jena.de

## REFERENCES

1. Connor SE, Chaudhary N, Fareedi S, et al. Imaging of muscular denervation secondary to motor cranial nerve dysfunction. *Clin Radiol.* 2006;61:659-669.
2. Volk GF, Pantel M, Guntinas-Lichius O. Modern concepts in facial nerve reconstruction. *Head Face Med.* 2010;6:25.
3. Volk GF, Klingner C, Finkensieper M, et al. Prognostication of recovery time after acute peripheral facial palsy: a prospective cohort study. *BMJ Open* 2013 Jun 20;3:e003007.
4. Harnsberger HR, Dillon WP. Major motor atrophic patterns in the face and neck: CT evaluation. *Radiology* 1985;155:665-670.
5. Fischbein NJ, Kaplan MJ, Jackler RK, et al. MR imaging in two cases of subacute denervation change in the muscles of facial expression. *AJNR* 2001;22:880-884.
6. Kaylie DM, Wax MK, Weissman JL. Preoperative facial muscle imaging predicts final facial function after facial nerve grafting. *AJNR* 2003;24:326-330.
7. Farrugia ME, Robson MD, Clover L, et al. MRI and clinical studies of facial and bulbar muscle involvement in MuSK antibody-associated myasthenia gravis. *Brain* 2006;129(Pt 6):1481-1492.
8. Farrugia ME, Kennett RP, Hilton-Jones D, et al. Quantitative EMG of facial muscles in myasthenia patients with MuSK antibodies. *Clin Neurophysiol.* 2007;118:269-277.
9. Olszewski R, Liu Y, Duprez T, et al. Three-dimensional appearance of the lips muscles with three-dimensional isotropic MRI: in vivo study. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2009;4:349-352.



10. Koerte IK, Schroeder AS, Fietzek UM, et al. Muscle atrophy beyond the clinical effect after a single dose of OnabotulinumtoxinA injected in the procerus muscle: a study with magnetic resonance imaging. *Dermatol Surg.* 2013;39:761–765.
11. Kale EH, Mumcuoglu EU, Hamcan S. Automatic segmentation of human facial tissue by MRI-CT fusion: a feasibility study. *Comput Methods Programs Biomed.* 2012;108:1106–1120.
12. Rezaeitabar Y, Ulusoy I. Automatic 3D segmentation of individual facial muscles using unlabeled prior information. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2012;7:35–41.
13. House JW, Brackmann DE. Facial nerve grading system. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1985;93:146–147.
14. Stennert E, Limberg CH, Frentrup KP. [An index for paresis and defective healing—an easily applied method for objectively determining therapeutic results in facial paresis (author's transl)]. *HNO* 1977;25:238–245.
15. Grosheva M, Wittekindt C, Guntinas-Lichius O. Prognostic value of electroneurography and electromyography in facial palsy. *Laryngoscope* 2008;118:394–397.
16. Volk GF, Wystub N, Pohlmann M, et al. Quantitative ultrasonography of facial muscles. *Muscle Nerve* 2013;47: 878–883.
17. Goto TK, Tokumori K, Nakamura Y, et al. Volume changes in human masticatory muscles between jaw closing and opening. *J Dent Res.* 2002;81:428–432.
18. Gionhaku N, Lowe AA. Relationship between jaw muscle volume and craniofacial form. *J Dent Res.* 1989;68: 805–809.
19. Kaylie DM, Jackson CG, Aulino JM, et al. Preoperative appearance of facial muscles on magnetic resonance predicts final facial function after acoustic neuroma surgery. *Otol Neurotol.* 2004;25:622–626.
20. Gutmann E. *The Denervated Nerve.* Prague: Publishing House of the Czechoslovak Academy of Sciences; 1962.
21. Bowden RE, Gutmann E. Denervation and re-innervation of human voluntary muscle. *Brain* 1944;67:273–313.
22. Bowden RE, Gutmann E. Clinical value of muscle biopsies. *Lancet* 1945;2:768–771.

## REFERENCE VALUES FOR DYNAMIC FACIAL MUSCLE ULTRASONOGRAPHY IN ADULTS

GERD FABIAN VOLK, MD,<sup>1,2</sup> MAIK SAUER,<sup>1</sup> MARTIN POHLMANN,<sup>1</sup> and ORLANDO GUNTINAS-LICHIUS, MD<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Otorhinolaryngology, Jena University Hospital, Lessingstrasse 2, D-07740 Jena, Germany

<sup>2</sup>The Facial Nerve Center, Jena University Hospital, Jena, Germany

Accepted 7 February 2014

**ABSTRACT:** *Introduction:* Ultrasonography can detect structural muscle changes caused by neuromuscular disease, but it has not yet been applied to facial nerve diseases. Quantitative analysis would be the preferred method to determine whether ultrasound findings are within normal limits, but there are no normative data for mimic muscles. The purpose of this study was to provide gender-specific normative ultrasonography data for muscle area, diameter, and contractility for mimic and masticatory muscles in adults. *Methods:* Bilateral scans of multiple mimic and masticatory muscles were performed at rest and during contraction in 140 volunteers, aged 21–93 years. *Results:* Almost all mimic muscles, but not the temporalis muscles, had symmetric size. The muscle sizes showed gender differences and a muscle-specific correlation with body weight, but not with age. *Conclusions:* These data provide normative values that can be used in clinical practice.

*Muscle Nerve* 50: 348–357, 2014

An initial report on visualization of the muscles of facial expression with ultrasonography in 15 volunteers was published in 1988.<sup>1</sup> Since that time, the possible applications of ultrasonography have not been explored adequately. Due to better image quality and higher resolution, some of the perioral mimic muscles, mainly with an orthodontic focus, have been analyzed by ultrasound investigations within the past few years.<sup>2–4</sup> Recently, we performed a pilot study using a standardized and reliable quantitative ultrasonography protocol for 6 mimic muscles (frontalis, orbicularis oculi, orbicularis oris, depressor anguli oris, depressor labii inferioris, and mentalis muscle) representing all target areas of the 5 peripheral branches of the facial nerve.<sup>5</sup> The feasibility was confirmed in a study by another group.<sup>6</sup>

Here we report gender-specific normative reference data of muscle cross-sectional area, and longitudinal and transverse muscle diameters for these 6 mimic muscles, including additional data for the

zygomaticus major muscle. In addition, reference data are given for the temporalis and masseter muscles. These 2 muscles are not innervated by the facial nerve and may serve as control muscles in future studies of facial nerve and mimic muscle disorders.

### METHODS

**Patients.** One hundred forty (140) healthy adult volunteers were recruited. Ten men and 10 women were included in each of the following age groups: 18–29, 30–39, 40–49, 50–59, 60–69, 70–79, and ≥80 years of age. Only subjects without a history of facial trauma, head trauma, facial palsy, or any other neurological disorder were included. None of the volunteers had a history of hereditary neuromuscular disorder or any other congenital disorder. The study was approved by the local ethics committee, and informed consent was obtained from all participants. Age, gender, body weight, body height, body mass index (BMI), and handedness of all subjects were recorded.

**Ultrasound Equipment.** The ultrasonography examinations were performed by 3 of the investigators (G.F.V., M.S., and M.P.). All measurements were performed using a diagnostic ultrasound system (HD11 XE; Philips, Best, The Netherlands). The same parameters were used as in our earlier study.<sup>5</sup> Two different linear-array transducers were used: a 3–12-MHz transducer (LI2-3; Philips) and a 7–15-MHz transducer (LI5-7io; Philips). As in the previous study, the orbicularis oculi and the orbicularis oris muscles were analyzed with the 7–15-MHz transducer.<sup>5</sup> All other facial muscles and the 2 chewing muscles were analyzed with the 3–12-MHz probe. Two different frequencies [15 MHz (LI2-3) and 12 MHz (LI5-7io)] were used. The mechanical index was set to 1.5 for the LI2-3 transducer and to 1.4 for the LI5-7io transducer. A thermal index of 0.6 was applied for both transducers. The gain was set to 75 dB, using constant time gain compensation. The resulting pictures had a resolution of 1280 × 1040 pixels [60 Hz, 256 gray-scale levels (8 bit)]. All equipment settings were kept constant during measurement of the normal facial muscles. All measurements were performed with transmission gel but without any other coupling media. The transducer was always

Additional Supporting Information may be found in the online version of this article.

**Abbreviations:** BMI, body mass index; CSA, cross-sectional area; LDM, longitudinal diameter; Q, quantile-quantile; ROI, region of interest; TDM, transverse diameter

**Key words:** chewing; facial nerve; mimetic musculature; reference values; sonography

**Correspondence to:** O. Guntinas-Lichius; e-mail: orlando.guntinas@med.uni-jena.de

© 2014 Wiley Periodicals, Inc.  
Published online 12 February 2014 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI 10.1002/mus.24204

placed perpendicular to the skin surface. Special care was taken to position the transducer gently and without pressure against the facial skin.

**Facial Muscles.** Ultrasonography scans were made of 7 mimic muscles on both sides, including frontalis, orbicularis oculi, zygomaticus major, depressor anguli oris, depressor labii inferioris, orbicularis oris, and mentalis muscles (Fig. 1). In a previous study, we showed that these facial muscles can be identified in a reliable manner.<sup>5</sup> Other facial muscles could not be identified in all subjects or with sufficient reliability. In addition, 2 other muscles were analyzed: the temporalis and masseter. This was done to establish reference data for neighboring muscles not innervated by the facial nerve to serve as reference muscles for future investigations in patients with facial palsy. The identification of relevant anatomical landmarks that allow facial muscle identification and standardized planes for transducer positioning for optimal imaging at each site were described in detail elsewhere.<sup>5</sup> Landmarks for investigation of the temporalis were the lateral wall of orbital cavity, the greater wing of sphenoid bone, the squamous part of the temporal bone, and the deep anterior temporalis artery. The probe is placed in the transverse position on the temple at the level of the pupil. Landmarks for investigation of the masseter were the lateral surface of the zygomatic bone and the characteristic fiber course of the masseter. The probe was positioned at a transverse angle in the middle of the zygomatic bone and the angle of the mandible. Clenching the teeth was used to help to identify both muscles.

It is possible to maintain the same position of the transducer relative to the examined muscle during contraction. All subjects were examined in the supine position while relaxed completely. Directed activation of facial muscles was used to confirm the correct position of the transducer. Furthermore, the volunteers were asked to maintain precise and maximal contraction for 2 s to allow an analysis of each muscle during maximal contraction.

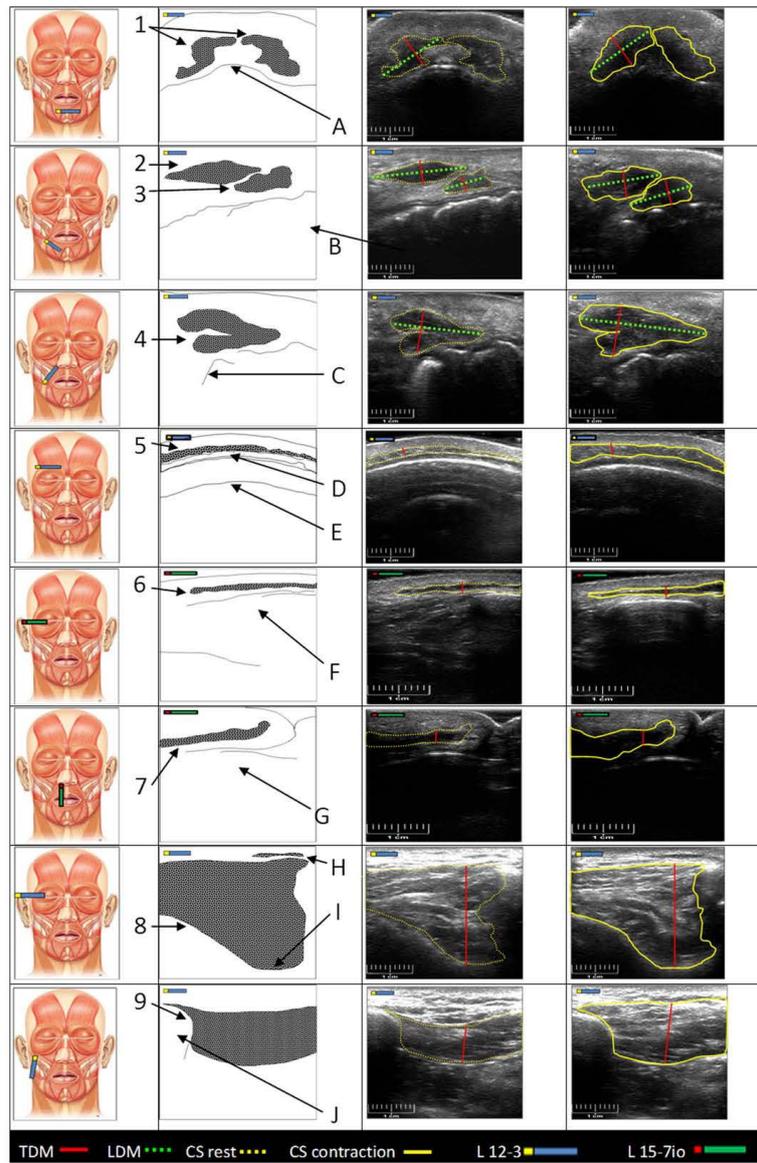
**Quantitative Measurements.** All ultrasound images were stored as video sequences in the original resolution (see above) in DICOM format. The duration of each video was 10.06 s, consisting of 331 single pictures. Muscle cross-sectional area and muscle thickness were estimated using quantification software (QLAB; Philips). The first image of each video sequence was used to measure the muscle at rest. The video was then fast-forwarded to the moment of maximal contraction. This image was used to measure the muscle at maximal contraction. The proportional contractility index was calculated. If the area/diameter was larger at maxi-

mal contraction than at rest, the formula was: proportional contractility index =  $[100 - (\text{value at maximal contraction} / \text{value at rest} \times 100)] \times -1$ . If, on the other hand, the area/diameter was smaller at maximal contraction than at rest, the formula was: proportional contractility index =  $[100 - (\text{value at rest} / \text{value at maximal contraction} \times 100)]$ .

The cross-sectional size of the mentalis, depressor anguli oris, depressor labii inferioris, and zygomaticus major muscles was small enough to depict the complete muscle diameter in 1 picture. Therefore, it was possible to estimate the maximal cross-sectional area (CSA), the longitudinal diameter (LDM), and transverse diameter (TDM) for these muscles. To determine the CSA (in mm<sup>2</sup>) on both sides of the face, the muscle borders were delimited manually on each picture as a region-of-interest (ROI) using the freehand function of the software. Maximal muscle thickness was determined orthogonal to the muscle fiber orientation. The temporalis, masseter, orbicularis oris, orbicularis oculi, and frontalis muscles were too large to visualize the complete muscle area in 1 image. Here, the maximal muscle diameter orthogonal to the muscle fiber orientation was measured in millimeters.

**Statistics.** All statistical analyses were performed using Microsoft Excel and IBM SPSS (version 20.0). Data are presented as mean and standard deviation (SD). Statistical significance was defined as  $P < 0.05$ . To proof for normal distribution of the data, quantile-quantile (QQ) plots of the muscle data against the standard normal distribution were created. QQ plots provide a unique method of examining changes in the distribution of a variable.<sup>6</sup> The plots confirmed a normal distribution of the muscle data. Sufficient intraobserver reliability has been shown previously.<sup>5</sup> Nevertheless, this investigation was repeated for all muscles. The intraclass correlation coefficient (ICC) of the muscle measurements of 9 volunteers was calculated. Therefore, the facial muscles were measured 2 times with an interval between the measurements of 2 days. To determine interobserver reliability, the ICC of the muscle measurements of 2 different investigators in 8 volunteers was calculated. Both investigators performed the ultrasound study, took the pictures, and made the measurements.

The measurements of the left and right sides of each muscle were compared for symmetry. In cases of symmetry, the data of the left and right sides were pooled for further analysis. In cases of muscle symmetry, this offered the advantage of requiring only 1 normal reference range for both sides, which facilitates future comparisons to patients



**FIGURE 1.** Seven mimic muscles and 2 chewing muscles could be delineated clearly from the surrounding connective tissue, bone, and adjacent facial muscles. 1: mentalis; 2: depressor anguli oris; 3: depressor labii inferioris; 4: zygomaticus major; 5: frontalis; 6: orbicularis oculi; 7: orbicularis oris; 8: temporalis muscle; 9: masseter muscle. A: mental protuberance; B: alveolar process of the mandibular body; C: canine tooth; D: subaponeurotic connecting tissue; E: frontalis bone; F: lateral wall of orbital cavity; G: incisor; H: orbicularis oculi muscle; I: greater wing of sphenoid bone; J: lateral process of zygomatic bone. Red line TDM (transverse diameter of the cross-sectional area); green dotted line: LDM (longitudinal diameter of the cross-sectional area); yellow dotted line: CS rest (cross-section area borders at rest); yellow dotted line: CS contraction (cross-section area borders at contraction); L12-3 and L15-7io are the ultrasound probes used.

**Table 1.** Biometric characteristics of the 140 normal volunteers.

Age (years)	Number		Height* (cm)		Weight* (kg)		BMI* (kg/m <sup>2</sup> )		Handedness <sup>†</sup>			
	W	M	W	M	W	M	W	M	W (L)	W (R)	M (L)	M (R)
18–29	10	10	169.3 (6.4)	183.1 (3.9)	62.7 (10.2)	79.4 (9.8)	21.8 (3.2)	23.8 (2.6)	2	8	0	10
30–39	10	10	167.2 (4.7)	182.4 (6.1)	62.4 (10.4)	84.9 (18.5)	22.4 (3.9)	25.5 (5.3)	1	9	1	9
40–49	10	10	168.3 (6.2)	177.7 (5.7)	76.9 (13.3)	78.2 (11.8)	27.0 (4.7)	24.6 (3.1)	0	10	0	10
50–59	10	10	161.9 (5.8)	179.7 (9.0)	75.4 (12.6)	105.6 (22.2)	28.9 (5.6)	32.5 (5.4)	0	10	0	10
60–69	10	10	163.1 (3.8)	173.5 (6.1)	71.0 (11.0)	83.3 (14.8)	26.8 (4.7)	28.5 (3.3)	0	10	0	10
70–79	10	10	160.5 (5.1)	174.4 (9.3)	76.0 (13.0)	80.8 (11.3)	29.7 (5.7)	26.5 (2.8)	1	9	2	8
≥80	10	10	160.8 (9.6)	170.0 (8.2)	70.1 (13.7)	81.8 (9.4)	26.0 (4.7)	27.5 (3.2)	0	10	1	9
Total	70	70	164.4 (6.9)	177.3 (8.2)	70.6 (12.6)	84.9 (16.5)	26.1 (5.3)	27.0 (4.6)	4	66	4	66

BMI, body mass index.

\*Data expressed as mean (SD).

†Data expressed as number.

with altered facial muscles. First, left and right sides were compared using the *t*-test for dependent data. In cases of non-significance, an equivalence test followed.<sup>7</sup> For equivalence testing, the Keller software tool (ACOMED; <http://www.acomed-statistik.de>) was used. Briefly, equivalence was claimed if the 95% confidence intervals (CIs) of the measurements of the left and right sides of the face were within the predetermined, very conservative equivalence margin. Mean  $\pm$  SD was calculated for each parameter for both sides. The mean of the SDs of both sides was calculated (mean SD). Delta ( $\Delta$ ) was set to 0.5, and finally the ratio of mean SD and  $\Delta$  was calculated (mean SD/ $\Delta$ ). As result, data from the right side were defined as equivalent if the CI crossed 0 and if the entire CI was within the range of  $-\text{mean SD}/\Delta$  to  $+\text{mean SD}/\Delta$  of the CI of the left side. The method has been described in detail elsewhere.<sup>8</sup>

The *t*-test for independent data was used to analyze gender differences and the influence of other biometric characteristics of the subjects. The Pearson correlation was used to analyze the relationship between age, weight, height, BMI, and the muscle measurements.

## RESULTS

**Patients' Characteristics.** The characteristics of the patients are listed in Table 1. The median age of the 70 women was 54 years (range 21–93 years). The median age of the men was 57 years (range 21–90 years). The median height of the women, their weight, and BMI were 165 cm, 68 kg, and 25, respectively. The values for the men were 178 cm, 83 kg, and 26, respectively.

**Reliability of Ultrasonographic Muscle Measurements.** Most ICCs for intraobserver reliability of the muscle measurements at rest and at maximal contraction were  $>0.75$  and  $<0.95$  (see Table S1 in Supplementary Material, available online). All ICCs

but I showed highly significant results; for the right depressor labii inferioris muscle no reliable results ( $P = 0.258$ ) were observed. ICCs were best for the muscle areas and less good for the transverse diameters at rest and at maximal contraction. ICCs at rest were: area  $\geq 0.908$ , LDM  $\geq 0.634$ , and TDM  $\geq 0.622$ ; ICCs at contraction were: area  $\geq 0.826$ , LDM  $\geq 0.669$ , and TDM  $\geq 0.221$ . The interobserver reliability was also very high (Table S2 available online). With the exception of the left and right LDM and the TDM in the left depressor anguli oris muscle and the right LDM of the depressor labii inferioris muscle ( $P = 0.083$ ,  $P = 0.374$ ,  $P = 0.595$ ,  $P = 0.069$ , respectively), the reliability was highly significant for all measurements. Again, CSA measurements showed the highest ICCs (at rest: area  $\geq 0.965$ , LDM  $\geq 0.555$ , and TDM  $\geq 0.500$ ; at contraction: area  $\geq 0.949$ , LDM  $\geq 0.127$ , and TDM  $\geq 0.666$ ).

### Equivalence Testing for Symmetry of Left and Right Facial Muscles.

The results of equivalence testing for symmetry of the left and right sides at rest, during maximal contraction, and for the proportional contractility index are shown in Tables S3–S5 (available online). A significant left–right side difference was not seen at rest for any of the mimic muscles or the masseter muscle. In women, nearly all mimic muscles showed symmetry at rest. Only LDM of the depressor anguli oris (mean SD/ $\Delta = 1.128$ ; equivalence interval: 1.330, 0.063) and the temporalis muscle (mean SD/ $\Delta = 1.158$ ; equivalence interval: 2.189, 0.883) did not show a side equivalence. The temporalis muscle even showed a significant side difference, with a larger right side ( $P = 0.001$ ). Also, in men, nearly all muscles displayed side symmetry. Only the TDM of the depressor anguli oris (mean SD/ $\Delta = 0.616$ ; equivalence interval: 0.683,  $-0.007$ ), orbicularis oris (mean SD/ $\Delta = 0.326$ ; equivalence interval: 0.400,

**Table 2.** Normal reference range of facial muscle area and diameter for women and men at rest.

Muscle	Side	Women			Men			P
		Mean ± SD	Max.	Min.	Mean ± SD	Max.	Min.	
Frontalis (mm)	L/R	2.88 ± 0.68	4.70	1.33	2.35 ± 0.79	5.57	0.90	<b>&lt;0.001</b>
Orbicularis oculi (mm)	L/R	0.84 ± 0.19	1.30	0.43	1.00 ± 0.25	2.21	0.52	<b>&lt;0.001</b>
Zygomaticus major area (mm <sup>2</sup> )	L/R	73.39 ± 24.77	139.4	28.63	61.25 ± 24.52	138.0	20.53	<b>0.005</b>
Zygomaticus major, LDM (mm)	L/R	14.73 ± 2.79	23.92	10.16	14.75 ± 2.99	22.86	9.09	0.975
Zygomaticus major, TDM (mm)	L/R	6.87 ± 1.36	10.09	3.72	5.91 ± 1.38	10.96	2.66	<b>&lt;0.001</b>
Depressor anguli oris, area (mm <sup>2</sup> )	L/R	40.36 ± 11.80	83.12	21.89	53.87 ± 15.23	95.04	26.14	<b>&lt;0.001</b>
Depressor anguli oris, LDM (mm)	L/R	13.52 ± 2.05	18.45	9.78	15.64 ± 2.50	22.26	8.87	<b>&lt;0.001</b>
Depressor anguli oris, TDM (mm)	L/R	4.43 ± 1.08	7.77	2.76	4.96 ± 1.12	8.24	2.84	<b>0.005</b>
Depressor labii inferioris, area (mm <sup>2</sup> )	L/R	42.53 ± 12.22	79.55	21.11	47.66 ± 16.76	100.6	26.69	<b>0.041</b>
Depressor labii inferioris, LDM (mm)	L/R	13.03 ± 2.00	20.57	8.14	14.32 ± 2.93	21.86	8.69	<b>0.003</b>
Depressor labii inferioris, TDM (mm)	L/R	4.41 ± 0.94	7.27	2.88	4.69 ± 1.25	8.60	2.10	0.135
Orbicularis oris (mm)	L/R	2.68 ± 0.61	4.27	1.42	2.82 ± 0.58	4.65	1.47	0.185
	L	2.69 ± 0.66	4.29	1.01	2.71 ± 0.61	4.54	1.59	0.832
	R	2.68 ± 0.67	4.25	1.19	2.93 ± 0.70	4.76	1.35	<b>0.035</b>
Mentalis, area (mm <sup>2</sup> )	L/R	52.57 ± 15.65	90.18	24.49	61.77 ± 17.46	123.27	28.26	<b>0.001</b>
Mentalis, LDM (mm)	L/R	13.50 ± 2.24	18.54	9.73	14.87 ± 2.42	21.28	9.92	<b>0.001</b>
Mentalis, TDM (mm)	L/R	5.88 ± 1.14	9.33	2.77	6.70 ± 1.72	11.53	4.25	<b>0.001</b>
Temporalis (mm)	L	19.53 ± 2.60	24.80	13.42	21.01 ± 2.35	24.86	13.29	<b>0.001</b>
	R	21.06 ± 2.03	25.27	16.46	22.44 ± 2.04	25.65	14.68	<b>&lt;0.001</b>
Masseter (mm)	L/R	14.44 ± 2.18	20.63	9.39	15.69 ± 2.39	22.35	9.92	<b>0.002</b>

Bold P-values indicate statistical significance ( $P < 0.05$ ). LDM, longitudinal diameter; TDM, transverse diameter; L, left; R, right.

-0.035), and temporalis (mean  $SD/\Delta = 1.098$ ; equivalence interval: 2.045, 0.813) revealed a side asymmetry. The right temporalis muscle in men was significantly larger ( $P < 0.001$ ).

There was no significant side difference for mimic muscles at maximal contraction, with the exception of the LDM of the depressor anguli oris muscle in women ( $P = 0.038$ ). The right temporalis muscle was also larger on the right in women and men ( $P < 0.001$ , respectively). In women, the following muscles were not symmetric at contraction: LDM of depressor anguli oris (mean  $SD/\Delta = 1.384$ ; equivalence interval: 1.330, 0.063); frontalis muscle (mean  $SD/\Delta = 0.520$ ; equivalence interval: 0.526, -0.057); orbicularis oculi (mean  $SD/\Delta = 0.125$ ; equivalence interval: (0.130, -0.012); and temporalis (mean  $SD/\Delta = 1.149$ ; equivalence interval: 2.038, 0.738). In men, the following muscles were not symmetric at contraction: LDM of depressor anguli oris (mean  $SD/\Delta = 1.489$ ; equivalence interval: 1.664, -0.023); area of zygomaticus major (mean  $SD/\Delta = 18.966$ ; equivalence interval: 20.648, -1.077); orbicularis oris (mean  $SD/\Delta = 0.414$ ; equivalence interval: 0.446, -0.020); and temporalis (mean  $SD/\Delta = 1.163$ ; equivalence interval: 1.898, 0.595).

Finally, analysis of the proportional contractility index data revealed side symmetry in women for all muscles, except for the TDM of depressor labii inferioris (mean  $SD/\Delta = 12.542$ ; equivalence inter-

val: 12.697, -1.350) and temporalis (mean  $SD/\Delta = 1.692$ ; equivalence interval: 1.809, -0.087), and in men for all muscles, except for the LDM of depressor labii inferioris (mean  $SD/\Delta = 11.085$ ; equivalence interval: 11.910, -0.510), orbicularis oculi (mean  $SD/\Delta = 16.309$ ; equivalence interval: 16.453, -1.962), and temporalis (mean  $SD/\Delta = 3.351$ ; equivalence interval: 3.594, -0.579).

#### Normal Reference Values for Quantitative Ultrasonographic Facial Muscle Measurements in Adults.

Tables 2 and 3A and 3B provide an overview of normal reference values at rest and during maximal contraction for the women and men. The data for proportional contractility are summarized in Table S6 (available online). At rest, selected or all parameters of some muscles were larger in men than in women, such as mentalis, depressor anguli oris and depressor labii inferioris. In contrast, zygomaticus and frontalis muscles were larger at rest in women. During maximal contraction, parameters of mentalis, depressor anguli oris, and labii inferioris were significantly larger in men. In contrast, orbicularis oculi and oris were larger at contraction in women. In general, the proportional contractility indices were higher for the mimic muscles than for the chewing muscles. The proportional contractility index for the area of the depressor anguli oris and for LDM and TDM of the depressor labii inferioris were higher in

**Table 3A.** Normal reference range of facial muscle area and diameter for women and men at maximal contraction.

Muscle	Side	Women			Men			P
		Mean ± SD	Max.	Min.	Mean ± SD	Max.	Min.	
Frontalis (mm)	L/R	3.90 ± 0.98	6.75	1.84	3.30 ± 0.87	5.84	1.69	<0.001
	L	3.79 ± 1.01	7.08	1.67	3.28 ± 0.91	5.89	1.69	0.002
	R	4.02 ± 1.08	6.82	1.94	3.32 ± 0.90	5.79	1.39	0.001
Orbicularis oculi (mm)	L/R	1.13 ± 0.21	1.60	0.70	1.35 ± 0.33	2.62	0.74	<0.001
	L	1.16 ± 0.29	1.86	0.53	1.37 ± 0.39	2.93	0.74	<0.001
	R	1.10 ± 0.21	1.74	0.74	1.32 ± 0.32	2.31	0.73	<0.001
Zygomaticus major, area (mm <sup>2</sup> )	L/R	122.84 ± 36.11	208.6	37.09	107.93 ± 34.86	196.3	40.10	0.016
Zygomaticus major, area (mm <sup>2</sup> )	L	120.82 ± 43.46	267.2	38.83	103.04 ± 39.21	213.3	41.15	0.014
Zygomaticus major, area (mm <sup>2</sup> )	R	124.86 ± 34.95	204.9	35.35	112.82 ± 36.65	198.5	39.05	0.054
Zygomaticus major, LDM (mm)	L/R	17.83 ± 3.24	25.00	11.50	18.65 ± 3.71	26.23	11.61	0.176
Zygomaticus major, TDM (mm)	L/R	8.68 ± 1.81	12.78	3.73	8.47 ± 2.24	15.23	3.83	0.557

Bold P-values indicate statistical significance ( $P < 0.05$ ). LDM, longitudinal diameter; TDM, transverse diameter; L, left; R, right.

women than in men. On the other hand, men had a higher proportional contractility index for area, LDM, and TDM of the zygomaticus major and for diameter of the frontalis muscle.

Correlation analyses between the quantitative muscle parameters and the biometric parameters of age, body height, body weight, and BMI are summarized in Tables 4A and 4B. The association between age, body height, and muscle size was low. Body weight (and BMI as a dependent parameter) showed a significant association with the size of most facial muscles in women and men. In general, the correlation was stronger in men than in women. The correlation between muscle size as a dependent variable vs. age as an independent variable is shown in Figure 2 and vs. body weight in Figure 3. Overall, the influence of age ( $R^2 = 0.007-0.1$ ) and body weight ( $R^2 = 0.01-0.3$ ) was low for both genders.

## DISCUSSION

In this study we have demonstrated the reliability of quantitative ultrasonographic facial muscle measurements in a sample of 140 volunteers, aged 21–93 years. So far, this is the largest and most comprehensive study of normative reference data for facial muscle. The contractility of facial muscles is also described quantitatively. The normative ranges do not differ noticeably from data published in the sparse literature for a few of the mimic and chewing muscles.<sup>1,3,5,6,9</sup> We conclude that ultrasonography is as reliable for measurement of facial muscles as it is for other and larger skeletal muscles.<sup>10</sup> Furthermore, this study has shown that the mimic muscles do not have a significant side-to-side difference. This is in accordance with anatomic cadaver studies and electromyographic studies in mimic musculature.<sup>11,12</sup> Even

**Table 3B.** Normal reference range of facial muscle area and diameter for women and men at maximal contraction.

Muscle	Side	Women			Men			P
		Mean ± SD	Max.	Min.	Mean ± SD	Max.	Min.	
Depressor anguli oris, area (mm <sup>2</sup> )	L/R	56.13 ± 18.98	104.4	26.26	68.59 ± 21.92	142.6	33.42	<b>&lt;0.001</b>
Depressor anguli oris, LDM (mm)	L/R	14.29 ± 2.44	20.98	8.84	16.04 ± 2.65	22.89	10.68	<b>&lt;0.001</b>
Depressor anguli oris, TDM (mm)	L/R	5.27 ± 1.35	8.49	3.19	5.78 ± 1.42	9.29	3.35	<b>0.031</b>
Depressor labii inferioris, area (mm <sup>2</sup> )	L/R	51.98 ± 16.20	100.9	25.22	58.38 ± 22.69	144.9	22.39	0.056
Depressor labii inferioris, LDM (mm)	L/R	13.53 ± 2.20	22.0	10.14	14.70 ± 2.51	19.71	10.09	<b>0.004</b>
Depressor labii inferioris, TDM (mm)	L/R	4.88 ± 1.02	7.43	3.12	5.11 ± 1.31	9.10	2.47	0.244
Orbicularis oris (mm)	L/R	3.81 ± 0.69	6.04	2.43	4.20 ± 0.70*	5.76	2.32	<b>0.001</b>
	L	3.81 ± 0.80	6.65	2.62	4.09 ± 0.74	5.83	2.16	<b>0.038</b>
	R	3.81 ± 0.72	6.21	2.23	4.30 ± 0.91	6.75	2.47	<b>&lt;0.001</b>
Mentalis, area (mm <sup>2</sup> )	L/R	60.86 ± 16.28	94.1	25.56	73.40 ± 20.45	150.9	35.75	<b>&lt;0.001</b>
Mentalis, LDM (mm)	L/R	13.74 ± 2.28	18.57	8.26	15.51 ± 2.30	22.16	10.37	<b>&lt;0.001</b>
Mentalis, TDM (mm)	L/R	6.35 ± 1.30	9.30	2.68	7.29 ± 1.60	12.89	4.63	<b>&lt;0.001</b>
Temporalis (mm)	L	20.09 ± 2.64	24.58	13.29	21.45 ± 2.29	25.59	14.42	<b>&lt;0.001</b>
	R	21.47 ± 1.95	25.58	17	22.69 ± 2.36	26.12	12.17	<b>0.001</b>
Masseter (mm)	L/R	15.58 ± 2.21	21.86	10.73	17.27 ± 2.69	23.74	10.91	<b>&lt;0.001</b>

Bold P-values indicate statistical significance ( $P < 0.05$ ). LDM, longitudinal diameter; TDM, transverse diameter; L, left; R, right.

**Table 4A.** Gender-specific association between muscle size at rest and biometric characteristics of the probands.

Muscle at rest	Women			
	Age [ <i>r</i> ( <i>P</i> )]	Height [ <i>r</i> ( <i>P</i> )]	Weight [ <i>r</i> ( <i>P</i> )]	BMI [ <i>r</i> ( <i>P</i> )]
Frontalis, area (mm <sup>2</sup> )	0.191 (0.113)	-0.045 (0.713)	0.285 ( <b>0.017</b> )	0.260 ( <b>0.030</b> )
Orbicularis oculi (mm)	-0.031 (0.797)	0.078 (0.521)	0.075 (0.537)	0.042 (0.733)
Zygomaticus major, area (mm <sup>2</sup> )	0.043 (0.731)	-0.066 (0.632)	0.121 (0.328)	0.155 (0.211)
Zygomaticus major, LDM (mm)	-0.227 (0.065)	0.166 (0.180)	0.177 (0.152)	0.124 (0.318)
Zygomaticus major, TDM (mm)	0.102 (0.410)	0.073 (0.558)	0.167 (0.176)	0.162 (0.191)
Depressor anguli oris area (mm <sup>2</sup> )	-0.025 (0.835)	0.082 (0.501)	0.318 ( <b>0.007</b> )	0.262 ( <b>0.028</b> )
Depressor anguli oris, LDM (mm)	-0.119 (0.327)	0.189 (0.117)	0.262 ( <b>0.029</b> )	0.166 (0.170)
Depressor anguli oris, TDM (mm)	-0.054 (0.657)	0.108 (0.376)	0.201 (0.095)	0.131 (0.280)
Depressor labii inferioris, area (mm <sup>2</sup> )	0.041 (0.736)	0.161 (0.184)	0.038 (0.756)	-0.030 (0.770)
Depressor labii inferioris, LDM (mm)	0.108 (0.375)	0.194 (0.108)	0.126 (0.300)	0.022 (0.857)
Depressor labii inferioris, QDM (mm)	0.043 (0.724)	0.173 (0.153)	0.190 (0.116)	0.097 (0.422)
Orbicularis oris (mm)	0.269 ( <b>0.025</b> )	-0.245 ( <b>0.041</b> )	0.201 (0.095)	0.255 ( <b>0.033</b> )
Mentalis, area (mm <sup>2</sup> )	0.264 ( <b>0.027</b> )	0.077 (0.528)	0.303 ( <b>0.011</b> )	0.223 (0.063)
Mentalis, LDM (mm)	0.167 (0.166)	0.078 (0.519)	0.322 ( <b>0.006</b> )	0.253 ( <b>0.034</b> )
Mentalis, QDM (mm)	0.214 (0.075)	0.075 (0.537)	0.237 ( <b>0.048</b> )	0.153 (0.206)
Masseter (mm)	-0.145 (0.231)	0.120 (0.322)	0.374 ( <b>0.001</b> )	0.262 ( <b>0.029</b> )
Temporalis left (mm)	0.020 (0.868)	0.022 (0.854)	0.317 ( <b>0.008</b> )	0.252 ( <b>0.035</b> )
Temporalis right (mm)	0.008 (0.947)	0.075 (0.538)	0.314 ( <b>0.008</b> )	0.245 ( <b>0.041</b> )

Bold *P*-values indicate statistical significance (*P* < 0.05). BMI, body mass index; LDM, longitudinal diameter; TDM, transverse diameter.

more, these data suggest that most of the muscles studied exhibit symmetrical morphological characteristics. Handedness had no influence on mimic muscle size, as it has been shown for several other human muscles.<sup>13</sup> As the observed muscles are distributed over the whole face, this morphometric muscle symmetry may explain in part how bilateral and universal production of facial expression is achieved as an essential part of non-verbal communication despite individual variation.<sup>11</sup> In contrast, and in accordance with these results, it is well

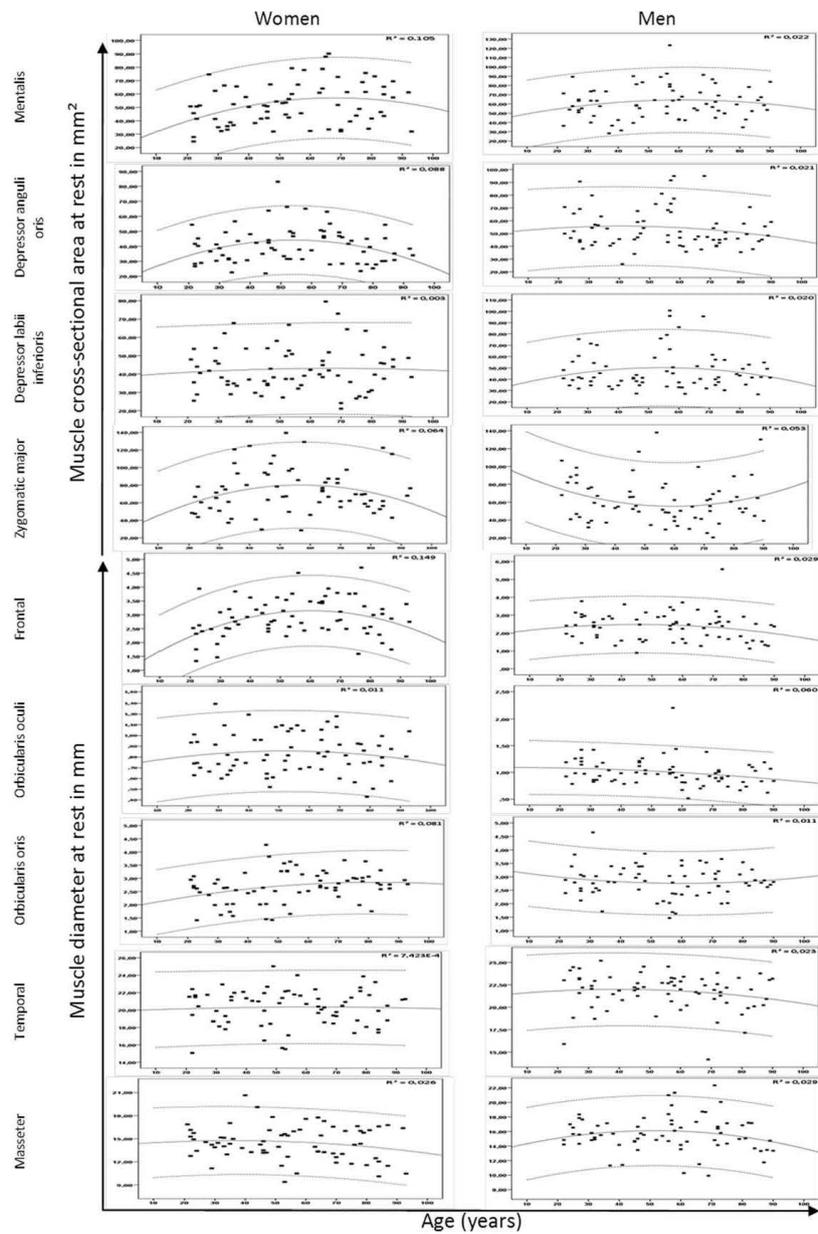
known that right-handed individuals prefer to chew on the right side, and *vice versa*.<sup>14</sup> This can explain the significant left-right side differences of the temporalis muscle.

As in other parts of the body, the mimic musculature showed gender differences; the mentalis, depressor anguli oris, and depressor labii inferioris muscles were smaller in women, but the zygomaticus and frontalis muscles were larger than in men. These divergent results can only be explained for the muscles that were smaller in women, as women

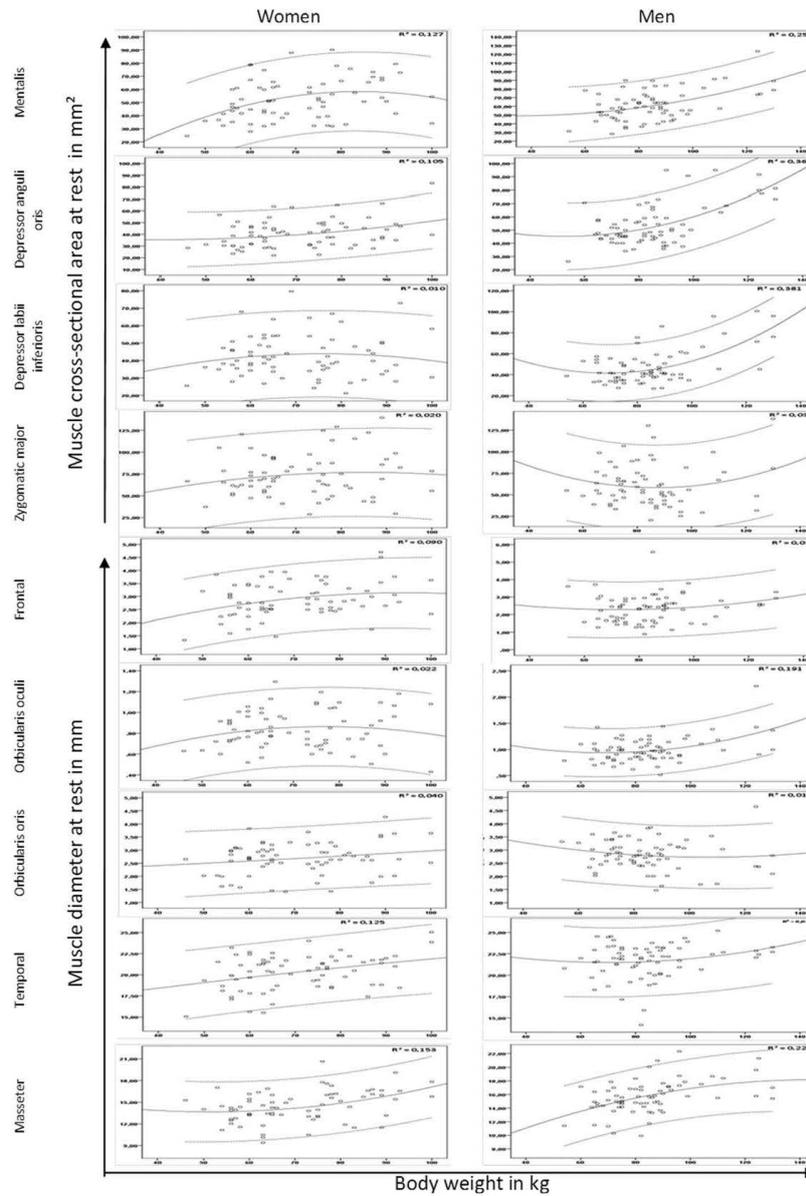
**Table 4B.** Gender-specific association between muscle size at rest and biometric characteristics of the probands.

Muscle at rest	Men			
	Age [ <i>r</i> ( <i>P</i> )]	Height [ <i>r</i> ( <i>P</i> )]	Weight [ <i>r</i> ( <i>P</i> )]	BMI [ <i>r</i> ( <i>P</i> )]
Frontalis, area (mm <sup>2</sup> )	-0.121 (0.318)	-0.057 (0.638)	0.164 (0.175)	0.164 (0.174)
Orbicularis oculi (mm)	-0.242 ( <b>0.044</b> )	0.338 ( <b>0.004</b> )	0.398 ( <b>0.001</b> )	0.224 (0.062)
Zygomaticus major, area (mm <sup>2</sup> )	-0.055 (0.652)	0.020 (0.869)	0.177 (0.142)	0.202 (0.094)
Zygomaticus major, LDM (mm)	-0.066 (0.595)	0.221 (0.072)	0.111 (0.369)	-0.001 (0.991)
Zygomaticus major, TDM (mm)	-0.008 (0.949)	0.100 (0.420)	0.077 (0.534)	0.085 (0.495)
Depressor anguli oris area (mm <sup>2</sup> )	-0.121 (0.317)	0.248 ( <b>0.038</b> )	0.579 (< <b>0.001</b> )	0.483 (< <b>0.001</b> )
Depressor anguli oris, LDM (mm)	-0.118 (0.331)	0.314 ( <b>0.008</b> )	0.485 (< <b>0.001</b> )	0.341 ( <b>0.004</b> )
Depressor anguli oris, TDM (mm)	0.047 (0.699)	0.130 (0.285)	0.448 (< <b>0.001</b> )	0.406 (< <b>0.001</b> )
Depressor labii inferioris, area (mm <sup>2</sup> )	-0.004 (0.972)	0.155 (0.201)	0.559 (< <b>0.001</b> )	0.546 (< <b>0.001</b> )
Depressor labii inferioris, LDM (mm)	-0.082 (0.497)	0.071 (0.561)	0.217 (0.071)	0.191 (0.114)
Depressor labii inferioris, QDM (mm)	-0.045 (0.713)	0.054 (0.655)	0.403 ( <b>0.001</b> )	0.429 (< <b>0.001</b> )
Orbicularis oris (mm)	-0.054 (0.655)	-0.105 (0.388)	-0.097 (0.425)	-0.005 (0.965)
Mentalis, area (mm <sup>2</sup> )	0.089 (0.462)	0.162 (0.180)	0.499 (< <b>0.001</b> )	0.426 (< <b>0.001</b> )
Mentalis, LDM (mm)	0.098 (0.419)	0.272 ( <b>0.023</b> )	0.510 (< <b>0.001</b> )	0.394 ( <b>0.001</b> )
Mentalis, QDM (mm)	0.091 (0.456)	0.136 (0.261)	0.541 (< <b>0.001</b> )	0.507 (< <b>0.001</b> )
Masseter (mm)	-0.057 (0.639)	0.151 (0.212)	0.461 (< <b>0.001</b> )	0.426 (< <b>0.001</b> )
Temporalis left (mm)	-0.041 (0.733)	0.109 (0.370)	0.148 (0.220)	0.077 (0.524)
Temporalis right (mm)	-0.211 (0.080)	0.265 ( <b>0.027</b> )	0.195 (0.106)	0.071 (0.557)

Bold *P*-values indicate statistical significance (*P* < 0.05). BMI, body mass index; LDM, longitudinal diameter; TDM, transverse diameter.



**FIGURE 2.** Facial muscle diameter (mm) and muscle area (mm<sup>2</sup>) at rest as a function of age (years) and gender together with the regression lines for calculated mean muscle size. The regression equation for calculated mean is represented by the solid line, and the equations for  $\pm 2 \times$  SD with the dotted lines.



**FIGURE 3.** Facial muscle diameter (mm) and muscle area (mm<sup>2</sup>) at rest as a function of body weight (kg) and gender together with the regression lines for calculated mean muscle size. The regression equation for calculated mean is represented by the solid line, and the equations for  $\pm 2 \times$  SD with the dotted lines.

had, on average, a lower body weight than male participants. Lower body weight was associated with smaller muscle size. Genetic factors have a

gender-specific influence on the ability to express certain emotions.<sup>15</sup> It may be that the gender-specific ability to express emotions results in

differing use of some mimic muscles, ultimately also leading to differences in muscle size.

We showed that age had no effect on the size of mimic muscles. This is well known for neck and chewing muscles.<sup>16,17</sup> A possible explanation is that these muscles are needed or loaded constantly, and are independent of age throughout life. The same may be true for mimic muscles. Older adults may be as capable as younger adults with regard to regulating their outward expression of emotions.<sup>18</sup>

The study has some limitations. It was not possible to identify all facial muscles, but this is also true for computed tomography and magnetic resonance imaging.<sup>19</sup> Furthermore, mimic muscle detection is not more accurate with those imaging techniques, yet they are more expensive and time-consuming and impose a higher burden on patients. Using standardized section planes is important to allow for standardization of the procedure, but this limits the exploration to a group of very thin muscle fibers around the eye and the mouth. This limitation may be overcome in the future by 3-dimensional ultrasound.<sup>20,21</sup> The pressure of the transducer on the skin may lead to a major difference in muscle thickness measurements, especially in small muscles, such as those of the face. The investigators were instructed to not exert probe pressure on the skin, but no objective method was used to control and maintain consistency of pressure between measurements.

As a next step, it will be necessary to use these methods in patients with facial nerve or mimic muscle diseases. For instance, in cases of congenital facial palsy, it should be easy to distinguish patients with congenital disorders of the facial nerve from newborns with facial nerve lesions due to birth trauma. A rapid exploration by ultrasound would show that the former do not have facial muscles, whereas the latter show mimic muscles. In patients who are candidates for facial nerve reconstruction surgery after prolonged denervation and to monitor such patients after surgery, this method will be very helpful as an additional tool to evaluate the functional status of the mimic muscles. Furthermore, this technique may help with certain types of electrodiagnostic applications. For example, ultrasound may be helpful with more precise location of surface electrode placement for facial nerve compound muscle action potential recordings or blink reflex studies and in better identification of specific muscles for more accurate needle examination; further, it could be useful for very precise localization for injections of botulinum toxin in the treatment of hemifacial spasm or localized synkinesia.

This study of gender- and age-specific data sets of mimic and masticatory muscles in healthy adults has demonstrated that ultrasound is a method that

meets high standards for reliable quantitative examination of muscle size at rest, during maximal contraction, and for mimic muscle contractility. Most mimic muscle sizes show high left-right side symmetry and are correlated with gender and body weight. Future studies can use these normative data to describe and compare the ultrasound characteristics of different facial mimic muscle diseases to assess the differential diagnostic value. In addition, because ultrasonography is a non-invasive and easily accessible technique that gives no radiation exposure, it is a promising method for monitoring facial disease progression and evaluating treatment effects.

Informed written consent was obtained from the patients prior to publication of the images.

#### REFERENCES

1. Balogh B, Frahwald F, Millesi W, Millesi H, Firbas W. Sonoanatomy of the muscles of facial expression. *Surg Radiol Anat* 1988;10:101-106.
2. McAlister RW, Harkness EM, Nicoll JJ. An ultrasound investigation of the lip levator musculature. *Eur J Orthodont* 1998;20:713-720.
3. Satiroglu F, Arun T, Isik F. Comparative data on facial morphology and muscle thickness using ultrasonography. *Eur J Orthodont* 2005; 27:562-567.
4. de Korte CL, van Hees N, Lopata RG, Weijers G, Katsaros C, Thijssen JM. Quantitative assessment of oral orbicular muscle deformation after cleft lip reconstruction: an ultrasound elastography study. *IEEE Transact Med Imaging* 2009;28:1217-1222.
5. Volk GF, Wstüb N, Pohlmann M, Finkenseper M, Chalmers HJ, Guntinas-Lichius O. Quantitative ultrasonography of facial muscles. *Muscle Nerve* 2013;47:878-883.
6. Alfen NV, Gilhuis HJ, Keijzers JP, Pillen S, van Dijk JP. Quantitative facial muscle ultrasound: feasibility and reproducibility. *Muscle Nerve* 2013;48:375-380.
7. Wilk MB, Gnanadesikan R. Probability plotting methods for the analysis of data. *Biometrika* 1968;55:1-17.
8. Pepe MS. The statistical evaluation of medical tests for classification and prediction. Oxford, UK: Oxford University Press; 2003.
9. Ahn S, Park SH, Lee KH. How to demonstrate similarity by using noninferiority and equivalence statistical testing in radiology research. *Radiology* 2013;267:328-338.
10. Vinkka-Puhakka H, Kean MR, Heap SW. Ultrasonic investigation of the circumoral musculature. *J Anat* 1989;166:121-133.
11. English C, Fisher L, Thoires K. Reliability of real-time ultrasound for measuring skeletal muscle size in human limbs in vivo: a systematic review. *Clin Rehabil* 2012;26:934-944.
12. Waller BM, Gray JJ, Burrows AM. Selection for universal facial emotion. *Emotion* 2008;8:435-439.
13. Schumann NP, Bongers K, Guntinas-Lichius O, Scholle HC. Facial muscle activation patterns in healthy male humans: a multi-channel surface EMG study. *J Neurosci Methods* 2010;187:120-128.
14. Reimers CD, Harder T, Saxe H. Age-related muscle atrophy does not affect all muscles and can partly be compensated by physical activity: an ultrasound study. *J Neurol Sci* 1998;159:60-66.
15. Raadsheer MC, van Eijden TM, van Ginkel FC, Prahl-Andersen B. Human jaw muscle strength and size in relation to limb muscle strength and size. *Eur J Oral Sci* 2004;112:398-405.
16. Chen H, Pine DS, Ernst M, Gorodetsky E, Kasen S, Gordon K, et al. The MAOA gene predicts happiness in women. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry* 2013;40:122-125.
17. Kiliaridis S, Kalebo P. Masseter muscle thickness measured by ultrasonography and its relation to facial morphology. *J Dent Res* 1991;70: 1262-1265.
18. Rankin G, Stokes M, Newham DJ. Size and shape of the posterior neck muscles measured by ultrasound imaging: normal values in males and females of different ages. *Manual Ther* 2005;10:108-115.
19. Emery L, Hess TM. Cognitive consequences of expressive regulation in older adults. *Psychol Aging* 2011;26:388-396.
20. Kaylie DM, Wax MK, Weissman JL. Preoperative facial muscle imaging predicts final facial function after facial nerve grafting. *Am J Neuroradiol* 2003;24:326-330.
21. Pooh RK. Normal anatomy by three-dimensional ultrasound in the second and third trimesters. *Sem Fetal Neonatal Med* 2012;17:269-277.

<b>Supplement table 1. Intra-observer reliability of all investigated muscles at rest and during maximal contraction.</b>									
Muscle	Side	n	At rest			During maximal contraction			
			ICC	95% CI	p	ICC	95% CI	p	
Frontal (mm)	L	9	0.960	[0.847 ; 0.991]	<0.001	0.943	[0.785 ; 0.987]	<0.001	
	R	9	0.944	[0.789 ; 0.987]	<0.001	0.961	[0.849 ; 0.991]	<0.001	
Orbicularis oculi (mm)	L	9	0.918	[0.701 ; 0.981]	<0.001	0.932	[0.749 ; 0.981]	<0.001	
	R	9	0.933	[0.752 ; 0.981]	<0.001	0.794	[0.361 ; 0.949]	0.002	
Zygomaticus major area (mm <sup>2</sup> )	L	9	0.990	[0.962 ; 0.998]	<0.001	0.995	[0.980 ; 0.999]	<0.001	
	R	9	0.992	[0.968 ; 0.998]	<0.001	0.997	[0.989 ; 0.999]	<0.001	
Zygomaticus major LDM (mm)	L	9	0.774	[0.341 ; 0.943]	0.003	0.669	[0.104 ; 0.913]	<0.001	
	R	9	0.919	[0.704 ; 0.981]	<0.001	0.947	[0.800 ; 0.988]	<0.001	
Zygomaticus major TDM (mm)	L	9	0.876	[0.574 ; 0.970]	<0.001	0.892	[0.622 ; 0.974]	<0.001	
	R	9	0.778	[0.323 ; 0.944]	0.003	0.787	[0.344 ; 0.947]	0.002	
Depressor anguli oris area (mm <sup>2</sup> )	L	9	0.944	[0.789 ; 0.987]	<0.001	0.900	[0.645 ; 0.976]	<0.001	
	R	9	0.984	[0.937 ; 0.996]	<0.001	0.826	[0.438 ; 0.957]	<0.001	
Depressor anguli oris LDM (mm)	L	9	0.695	[0.151 ; 0.921]	0.009	0.858	[0.522 ; 0.965]	<0.001	
	R	9	0.922	[0.714 ; 0.982]	<0.001	0.893	[0.625 ; 0.975]	<0.001	
Depressor anguli oris TDM (mm)	L	9	0.878	[0.579 ; 0.971]	<0.001	0.706	[0.171 ; 0.924]	0.008	
	R	9	0.553	[-0.083 ; 0.876]	0.041	0.631	[0.038 ; 0.901]	0.020	
Depressor labii inferioris area (mm <sup>2</sup> )	L	9	0.961	[0.849 ; 0.991]	<0.001	0.996	[0.984 ; 0.999]	<0.001	
	R	9	0.908	[0.670 ; 0.978]	<0.001	0.990	[0.961 ; 0.998]	<0.001	
Depressor labii inferioris LDM (mm)	L	9	0.634	[0.042 ; 0.902]	0.019	0.973	[0.895 ; 0.994]	<0.001	
	R	9	0.740	[0.240 ; 0.934]	0.005	0.805	[0.386 ; 0.952]	0.002	
Depressor labii inferioris TDM (mm)	L	9	0.754	[0.270 ; 0.938]	0.004	0.735	[0.229 ; 0.932]	0.005	
	R	9	0.622	[0.022 ; 0.898]	0.022	0.221	[-0.447 ; 0.745]	0.258	
Orbicularis oris (mm)	L	9	0.626	[0.029 ; 0.900]	0.021	0.929	[0.727 ; 0.982]	0.001	
	R	9	0.886	[0.603 ; 0.973]	0.001	0.807	[0.391 ; 0.952]	<0.001	
Mentalis area (mm <sup>2</sup> )	L	9	0.993	[0.972 ; 0.998]	<0.001	0.927	[0.730 ; 0.983]	<0.001	
	R	9	0.995	[0.979 ; 0.999]	<0.001	0.994	[0.975 ; 0.999]	<0.001	
Mentalis LDM (mm)	L	9	0.861	[0.531 ; 0.966]	<0.001	0.741	[0.241 ; 0.934]	0.005	
	R	9	0.806	[0.389 ; 0.952]	0.001	0.707	[0.173 ; 0.924]	0.008	
Mentalis TDM (mm)	L	9	0.834	[0.459 ; 0.959]	<0.001	0.687	[0.135 ; 0.918]	0.011	
	R	9	0.641	[0.054 ; 0.904]	0.018	0.572	[-0.055 ; 0.882]	0.035	
Temporalis (mm)	L	9	0.927	[0.732 ; 0.983]	<0.001	0.907	[0.668 ; 0.978]	<0.001	
	R	9	0.926	[0.728 ; 0.983]	<0.001	0.954	[0.822 ; 0.989]	<0.001	
Masseter (mm)	L	9	0.976	[0.907 ; 0.995]	<0.001	0.991	[0.965 ; 0.998]	<0.001	
	R	9	0.978	[0.913 ; 0.995]	<0.001	0.978	[0.914 ; 0.995]	<0.001	

LDM = longitudinal diameter; TDM = transverse diameter; L=left; R=right; ICC= intraclass correlation; CI=confidence interval.

<b>Supplement table 2.</b> Inter-observer reliability of all investigated muscles at rest and during maximal contraction.									
Muscle	Side	n	At rest			During maximal contraction			
			ICC	95% CI	p	ICC	95% CI	p	
Frontal (mm)	L	8	0.954	[0.805 ; 0.990]	<b>&lt;0.001</b>	0.938	[0.745 ; 0.987]	<b>&lt;0.001</b>	
	R	8	0.815	[0.370 ; 0.959]	<b>0.003</b>	0.903	[0.619 ; 0.979]	<b>&lt;0.001</b>	
Orbicularis oculi (mm)	L	8	0.931	[0.692 ; 0.986]	<b>&lt;0.001</b>	0.954	[0.726 ; 0.991]	<b>&lt;0.001</b>	
	R	8	0.982	[0.894 ; 0.996]	<b>&lt;0.001</b>	0.909	[0.642 ; 0.981]	<b>&lt;0.001</b>	
Zygomaticus major area (mm <sup>2</sup> )	L	8	0.974	[0.885 ; 0.995]	<b>&lt;0.001</b>	0.977	[0.900 ; 0.995]	<b>&lt;0.001</b>	
	R	8	0.965	[0.792 ; 0.993]	<b>&lt;0.001</b>	0.949	[0.780 ; 0.990]	<b>&lt;0.001</b>	
Zygomaticus major LDM (mm)	L	8	0.196	[-0.442 ; 0.750]	0.294	0.684	[0.062 ; 0.927]	<b>0.009</b>	
	R	8	0.668	[0.017 ; 0.923]	<b>0.009</b>	0.759	[0.238 ; 0.945]	<b>0.006</b>	
Zygomaticus major TDM (mm)	L	8	0.575	[-0.222 ; 0.900]	0.065	0.925	[0.674 ; 0.984]	<b>&lt;0.001</b>	
	R	8	0.568	[-0.055 ; 0.891]	<b>0.028</b>	0.820	[0.331 ; 0.961]	<b>0.005</b>	
Depressor anguli oris area (mm <sup>2</sup> )	L	8	0.987	[0.940 ; 0.997]	<b>&lt;0.001</b>	0.995	[0.975 ; 0.999]	<b>&lt;0.001</b>	
	R	8	0.988	[0.944 ; 0.997]	<b>&lt;0.001</b>	0.984	[0.926 ; 0.997]	<b>&lt;0.001</b>	
Depressor anguli oris LDM (mm)	L	8	0.683	[0.073 ; 0.926]	<b>0.010</b>	0.483	[-0.176 ; 0.864]	0.083	
	R	8	0.555	[-0.249 ; 0.894]	0.074	0.127	[0.594 ; 0.732]	0.374	
Depressor anguli oris TDM (mm)	L	8	0.500	[-0.302 ; 0.877]	0.098	-0.109	[-0.910 ; 0.642]	0.595	
	R	8	0.895	[0.565 ; 0.978]	<b>&lt;0.001</b>	0.803	[0.133 ; 0.960]	<b>&lt;0.001</b>	
Depressor labii inferioris area (mm <sup>2</sup> )	L	8	0.980	[0.909 ; 0.996]	<b>&lt;0.001</b>	0.970	[0.861 ; 0.994]	<b>&lt;0.001</b>	
	R	8	0.992	[0.965 ; 0.998]	<b>&lt;0.001</b>	0.994	[0.971 ; 0.999]	<b>&lt;0.001</b>	
Depressor labii inferioris LDM (mm)	L	8	0.899	[0.611 ; 0.978]	<b>&lt;0.001</b>	0.695	[0.123 ; 0.928]	<b>0.015</b>	
	R	8	0.623	[-0.142 ; 0.913]	<b>0.047</b>	0.557	[-0.201 ; 0.893]	0.069	
Depressor labii inferioris TDM (mm)	L	8	0.766	[0.185 ; 0.949]	<b>0.011</b>	0.666	[0.032 ; 0.922]	<b>0.027</b>	
	R	8	0.811	[0.356 ; 0.958]	<b>0.004</b>	0.688	[0.052 ; 0.928]	<b>0.023</b>	
Orbicularis oris (mm)	L	8	0.928	[0.707 ; 0.985]	<b>&lt;0.001</b>	0.833	[0.351 ; 0.965]	<b>0.004</b>	
	R	8	0.912	[0.642 ; 0.982]	<b>&lt;0.001</b>	0.939	[0.728 ; 0.987]	<b>&lt;0.001</b>	
Mentalis area (mm <sup>2</sup> )	L	8	0.995	[0.977 ; 0.999]	<b>&lt;0.001</b>	0.995	[0.976 ; 0.999]	<b>&lt;0.001</b>	
	R	8	0.989	[0.948 ; 0.998]	<b>&lt;0.001</b>	0.997	[0.987 ; 0.999]	<b>&lt;0.001</b>	
Mentalis LDM (mm)	L	8	0.787	[0.231 ; 0.954]	<b>0.008</b>	0.815	[0.313 ; 0.960]	<b>0.005</b>	
	R	8	0.615	[-0.155 ; 0.911]	<b>0.049</b>	0.908	[0.605 ; 0.981]	<b>0.001</b>	
Mentalis TDM (mm)	L	8	0.811	[0.364 ; 0.958]	<b>0.003</b>	0.748	[0.175 ; 0.944]	<b>0.012</b>	
	R	8	0.706	[0.061 ; 0.934]	<b>0.021</b>	0.852	[0.444 ; 0.968]	<b>0.002</b>	
Temporalis (mm)	L	8	0.904	[0.628 ; 0.980]	<b>&lt;0.001</b>	0.858	[0.488 ; 0.969]	<b>&lt;0.001</b>	
	R	8	0.955	[0.793 ; 0.991]	<b>&lt;0.001</b>	0.980	[0.911 ; 0.996]	<b>&lt;0.001</b>	
Masseter (mm)	L	8	0.989	[0.946 ; 0.998]	<b>&lt;0.001</b>	0.983	[0.920 ; 0.996]	<b>&lt;0.001</b>	
	R	8	0.969	[0.852 ; 0.994]	<b>&lt;0.001</b>	0.980	[0.910 ; 0.996]	<b>&lt;0.001</b>	

Supplement table 3. Equivalence test analyzing the symmetry of left and right side of the facial muscles at rest															
Muscle	S	Women							Men						
		M L (SD)	M R (SD)	<i>p</i>	M SD L/R	M SD/Δ	E interval	E Y/N	M L (SD)	M R (SD)	<i>p</i>	M SD L/R	M SD/Δ	E interval	E Y/N
Frontal (mm)	R-L	2.81 (0.67)	2.96 (0.77)	0.21	0.72	0.36	[0.36; -0.05]	Y	2.36 (0.80)	2.35 (0.82)	0.99	0.81	0.40	[0.23; -0.23]	Y
Orbicularis oculi (mm)	R-L	0.85 (0.22)	0.82 (0.22)	0.47	0.22	0.11	[0.09; -0.03]	Y	1.00 (0.28)	1.01 (0.25)	0.82	0.27	0.13	[0.09; -0.0]	Y
Zygomaticus major Area (mm <sup>2</sup> )	R-L	72.00 (28.03)	74.78 (26.30)	0.57	27.2	13.6	[10.6; -5.01]	Y	60.12 (27.50)	62.37 (25.32)	0.62	26.4	13.2	[9.82; -5.31]	Y
Zygomaticus major LDM (mm)	R-L	14.46 (3.39)	15.01 (3.16)	0.35	3.28	1.64	[1.49; -0.39]	Y	14.82 (4.03)	14.68 (3.11)	0.83	3.57	1.79	[1.16; -0.90]	Y
Zygomaticus major TDM (mm)	R-L	6.75 (1.59)	6.98 (1.80)	0.41	1.70	0.85	[0.72; -0.26]	Y	5.92 (1.78)	5.90 (1.58)	0.95	1.68	0.84	[0.50; -0.46]	Y
Depressor anguli oris area (mm <sup>2</sup> )	R-L	39.52 (11.70)	41.21 (13.68)	0.44	12.7	6.34	[5.25; -1.88]	Y	54.12 (16.22)	53.63 (15.68)	0.86	15.9	7.97	[4.95; -3.98]	Y
Depressor anguli oris LDM (mm)	R-L	13.17 (2.07)	13.87 (2.44)	0.07	2.3	1.13	[1.33; -0.06]	N	15.45 (2.95)	15.83 (2.65)	0.42	2.80	1.40	[1.17; -0.40]	Y
Depressor anguli oris TDM (mm)	R-L	4.40 (1.08)	4.46 (1.46)	0.76	1.27	0.64	[0.43; -0.29]	Y	5.13 (1.18)	4.79 (1.29)	0.11	1.23	0.62	[0.68; -0.01]	N
Depressor labii inferioris area (mm <sup>2</sup> )	R-L	42.41 (14.03)	42.66 (12.67)	0.68	13.4	6.68	[3.99; -3.49]	Y	45.67 (16.76)	49.65 (19.91)	0.20	18.3	9.17	[9.13; -1.17]	Y
Depressor labii inferioris LDM (mm)	R-L	12.82 (2.33)	13.24 (2.49)	0.31	2.41	1.20	[1.09; -0.26]	Y	14.04 (3.57)	14.59 (3.12)	0.34	3.35	1.67	[1.49; -0.39]	Y
Depressor labii inferioris TDM (mm <sup>2</sup> )	R-L	4.45 (1.15)	4.38 (1.09)	0.68	1.12	0.56	[0.39; -0.24]	Y	4.66 (1.40)	4.73 (1.45)	0.78	1.43	0.71	[0.47; -0.33]	Y
Orbicularis oris (mm)	R-L	2.69 (0.66)	2.68 (0.67)	0.97	0.66	0.33	[0.19; -0.18]	Y	2.71 (0.61)	2.93 (0.70)	0.05	0.65	0.33	[0.40; 0.04]	N
Mentalis Area (mm <sup>2</sup> )	R-L	52.28 (15.92)	52.87 (15.90)	0.83	15.9	7.96	[5.04; -3.86]	Y	61.75 (17.42)	61.80 (18.17)	0.99	17.8	8.90	[5.03; -4.94]	Y
Mentalis LDM (mm)	R-L	13.37 (2.52)	13.64 (2.14)	0.50	2.33	1.16	[0.92; -0.39]	Y	14.71 (2.36)	15.04 (2.64)	0.45	2.50	1.25	[1.02; -0.38]	Y
Mentalis TDM (mm)	R-L	5.93 (1.13)	5.83 (1.32)	0.63	1.23	0.61	[0.44; -0.24]	Y	6.82 (1.69)	6.58 (1.85)	0.44	1.77	0.89	[0.73; -0.27]	Y
Temporalis (mm)	R-L	19.53 (2.60)	21.06 (2.03)	<b>&lt;0.001</b>	2.32	1.16	[2.19; 0.88]	N	21.01 (2.35)	22.44 (2.04)	<b>&lt;0.001</b>	2.20	1.10	[2.05; 0.81]	N
Masseter (mm)	R-L	14.51 (2.46)	14.36 (2.30)	0.71	2.38	1.19	[0.82; -0.52]	Y	15.76 (2.84)	15.61 (2.31)	0.73	2.58	1.29	[0.88; -0.58]	Y

M = mean; L = left side; R = right side; LDM = longitudinal diameter; TDM = transverse diameter; Δ = delta; E = equivalence; Y = yes; N = no.

**Supplement table 4.** Equivalence test analyzing the symmetry of left and right side of the facial muscles at contraction

Muscle	S	Women							Men						
		M L (SD)	M R (SD)	p	M SD L/R	M SD/Δ	E interval	E Y/N	M L (SD)	M R (SD)	p	M SD L/R	M SD/Δ	E interval	E Y/N
Frontal (mm)	R-L	3.79 (1.01)	4.02 (1.08)	0.19	1.04	0.52	[0.53; -0.06]	N	3.28 (0.91)	3.32 (0.90)	0.79	0.91	0.45	[0.30; -0.21]	Y
Orbicularis oculi (mm)	R-L	1.16 (0.29)	1.10 (0.21)	0.17	0.25	0.13	[0.13; -0.01]	N	1.37 (0.39)	1.32 (0.32)	0.40	0.36	0.18	[0.15 ; -0.05]	Y
Zygomaticus major Area (mm <sup>2</sup> )	R-L	120.82 (43.46)	124.86 (34.95)	0.55	39.2	19.6	[15.3; -7.24]	Y	103.04 (39.21)	112.82 (36.65)	0.14	37.9	19.0	[20.7; -1.08]	N
Zygomaticus major LDM (mm)	R-L	17.51 (4.21)	18.15 (3.50)	0.34	3.86	1.93	[1.75; -0.47]	Y	18.46 (4.60)	18.84 (4.05)	0.61	4.33	2.16	[1.62; -0.68]	Y
Zygomaticus major TDM (mm)	R-L	8.59 (1.97)	8.76 (2.14)	0.62	2.06	1.03	[0.77; -0.41]	Y	8.20 (2.85)	8.74 (2.26)	0.23	2.55	1.28	[1.28; -0.20]	Y
Depressor anguli oris area (mm <sup>2</sup> )	R-L	54.48 (20.25)	57.78 (19.44)	0.33	19.9	9.92	[8.86; -2.26]	Y	68.00 (22.74)	69.18 (23.77)	0.77	23.3	11.6	[7.69; -5.34]	Y
Depressor anguli oris LDM (mm)	R-L	13.81 (2.74)	14.79 (2.79)	<b>0.04</b>	2.77	1.38	[1.33; 0.06]	N	15.63 (3.00)	16.44 (2.96)	0.11	2.98	1.49	[1.64; -0.02]	N
Depressor anguli oris TDM (mm)	R-L	5.21 (1.41)	5.33 (1.59)	0.64	1.50	0.75	[0.43; -0.29]	Y	5.87 (1.57)	5.69 (1.67)	0.51	1.62	0.81	[0.63; -0.27]	Y
Depressor labii inferioris area (mm <sup>2</sup> )	R-L	51.42 (18.64)	52.53 (15.91)	0.71	17.3	8.64	[5.96; -3.75]	Y	56.30 (21.88)	60.47 (25.43)	0.30	23.7	11.8	[10.8; -2.47]	Y
Depressor labii inferioris LDM (mm)	R-L	13.52 (2.54)	13.55 (2.33)	0.95	2.44	1.22	[0.71; -0.66]	Y	14.76 (3.09)	14.65 (2.71)	0.83	2.90	1.45	[0.92; -0.71]	Y
Depressor labii inferioris TDM (mm <sup>2</sup> )	R-L	4.81 (1.35)	4.94 (1.18)	0.57	1.27	0.63	[0.48; -0.23]	Y	4.95 (1.44)	5.26 (1.66)	0.78	1.55	0.24	[0.75; -0.12]	Y
Orbicularis oris (mm)	R-L	3.81 (0.80)	3.81 (0.72)	1.00	0.76	0.38	[0.21; -0.21]	Y	4.09 (0.74)	4.30 (0.91)	0.13	0.83	0.41	[0.45; -0.02]	N
Mentalis Area (mm <sup>2</sup> )	R-L	60.09 (17.30)	61.64 (16.00)	0.58	16.7	8.33	[6.22; -3.11]	Y	72.63 (20.18)	74.16 (21.40)	0.67	20.8	10.4	[7.35; -4.30]	Y
Mentalis LDM (mm)	R-L	13.59 (2.37)	13.89 (2.36)	0.46	2.37	1.18	[0.96; -0.36]	Y	15.28 (2.50)	15.74 (2.36)	0.27	2.43	1.22	[1.13; -0.23]	Y
Mentalis TDM (mm)	R-L	6.32 (1.36)	6.38 (1.43)	0.79	1.39	0.70	[0.45; -0.33]	Y	7.36 (1.65)	7.22 (1.77)	0.62	1.71	0.86	[0.62; -0.34]	Y
Temporalis (mm)	R-L	20.09 (2.64)	21.47 (1.95)	<b>&lt;0.001</b>	0.01	1.15	[2.04; 0.74]	N	21.45 (2.29)	22.69 (2.36)	<b>0.002</b>	2.33	1.16	[1.90; 0.60]	N
Masseter (mm)	R-L	15.59 (2.57)	15.57(2.34)	0.96	2.46	1.23	[0.71; -0.67]	Y	17.37 (2.95)	17.17 (2.90)	0.68	2.93	1.46	[1.02; -0.61]	Y

M = mean; L = left side; R = right side; LDM = longitudinal diameter; TDM = transverse diameter; Δ = delta; E = equivalence; Y = yes; N = no

<b>Supplement table 5.</b> Equivalence test analyzing the symmetry of left and right side of the facial muscles for the proportional contractile index															
Muscle	S	Women							Men						
		M L (SD)	M R (SD)	<i>p</i>	M SD L/R	M SD/Δ	E interval	E Y/N	M L (SD)	M R (SD)	<i>p</i>	M SD L/R	M SD/Δ	E interval	E Y/N
Frontal (mm)	R-L	35.57 (18.46)	38.10 (29.93)	0.55	24.2	12.1	[9.49; -4.43]	Y	45.48 (34.27)	47.07 (32.74)	0.8	33.5	16.8	[11.0; -7.79]	Y
Orbicularis oculi (mm)	R-L	40.58 (33.55)	41.12 (40.07)	0.92	36.8	18.4	[10.94; -9.74]	Y	41.15 (36.88)	33.90 (28.35)	0.30	32.6	16.3	[16.5; -1.96]	N
Zygomaticus major Area (mm <sup>2</sup> )	R-L	76.66 (55.89)	79.99 (68.77)	0.76	62.3	31.2	[21.3; -14.6]	Y	89.08 (75.11)	91.79 (56.01)	0.81	65.6	32.8	[21.7; -16.25]	Y
Zygomaticus major LDM (mm)	R-L	23.67 (29.69)	24.03 (31.88)	0.91	30.7	15.4	[9.37; -8.22]	Y	28.17 (31.02)	31.21 (30.63)	0.57	30.8	15.4	[11.9; -5.79]	Y
Zygomaticus major TDM (mm)	R-L	30.42 (31.34)	31.45 (46.66)	0.83	39.1	19.6	[12.9; -9.91]	Y	41.48 (42.10)	54.90 (49.82)	0.09	46.0	23.0	[26.6; 0.23]	Y
Depressor anguli oris area (mm <sup>2</sup> )	R-L	39.81 (43.07)	43.65 (39.71)	0.59	41.4	20.7	[15.43; -7.76]	Y	26.66 (26.92)	29.76 (25.67)	0.49	26.3	13.1	[10.5; -4.26]	Y
Depressor anguli oris LDM (mm)	R-L	4.49 (14.39)	7.09 (18.58)	0.34	16.5	8.24	[7.247; -2.06]	Y	1.90 (24.77)	3.95 (16.20)	0.42	20.2	10.1	[8.61; -2.92]	Y
Depressor anguli oris TDM (mm)	R-L	20.84 (30.58)	22.47 (33.74)	0.77	32.2	16.1	[10.64; -7.39]	Y	17.02 (32.95)	20.90 (31.41)	0.39	32.2	16.1	[13.7; -4.33]	Y
Depressor labii inferioris area (mm <sup>2</sup> )	R-L	24.46 (42.97)	25.21 (28.71)	0.90	35.8	17.9	[10.98; -9.48]	Y	27.55 (28.53)	22.99 (34.87)	0.40	31.7	15.9	[13.5; -4.36]	Y
Depressor labii inferioris LDM (mm)	R-L	6.17 (18.48)	2.91 (19.39)	0.31	18.9	9.47	[8.56; -2.04]	Y	7.70 (21.79)	1.20 (23.03)	0.13	22.2	11.1	[11.9; -0.51]	N
Depressor labii inferioris TDM (mm <sup>2</sup> )	R-L	8.94 (24.41)	14.61 (25.76)	0.18	25.1	12.5	[12.7; -1.35]	N	6.32 (43.68)	13.75 (39.12)	0.29	41.4	20.7	[19.0; -4.18]	Y
Orbicularis oris (mm)	R-L	48.09 (38.29)	47.73 (33.75)	0.95	36.0	18.0	[10.47; -9.74]	Y	56.44 (39.30)	52.19 (37.36)	0.51	38.3	19.2	[0.04; 0.04]	Y
Mentalis Area (mm <sup>2</sup> )	R-L	17.23 (36.98)	20.22 (33.42)	0.62	35.2	17.6	[12.84; -6.86]	Y	20.13 (27.93)	22.59 (29.19)	0.61	28.6	14.3	[10.5; -5.53]	Y
Mentalis LDM (mm)	R-L	2.154 (17.33)	1.87 (15.94)	0.92	16.6	8.31	[4.95; -4.37]	Y	4.23 (13.54)	5.62 (15.41)	0.57	14.5	7.23	[5.46; -2.67]	Y
Mentalis TDM (mm)	R-L	7.03 (21.21)	10.99 (23.43)	0.30	22.3	11.2	[10.2; -2.29]	Y	10.11 (26.63)	12.32 (26.92)	0.63	26.8	13.4	[9.70; -5.28]	Y
Temporalis (mm)	R-L	2.91 (3.25)	2.05 (3.52)	0.14	3.38	1.69	[1.81; -0.09]	N	2.19 (3.44)	0.68 (9.97)	0.24	6.70	3.35	[3.56; -0.58]	N
Masseter (mm)	R-L	7.82 (8.12)	8.82 (7.54)	0.45	7.83	3.91	[3.20; -1.198]	Y	10.76 (8.80)	9.88 (9.38)	0.57	9.09	4.54	[3.45; -1.66]	Y

M = mean; L = left side; R = right side; LDM = longitudinal diameter; TDM = transverse diameter; Δ = delta; E = equivalence; Y = yes; N = no

<b>Supplement table 6.</b> Normal reference range of facial muscle proportional contractility index (%) for women and men								
		<b>Women</b>			<b>Men</b>			
<b>Muscle</b>	<b>Side</b>	<b>Mean ± SD</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>Mean ± SD</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>p</b>
Frontal (mm)	L/R	36.84 ± 20.64	122.96	8.05	46.28 ± 29.40	118.36	4.87	<b>0.030</b>
Orbicularis oculi (mm)	L/R	40.82 ± 27.38	119.33	-3.17	37.53 ± 27.86*	115.12	-26.54	0.481
	L	40.58 ± 33.55	162.5	-24.242	41.15 ± 36.88	162.222	-32.38	0.924
	R	41.12 ± 40.07	197.5	-11.215	33.90 ± 28.35	141.509	-27.27	0.093
Zygomaticus major, area (mm <sup>2</sup> )	L/R	78.33 ± 54.92	235.19	5.13	90.43 ± 57.11	310.75	-0.45	0.213
Zygomaticus major, LDM (mm)	L/R	23.96 ± 24.97	114.05	-14.40	29.69 ± 24.60	93.07	-20.05	0.183
Zygomaticus major, TDM (mm)	L/R	31.17 ± 29.17	125.37	-20.73	48.19 ± 38.00	150.05	-16.82	<b>0.004</b>
Depressor anguli oris, area (mm <sup>2</sup> )	L/R	41.73 ± 36.44	193.58	-23.44	28.21 ± 22.57	94.69	-7.92	<b>0.009</b>
Depressor anguli oris, LDM (mm)	L/R	5.79 ± 11.93	30.47	-22.83	2.52 ± 14.90	45.01	-43.29	0.155
Depressor anguli oris, TDM (mm)	L/R	21.65 ± 25.40	83.87	-32.71	18.56 ± 25.60	88.41	-32.45	0.474
Depressor labii inferioris, area (mm <sup>2</sup> )	L/R	24.83 ± 30.70	148.41	-22.53	25.27 ± 26.21	83.92	-32.97	0.929
Depressor labii inferioris, LDM (mm)	L/R	4.54 ± 14.22	41.76	-37.11	4.05 ± 16.70*	55.58	-39.75	0.853
Depressor labii inferioris, TDM (mm)	L/R	11.77 ± 18.21	78.30	-38.52	10.04 ± 32.45	101.69	-101.01	0.696
Orbicularis oris (mm)	L/R	47.91 ± 31.28	164.64	0.72	54.32 ± 30.40	162.29	1.11	0.221
Mentalis, area (mm <sup>2</sup> )	L/R	18.73 ± 33.82	126.41	-124.14	21.36 ± 27.04	104.80	-45.27	0.611
Mentalis, LDM (mm)	L/R	2.01 ± 14.78	42.92	-33.13	4.92 ± 13.28	36.93	-24.44	0.222
Mentalis, TDM (mm)	L/R	9.01 ± 19.15	70.83	-22.26	11.22 ± 24.11	76.10	-47.79	0.550
Temporal (mm) *	L	2.91 ± 3.25	14.77	-4.68	2.19 ± 3.44	13.00	-7.47	0.200
	R	2.05 ± 3.52	13.85	-4.87	0.68 ± 9.97	7.59	-78.23	0.280
Masseter (mm)	L/R	8.32 ± 6.23	25.11	-5.65	10.32 ± 6.83	31.33	0.71	0.073

LDM = longitudinal diameter; TDM = transverse diameter; L = left; R = right

## 4.6 Correlation between Elektromyography and Quantitative Ultrasonography of Facial Muscles in Patients with Facial Palsy

### CORRELATION BETWEEN ELECTROMYOGRAPHY AND QUANTITATIVE ULTRASONOGRAPHY OF FACIAL MUSCLES IN PATIENTS WITH FACIAL PALSY

GERD FABIAN VOLK, MD,<sup>1,2</sup> CHRISTIAN LEIER,<sup>1</sup> and ORLANDO GUNTINAS-LICHIUS, MD<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Otorhinolaryngology, Jena University Hospital, Lessingstrasse 2, D-07740 Jena, Germany

<sup>2</sup>Facial Nerve Center, Jena University Hospital, Jena, Germany

Accepted 5 October 2015

**ABSTRACT:** *Introduction:* In this study we correlated results of ultrasonographic muscle thickness and contractility with facial electromyography (EMG) in patients with unilateral peripheral acute or chronic facial palsy. *Methods:* Two hundred twenty measurements of 4 facial muscles (frontalis, orbicularis oculi, zygomaticus, and orbicularis oris) were performed in 44 patients. *Results:* Facial muscle thickness at rest and during muscle contraction correlated best with EMG insertional activity, and facial muscle contractility correlated with EMG voluntary activity. The correlation was much higher at >14 days after onset of facial palsy. The orbicularis oris, followed by the frontalis muscle, showed the best correlation between ultrasound and EMG. *Conclusions:* Quantitative ultrasound of facial muscles helps confirm the results of facial EMG and is of particular additional value in the first 14 days after onset when the reliability of EMG is low.

*Muscle Nerve* 000:000–000, 2015

Peripheral facial neuropathy is characterized by weakness of the affected mimetic muscles. Acute and chronic severe lesions can lead to Wallerian degeneration of the peripheral facial nerve distal to the lesion site with consequent atrophy of the mimetic muscles. If the facial nerve regenerates and the muscles are reinnervated, mimetic muscles will be functionally restored. In case of misdirected reinnervation and defective healing, the muscles can remain weakened or develop synkinesis. The only standard diagnostic tool to evaluate the mimetic muscles is facial electromyography (EMG). During muscle denervation, the degree of muscle atrophy can be predicted roughly by analysis of the insertional activity on needle EMG. EMG has a high prognostic value to estimate facial function outcome after acute facial palsy.<sup>1,2</sup> Furthermore, multichannel EMG can be used to quantitatively characterize involuntary synkinetic activity in patients with chronic facial palsy.<sup>3,4</sup>

Recently, quantitative muscle ultrasound has been applied as a new standardized tool to

measure facial muscle sizes and their echo intensity in healthy subjects and patients with facial palsy.<sup>5–8</sup>

In this study we report data on the correlation between standard needle EMG and ultrasonographic facial muscle thickness in patients with acute and chronic peripheral facial palsy in different stages of denervation and reinnervation.

#### METHODS

**Patients.** Forty-four patients with peripheral facial palsy were recruited between December 2011 and February 2013. This study was approved by the local ethics committee, and informed consent was obtained from all participants. Acute palsy and chronic palsy were defined as a peripheral facial palsy with duration of  $\leq 3$  months and  $> 3$  months, respectively. The measurement phase was defined clinically. If the patient reported not feeling facial movement on the affected side, this was termed the “denervation phase.” If the patient reported feeling return of facial movement, this was termed the “reinnervation phase.” Age, gender, body weight, height, body mass index (BMI), and handedness of all subjects were recorded. Patients’ charts were evaluated for the origin of facial palsy, types of reconstructive surgery, and facial nerve grading using the House–Brackmann facial grading system and the Stennert index.<sup>9,10</sup> The House–Brackmann grading system judges facial function in 6 categories (grade I = normal function in all facial areas up to grade VI = complete paralysis plus gross asymmetry at rest). The Stennert index classifies the face at rest (0–4 points; 0 = normal to 4 = complete loss of resting tone) and during motion (0–6 points; 0 = normal to 6 = no motion) separately.

**EMG of Facial Muscles.** Standard needle EMG was performed (Synergy T5; Viasys, CareFusion, San Diego, California) on the paretic side, as described elsewhere.<sup>1,2</sup> Four mimetic muscles were examined: frontalis; orbicularis oculi; orbicularis oris; and zygomaticus major. The following characteristics were evaluated: (a) insertional activity (none, reduced, normal, increased); (b) pathological spontaneous activity (yes, no); (c) voluntary activity (none, single fiber activity, reduced, normal); and

Additional Supporting Information may be found in the online version of this article.

**Abbreviations:** BMI, body mass index; EMG, electromyography  
**Key words:** electromyography; electrophysiology; facial muscles; facial nerve; facial palsy; mimetic muscles; quantitative ultrasound  
**Correspondence to:** O. Guntinas-Lichius; e-mail: orlando.guntinas@med.uni-jena.de

© 2015 Wiley Periodicals, Inc.  
Published online 00 Month 2015 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI 10.1002/mus.24931

**Table 1.** Patient and facial palsy characteristics (N = 44).

Parameter	Absolute number	Relative number (%)
Gender		
Women	21	48
Men	23	52
Type of facial palsy		
Acute	20	46
Chronic	24	55
Without nerve reconstruction	14	32
With nerve reconstruction	10	23
Defective healing	12	27
Number of measurements per patient*		
1	44	80
2	10	18
3	1	2
Measurement interval to onset (55 measurements)		
≤ 14 days after onset	21	38
> 14 days after onset	34	62
Measurement phase (55 measurements)		
Denervation phase	33	60
Regeneration phase	22	40
House-Brackmann		
Grade II	7	16
Grade III	11	25
Grade IV	18	41
Grade V	8	18
	Mean ± SD	Range (median)
Age (years)	54 ± 20	21–86 (58)
Height (m)	1.71 ± 0.1	1.72 (1.50–1.90)
Weight (kg)	78.5 ± 17.4	80 (54–134)
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	26.6 ± 4.6	26 (21–37)
Stennert index (at rest)	2.2 ± 1.3	0–4 (2.5)
Stennert index (motility)	4.8 ± 1.5	1–6 (6)
Interval of onset to any measurement (days)	1,409 ± 4,236	1–25,764 (154)
Interval of onset to first measurement (days)	1,665 ± 4,740	1–25,764 (128.5)
Interval of onset to second measurement (days)	389 ± 438	41–1329 (197)
Interval of onset to third measurement (days)	308	
Interval of onset to first measurement, acute palsy (days)	6 ± 4	1–14 (4.5)
Interval of onset to first measurement, chronic palsy (days)	3,049 ± 6,133	3–25,764 (763)
Interval of onset to first measurement, chronic palsy without reconstruction (days)	4,586 ± 7,765	3–25,764 (867)
Interval of onset to first measurement, acute palsy or chronic palsy without reconstruction (days)	1,891 ± 5,384	1–25,764 (8.5)
Interval of onset to facial reconstruction (days)	260 ± 274	0–854 (203)
Interval of facial reconstruction to first measurement (days)	573 ± 285	90–1,026 (595)

\*Each measurement consists of a pair of EMG and ultrasonography measurements.

(d) motor unit potential morphology (none, reduced amplitude, polyphasic, normal). In addition, synkinetic activity during voluntary EMG was recorded if present (yes, no).

**Ultrasonographic Examination of Facial Muscles.** All ultrasonography measurements were performed using a diagnostic ultrasound system (HD11 XE; Philips, Amsterdam, The Netherlands). Details of the ultrasonographic examination of the frontalis, orbicularis oculi, and orbicularis oris muscles were described previously.<sup>6–8</sup> Quantitative ultrasonography

of the zygomaticus major muscle was established by other investigators.<sup>5</sup> Briefly, ultrasonography scans were made of the same 4 mimetic muscles as during the EMG examinations, but on both sides. All ultrasound images were stored as video sequences in the original resolution in DICOM format. The duration of each video was 10.06 seconds, consisting of 331 single pictures. Three separate measurements were made for each muscle. Cross-sectional muscle thickness was estimated using quantification software (QLAB; Philips). The first image of each video sequence showed the muscle

at rest. This image was used to measure the muscle at rest. Maximal muscle thickness was determined orthogonal to the muscle fiber orientation, measured in millimeters. Muscle contractility was calculated from the measurement at rest and during contraction as follows:  $\text{contractility} = [(\text{contraction} / \text{rest}) \times 100] - 100$ . The results of 3 separate measurements were averaged for each muscle to minimize variation.<sup>5,11</sup>

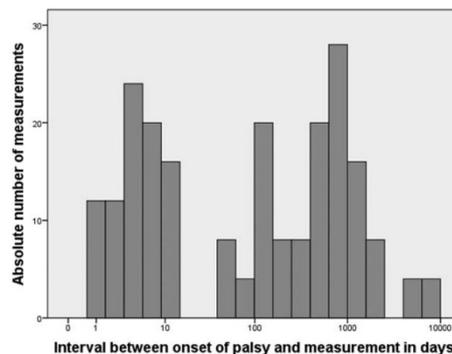
**Statistics.** All statistical analyses were performed using IBM SPSS (version 22.0.0). If not otherwise indicated, data are presented as mean  $\pm$  standard deviation (SD). The non-parametric Wilcoxon test was applied to analyze differences between the affected side and the contralateral side. The non-parametric Mann-Whitney *U*-test was used to analyze the influence of clinical parameters on muscle measurements. Pearson correlation coefficients were calculated to measure the strength of association of 2 parameters. Significant associations ( $P < 0.05$ ) were included into multivariate binary logistic regression models with stepwise entry for the analysis of potential independent predictors of facial muscle thickness and contractility. Nominal *P*-values of 2-tailed tests are reported. The significance level was set at  $P < 0.05$ .

## RESULTS

**Patient Characteristics.** The study sample consisted of 21 women and 23 men (Table 1). Average age was  $54 \pm 20$  years (median 58, range 21–86 years). BMI was  $26.6 \pm 4.6 \text{ kg/m}^2$  (median 26, range 21–37  $\text{kg/m}^2$ ). Twenty patients presented with an acute facial palsy, and 24 had chronic facial palsy. Of this group, 10 had already undergone facial nerve reconstruction surgery. The average interval between onset of the palsy and study measurements was  $47 \pm 141$  months (median 5, range 0.03–859 months). There were 2 peaks; most measurements were performed between 1 and 10 days after onset of acute facial palsy or about 1,000–1,100 days (about 2–3 years) after onset in patients with chronic facial palsy (Fig. 1). Thirty-three patients were examined in a clinical denervation phase, and 22 were examined during a clinical reinnervation phase. Twenty-six patients had a House-Brackmann grade of IV or V. The Stennert index at rest was  $2.2 \pm 1.3$  (median 2.5, range 0–4). Stennert index during facial movements was  $4.8 \pm 1.5$  (median 6, range 1–6).

### Ultrasonography of Facial Muscles and Facial

**EMG.** An overview of the results of muscle thickness measurements at rest, during muscle contraction, and muscle contractility are presented in Table 2. Muscle thickness and contractility were significantly lower on the paretic side compared



**FIGURE 1.** Histogram shows the absolute number of measurements over the time after onset of the facial palsy. The logarithmic ( $\log_{10}$ ) x-axis shows the interval between onset and the time-point of each pair of electromyography and ultrasonography measurements. Most measurements were performed in the first 10 days after onset in patients with acute palsy or at around 2–3 years after onset in patients with chronic facial palsy.

with the contralateral side for nearly all mimetic muscles. Table 3 summarizes the results of the EMG examinations. Alterations in insertional activity, that is, reduced EMG insertional activity, were only found in patients with chronic palsy or measurements  $>14$  days after onset. Overall, detection of pathological spontaneous activity in mimetic muscles was a rare event, even in measurements  $>14$  days after onset, and spontaneous activity was detected in only 2% of the measurements.

### Correlation between Ultrasonography and EMG of

**Facial Muscles.** Results of the correlation analyses between EMG examination and ultrasonographic facial muscle examination at rest, during contraction, and contractility are shown in Supplementary Tables S1–S3 (available online). The ultrasonographic muscle examinations at rest showed some significant associations with the EMG results (see Table S1 online), but not in all examined muscles, and not homogeneously for all EMG parameters. When EMG was performed within 14 days after onset, no significant correlation was seen. During the clinical denervation phase, examination of the orbicularis oculi muscle showed the best correlation with EMG results. Here, more insertional activity, no pathological spontaneous activity, more voluntary activity, and normal motor unit morphology were all correlated with greater muscle thickness (all  $P < 0.05$ ). When measurements were performed  $>14$  days after onset, EMG insertional activity correlated best of all EMG parameters with muscle thickness.

**Table 2.** Comparison of facial muscle ultrasonography on paretic vs. contralateral side (N = 44)

Patients	Muscle	Paretic side	Contralateral side	P
Thickness at rest (mm)	All muscles	2.40 ± 1.84	2.62 ± 1.86	<b>0.003</b>
	Frontalis	2.03 ± 0.66	2.21 ± 0.64	<b>0.014</b>
	Orbicularis oculi	0.79 ± 0.35	0.85 ± 0.23	0.095
	Orbicularis oris	2.57 ± 0.70	2.70 ± 0.64	0.111
	Zygomaticus major	4.65 ± 2.48	5.13 ± 2.19	0.390
Thickness during contraction (mm)	All muscles	3.04 ± 2.14	4.11 ± 2.73	<b>&lt;0.0001</b>
	Frontalis	2.60 ± 0.96	3.52 ± 0.94	<b>&lt;0.0001</b>
	Orbicularis oculi	1.04 ± 0.44	1.27 ± 0.27	<b>&lt;0.0001</b>
	Orbicularis oris	3.44 ± 0.86	4.57 ± 1.02	<b>&lt;0.0001</b>
	Zygomaticus major	5.53 ± 2.81	7.70 ± 2.99	<b>&lt;0.0001</b>
Contractility (%)	All muscles	31.69 ± 31.68	62.73 ± 47.95	<b>&lt;0.0001</b>
	Frontalis	28.34 ± 26.47	64.76 ± 49.08	<b>&lt;0.0001</b>
	Orbicularis oculi	38.24 ± 36.66	54.24 ± 31.18	<b>0.008</b>
	Orbicularis oris	36.98 ± 29.88	74.28 ± 43.12	<b>&lt;0.0001</b>
	Zygomaticus major	20.01 ± 30.47	56.59 ± 64.44	<b>0.002</b>

Statistically significant P-values indicated in bold.

The ultrasonographic muscle examinations during muscle contraction showed some significant associations with the EMG results, but differed

from the results of examinations at rest (see Table S2 online). Muscle thickness during contraction correlated positively with the EMG parameters of

**Table 3.** Overview of the EMG examinations

Patients and number of measurements (M)*	IA	PSA	VA	MUM <sup>‡</sup>				
All patients (N = 220 M)	None	8	No	204	None	62	No MUP	55
	Reduced	21	Yes	3	Single fiber	71	Reduced MUP	3
	Normal	191	Missing	0	Reduced	68	Polyphasic MUP	19
	Increased	0			Normal	4	Normal MUP	142
	Missing <sup>†</sup>	0			Missing	15	Missing	1
Acute palsy (N = 100 M)	None	0	No	93	None	14	No MUP	12
	Reduced	0	Yes	0	Single fiber	38	Reduced MUP	2
	Normal	100	Missing	7	Reduced	40	Polyphasic MUP	0
	Increased	0			Normal	0	Normal MUP	85
	Missing	0			Missing	8	Missing	1
Chronic palsy/without reconstruction (N = 68 M)	None	8	No	60	None	29	No MUP	28
	Reduced	12	Yes	3	Single fiber	19	Reduced MUP	1
	Normal	48	Missing	5	Reduced	10	Polyphasic MUP	6
	Increased	0			Normal	4	Normal MUP	33
	Missing	0			Missing	6	Missing	0
Chronic palsy / with reconstruction (N = 52 M)	None	0	No	51	None	19	No MUP	15
	Reduced	9	Yes	0	Single fiber	14	Reduced MUP	0
	Normal	43	Missing	1	Reduced	18	Polyphasic MUP	13
	Increased	0			Normal	0	Normal MUP	24
	Missing	0			Missing	1	Missing	0
Measurement ≤14 days after onset (N = 84 M)	None	0	No	77	None	17	No MUP	15
	Reduced	0	Yes	0	Single fiber	28	Reduced MUP	1
	Normal	84	Missing	7	Reduced	31	Polyphasic MUP	0
	Increased	0			Normal	0	Normal MUP	67
	Missing	0			Missing	8	Missing	1
Measurement >14 days after onset (N = 136 M)	None	8	No	127	None	45	No MUP	40
	Reduced	21	Yes	3	Single fiber	43	Reduced MUP	2
	Normal	107	Missing	6	Reduced	37	Polyphasic MUP	19
	Increased	0			Normal	4	Normal MUP	75
	Missing	0			Missing	7	Missing	0

IA, insertional activity; PSA, pathological spontaneous activity; VA, voluntary activity; MUM, motor unit morphology.

\*All muscles considered together; M indicates the individual number of measurements.

<sup>†</sup>EMG recordings could not be analyzed for this parameter due to poor data quality.

<sup>‡</sup>Motor unit potential (MUP) morphology: reduced MU – reduced amplitude of the MU.

**Table 4.** Correlation between ultrasonographic facial muscle measurements and baseline parameters

Parameter	US thickness at rest		US thickness during contraction		US contractility	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
Gender (1 = man / 2 = woman)	-0.012	0.869	-0.032	0.650	-0.040	0.570
Age	-0.130	0.062	-0.142	<b>0.041</b>	0.001	0.988
Height	-0.090	0.195	-0.086	0.215	0.075	0.281
Weight	-0.088	0.207	-0.086	0.219	0.077	0.268
BMI	-0.093	0.183	-0.088	0.207	0.079	0.257
1 = denervation / 2 = reinnervation	-0.025	0.723	0.008	0.910	0.066	0.348
1 = acute palsy / 2 = chronic palsy	-0.095	0.175	-0.105	0.132	-0.075	0.280
Interval onset measurement	-0.100	0.151	-0.071	0.311	0.032	0.645
1 = ≤14 days / 2 = >14 days	-0.112	0.109	-0.068	0.331	0.044	0.524
Stennert index at rest	-0.157	<b>0.024</b>	-0.177	<b>0.011</b>	-0.024	0.735
Stennert index at motion	-0.107	0.127	-0.152	<b>0.029</b>	-0.065	0.353
House-Brackmann	-0.053	0.445	-0.097	0.164	-0.072	0.302

Statistically significant *P*-values indicated in bold. US, ultrasonography.

voluntary activity and motor unit morphology. Again, the orbicularis oculi muscle showed the best correlation between sonography and EMG ( $P < 0.05$ , respectively). The same held true for ultrasonographic muscle contractility (see Table S3 online), with the difference that the frontalis muscle was most appropriate.

Concerning the correlation with other parameters beyond EMG (Table 4), the Stennert index at rest was the only factor negatively correlated with muscle thickness at rest ( $P = 0.024$ ). Age and Stennert index at rest and during motion were negatively correlated with muscle thickness during contraction ( $P = 0.041$ ,  $P = 0.011$ , and  $P = 0.029$ , respectively). No other factor beyond EMG was significantly correlated with muscle contractility (all  $P > 0.05$ ). Finally, multivariate analysis showed that the result of EMG insertional activity measurement was the only independent correlating factor for facial muscle thickness at rest and for thickness

during muscle contraction (Table 5). Finally, EMG voluntary activity was the only independent predictor for facial muscle contractility.

#### DISCUSSION

Electrophysiologic examinations of patients with facial palsy in clinical practice are mainly restricted to the facial muscles due to the difficult access and short distances of the peripheral facial nerve. At present, needle EMG is the most reliable prognostic method for the outcome of acute facial palsy and the best method to describe the condition of the facial muscles in acute and chronic facial palsy.<sup>1-3</sup>

Our study confirms recent findings showing that quantitative ultrasonography can detect the decrease and re-increase of facial muscle thickness after facial nerve lesion and reinnervation, respectively.<sup>7,12</sup> Studies of other muscles affected by a neural disease combining ultrasound and EMG are

**Table 5.** Linear regression analysis for independent predictors of ultrasonographic facial muscle characteristics

Measure	$\beta$	95% CI lower	95% CI upper	Standardized $\beta$	<i>P</i>
Facial muscle thickness at rest ( $R^2 = 0.226$ , $P = 0.005$ )					
Stennert index at rest	-0.140	-0.342	0.063	-0.099	0.176
EMG insertional activity	0.669	0.116	1.222	0.173	<b>0.018</b>
Facial muscle thickness during contraction ( $R^2 = 0.064$ , $P = 0.009$ )					
Age	-0.010	-0.027	0.008	-0.086	0.297
Stennert index at rest	-0.069	-0.436	0.298	-0.042	0.712
Stennert index during motion	-0.050	-0.336	0.236	-0.035	0.731
EMG insertion activity	0.829	0.181	1.478	0.184	<b>0.012</b>
Facial muscle contractility ( $R^2 = 0.048$ , $P = 0.009$ )					
EMG voluntary activity	19.312	6.101	32.523	0.606	<b>0.005</b>
EMG morphology	-3.043	-9.157	3.070	-0.206	0.322

Statistically significant *P*-values indicated in bold.

quite rare. This diagnostic combination has been used mainly to study muscle volume changes and fascicle lengths during isometric contraction of limb muscles to obtain fundamental knowledge of muscle biomechanics.<sup>13,14</sup> Combination studies in patients are much less frequent and relatively new. EMG has been used to confirm that sonographic muscle contractility is a reliable parameter to evaluate muscles in phrenic neuropathy or in patients with amyotrophic lateral sclerosis or stroke.<sup>15–17</sup>

A strength of facial muscle ultrasonography is that it allows for static and dynamic analysis of facial muscles. This is advantageous because the face at rest and during mimetic movements can be examined separately in the clinical routine. The information at rest and during movement can deviate (e.g., normal tone at rest but no mimic movement during the early phase of acute palsy). Furthermore, the requirements and surgical tools are different when the aim is to restore facial tone as compared with re-animating facial movements. This clear separation between ultrasound examination at rest and during muscle contraction is not only similar to the EMG setting (investigation of insertional activity and pathological spontaneous activity at rest vs. examination of voluntary activity and motor unit morphology during movement), but it also can explain why ultrasound results correlate better with a clinical grading system that strictly separates evaluation of the face at rest from evaluation during movements (Stennert index) compared with a grading system that does not make such a separation (House–Brackmann scale). Furthermore, it has been shown recently for the hemidiaphragm that ultrasonographic muscle contractility is a reliable parameter for diagnosis of neuromuscular diaphragm dysfunction.<sup>15</sup> The derived contractility parameter seems to have been a reliable factor for describing facial muscle function in the present study, especially in chronic facial palsy. Nevertheless, the correlation analyses between contractility and EMG voluntary activity were more robust in some facial muscles than in others. This may have been related to the different internal architecture of the various facial muscles. The biceps muscle, for example, is a fusiform muscle that thickens rather dramatically with contraction. In contrast, the tibialis anterior muscle, a bipennate muscle, shows much less thickening. Such biomechanical investigations have not yet been performed for mimetic muscles.

We identified a good correlation between EMG results and quantitative ultrasonography of facial muscles in patients with facial palsy. An important prerequisite is that several muscles can be observed and that the muscles can be examined at rest and during contraction. Restricting examination to

1 muscle does not produce a meaningful picture. It was essential to include measurements during contraction, especially for determination of facial muscle function. This has recently also been shown for trunk muscles.<sup>18</sup>

Ultrasonography of facial muscles affected by facial neuropathy may close the diagnostic gap in the first 14 days after onset when EMG does not unfold its full potential, as degenerative changes do not reach the target muscles before 10–14 days after onset.<sup>2,19</sup> Neuropathy seems to lead to rapid changes in ultrasonographic muscle parameters. This has also recently been shown for patients with severe sepsis and critical illness polyneuropathy and myopathy. Ultrasonographic muscle changes were obvious by 4 days after onset of sepsis.<sup>20</sup> In our study, facial muscle thickness during contraction (but not at rest) and contractility were already significantly lower on the palsy side  $\leq 7$  days after onset ( $P < 0.0001$ , data not shown).

For the next step, it would be worthwhile to analyze the sensitivity and specificity of facial muscle ultrasound to diagnose neuromuscular dysfunction of the mimetic muscles using EMG results and clinical data as reference standards both without and with review of ultrasound findings.<sup>15</sup>

This study has several limitations. To examine the correlation even more accurately it would be necessary to perform the EMG measurements synchronously during the ultrasound examination as has been done in limb muscles.<sup>14</sup> As of now, this has not been done in facial muscles. Furthermore, as we performed most measurements in the early acute phase of facial palsy, within the first 2 weeks, or late, after 2–3 years of chronic facial palsy, there was a measurement gap between 14 days and 6 months after onset. In the case of a degenerative facial nerve lesion, pathological spontaneous activity could have been expected during this time period.<sup>1,2</sup> We examined an inhomogeneous group of patients with acute or chronic facial palsy. We did not find pathological spontaneous activity in many measurements, and the pathological spontaneous activity did not play an important role in relation to the ultrasound measurement. Therefore, we may have underestimated the role of pathological spontaneous activity as it correlated with facial ultrasonography. The lack of measurements during the phase when pathological spontaneous activity appeared may explain why we did not observe muscle fasciculations directly via sonography, as shown in larger muscles.<sup>16</sup> Finally, we did not include quantitative EMG findings, such as mean rectified voltage or quantitative electroneurography data (i.e., amplitudes of compound muscle action potentials). This may be a task for future studies.

In conclusion, we recommend adding quantitative facial ultrasonography to the available clinical tests for patients with acute and chronic facial palsy. The minimally invasive nature, easy access, cost-effectiveness, and reproducibility of ultrasonography make it an ideal tool to examine facial muscles at rest and during contraction. Both approaches allow for determination of facial muscle contractility as a functional parameter.

#### REFERENCES

- Grosheva M, Wittekindt C, Guntinas-Lichius O. Prognostic value of electroneurography and electromyography in facial palsy. *Laryngoscope* 2008;118:394-397.
- Volk GF, Klingner C, Finkensieper M, Witte OW, Guntinas-Lichius O. Prognostication of recovery time after acute peripheral facial palsy: a prospective cohort study. *BMJ Open* 2013;3.
- Guntinas-Lichius O, Streppel M, Stennert E. Postoperative functional evaluation of different reanimation techniques for facial nerve repair. *Am J Surg* 2006;191:61-67.
- Volk GF, Pantel M, Guntinas-Lichius O. Modern concepts in facial nerve reconstruction. *Head Face Med* 2011;6:25.
- Alfen NV, Gilhuis HJ, Keijzers JP, Pillen S, van Dijk JP. Quantitative facial muscle ultrasound: feasibility and reproducibility. *Muscle Nerve* 2013;48:375-380.
- Volk GF, Wüsteb N, Pohlmann M, Finkensieper M, Chalmers HJ, Guntinas-Lichius O. Quantitative ultrasonography of facial muscles. *Muscle Nerve* 2013;47:878-883.
- Volk GF, Pohlmann M, Sauer M, Finkensieper M, Guntinas-Lichius O. Quantitative ultrasonography of facial muscles in patients with chronic facial palsy. *Muscle Nerve* 2014;50:358-365.
- Volk GF, Sauer M, Pohlmann M, Guntinas-Lichius O. Reference values for dynamic facial muscle ultrasonography in adults. *Muscle Nerve* 2014;50:348-357.
- Stennert E, Limberg CH, Frentrup KP. An index for paresis and defective healing—an easily applied method for objectively determining therapeutic results in facial paresis (author's transl) [in German]. *HNO* 1977;25:238-245.
- House JW, Brackmann DE. Facial nerve grading system. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1985;93:146-147.
- Scholten RR, Pillen S, Verrips A, Zwarts MJ. Quantitative ultrasonography of skeletal muscles in children: normal values. *Muscle Nerve* 2003;27:693-698.
- Volk GF, Pohlmann M, Finkensieper M, Chalmers HJ, Guntinas-Lichius O. 3D-Ultrasonography for evaluation of facial muscles in patients with chronic facial palsy or defective healing: a pilot study. *BMC Ear Nose Throat Dis* 2014;14:4.
- Hodges PW, Pengel LH, Herbert RD, Gandevia SC. Measurement of muscle contraction with ultrasound imaging. *Muscle Nerve* 2003;27:682-692.
- Simoneau EM, Longo S, Seynes OR, Narici MV. Human muscle fascicle behavior in agonist and antagonist isometric contractions. *Muscle Nerve* 2012;45:92-99.
- Boon AJ, Sekiguchi H, Harper CJ, Strommen JA, Ghahfarokhi LS, Watson JC, et al. Sensitivity and specificity of diagnostic ultrasound in the diagnosis of phrenic neuropathy. *Neurology* 2014;83:1264-1270.
- Grimm A, Prell T, Decard BF, Schumacher U, Witte OW, Axer H, et al. Muscle ultrasonography as an additional diagnostic tool for the diagnosis of amyotrophic lateral sclerosis. *Clin Neurophysiol* 2015;126:820-827.
- Picelli A, Tamburin S, Cavazza S, Scamporrì C, Manca M, Cosma M, et al. Relationship between ultrasonographic, electromyographic, and clinical parameters in adult stroke patients with spastic equinus: an observational study. *Arch Phys Med Rehabil* 2014;95:1564-1570.
- Kim CY, Choi JD, Kim SY, Oh DW, Kim JK, Park JW. Comparison between muscle activation measured by electromyography and muscle thickness measured using ultrasonography for effective muscle assessment. *J Electromyogr Kinesiol* 2014;24:614-620.
- Guntinas-Lichius O. The facial nerve in the presence of a head and neck neoplasm: assessment and outcome after surgical management. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 2004;12:133-141.
- Grimm A, Teschner U, Porzelius C, Ludewig K, Zielske J, Witte OW, et al. Muscle ultrasound for early assessment of critical illness neuropathy in severe sepsis. *Crit Care* 2013;17:R227.

## Supplementary material

**Table S1.** Correlation between ultrasonography of the muscle thickness at rest to EMG parameters on the facial palsy side (N=44)

		EMG IA		EMG PSA		EMG VA		EMG MUM	
	Muscle	r	P	r	P	r	P	r	P
All patients	All	0.206	<b>0.003</b>	0.044	0.539	0.034	0.635	0.155	<b>0.026</b>
	FRO	0.149	0.276	0.017	0.905	-0.494	0.494	-0.007	0.958
	OOC	0.328	<b>0.016</b>	-0.307	<b>0.024</b>	0.342	<b>0.011</b>	0.233	0.090
	OOR	0.079	0.572	NA	NA	0.052	0.710	0.230	0.098
	ZYG	0.608	<b>&lt;0.001</b>	0.140	0.422	0.353	0.038	0.385	<b>0.010</b>
	Denervation phase	All	0.237	<b>0.009</b>	0.048	0.612	0.021	0.821	0.165
FRO	0.122	0.499	0.020	0.914	-0.059	0.753	-0.005	0.979	
OOC	0.380	<b>0.032</b>	-0.363	<b>0.041</b>	0.460	<b>0.008</b>	0.385	<b>0.030</b>	
OOR	0.201	0.270	NA	NA	0.287	0.118	0.376	<b>0.037</b>	
ZYG	0.675	<b>&lt;0.001</b>	0.150	0.527	0.353	0.127	0.443	<b>0.030</b>	
Reinnervation phase	All	0.181	0.095	NA	NA	0.108	0.336	0.177	0.103
	FRO	0.255	0.253	NA	NA	-0.209	0.351	-0.013	0.955
	OOC	0.301	0.174	NA	NA	0.055	0.808	-0.150	0.506
	OOR	0.068	0.765	NA	NA	-0.169	0.452	0.069	0.762
	ZYG	0.589	<b>0.006</b>	NA	NA	0.644	<b>0.007</b>	0.442	0.051
Measurement ≤14 days after	All	NA	NA	NA	NA	-0.166	0.166	0.065	0.577
	FRO	NA	NA	NA	NA	-0.428	0.060	-0.326	0.149
	OOC	NA	NA	NA	NA	0.337	0.135	0.091	0.696
	OOR	NA	NA	NA	NA	0.169	0.476	0.257	0.274
	ZYG	NA	NA	NA	NA	0.112	0.759	0.233	0.443
Measurement >14 days after	All	0.252	<b>0.004</b>	0.077	0.395	0.144	0.111	0.184	<b>0.036</b>
	FRO	0.170	0.338	0.035	0.845	0.074	0.683	0.143	0.420
	OOC	0.314	0.075	<b>-0.376</b>	<b>0.031</b>	0.266	0.134	0.213	0.233
	OOR	-0.077	0.670	NA	NA	-0.025	0.889	0.136	0.451
	ZYG	0.734	<b>&lt;0.001</b>	0.248	0.231	0.503	<b>0.010</b>	0.406	<b>0.024</b>

Statistically significant P-values indicated in bold. IA=insertion activity; PSA=pathological spontaneous activity; VA=voluntary activity; MUM=motor unit morphology; FRO=frontalis; OOC=orbicularis oculi; OOR=orbicularis oris; ZYG=zygomatic major

**Table S2.** Correlation between ultrasonography of the muscle thickness at contraction to EMG parameters on the facial palsy side (N=44)

		EMG IA		EMG PSA		EMG VA		EMG MUM	
	Muscle	r	P	r	P	r	P	r	P
All patients	All	0.215	<b>0.002</b>	0.005	0.984	0.112	0.120	0.205	<b>0.003</b>
	FRO	0.216	0.113	-0.056	0.688	0.131	0.351	0.112	0.417
	OOC	0.232	0.092	-0.332	<b>0.014</b>	0.313	<b>0.021</b>	0.315	<b>0.020</b>
	OOR	0.091	0.513	NA	NA	0.191	0.171	0.319	<b>0.020</b>
	ZYG	0.624	<b>&lt;0.0001</b>	0.082	0.638	0.500	<b>0.002</b>	0.471	<b>0.001</b>
Denervation phase	All	0.246	<b>0.007</b>	0.007	0.937	0.094	0.320	0.227	<b>0.013</b>
	FRO	0.188	0.295	-0.074	0.686	0.224	0.225	0.147	0.414
	OOC	0.297	0.099	-0.399	<b>0.024</b>	0.418	<b>0.017</b>	<b>0.423</b>	<b>0.016</b>
	OOR	0.158	0.387	NA	NA	0.428	<b>0.016</b>	0.517	<b>0.003</b>
	ZYG	0.714	<b>&lt;0.0001</b>	0.126	0.596	0.422	0.064	0.536	<b>0.007</b>
Reinnervation phase	All	0.195	0.072	NA	NA	0.152	0.175	0.188	0.083
	FRO	0.381	0.080	NA	NA	-0.060	0.792	0.103	0.647
	OOC	0.068	0.763	NA	NA	0.078	0.729	0.104	0.646
	OOR	0.115	0.612	NA	NA	-0.091	0.688	0.025	0.913
	ZYG	0.528	<b>0.017</b>	NA	NA	0.676	0.006	0.432	0.057
Measurement $\leq$ 14 days after	All	NA	NA	NA	NA	-0.125	0.300	0.136	0.244
	FRO	NA	NA	NA	NA	-0.212	0.370	-0.232	0.311
	OOC	NA	NA	NA	NA	0.377	0.092	0.233	0.322
	OOR	NA	NA	NA	NA	0.234	0.321	0.454	<b>0.044</b>
	ZYG	NA	NA	NA	NA	0.220	0.542	0.451	0.122
Measurement $>$ 14 days after	All	0.260	<b>0.003</b>	0.012	0.896	0.220	<b>0.014</b>	0.229	<b>0.009</b>
	FRO	0.227	0.196	-0.053	0.764	0.268	0.132	0.231	0.189
	OOC	0.166	0.355	-0.369	0.034	0.215	0.230	0.281	0.114
	OOR	0.041	0.820	NA	NA	0.175	0.330	0.214	0.231
	ZYG	0.715	<b>&lt;0.0001</b>	0.118	0.573	<b>0.595</b>	<b>0.002</b>	0.451	<b>0.011</b>

Statistically significant P-values indicated in bold. IA=insertion activity; PSA=pathological spontaneous activity; VA=voluntary activity; MUM=motor unit morphology; FRO=frontalis; OOC=orbicularis oculi; OOR=orbicularis oris; ZYG=zygomatic major

**Table S3.** Correlation between ultrasonographical muscle contractility to EMG parameters on the facial palsy side (N=44)

		EMG IA		EMG PSA		EMG VA		EMG MUM	
	Muscle	r	P	r	P	r	P	r	P
All patients	All	0.015	0.827	-0.116	0.105	0.212	<b>0.003</b>	0.185	<b>0.008</b>
	FRO	0.200	0.143	-0.121	0.382	0.442	<b>0.001</b>	0.281	<b>0.038</b>
	OOC	-0.261	0.057	-0.145	0.297	-0.031	0.823	0.163	0.237
	OOR	0.037	0.791	NA	NA	0.204	0.143	0.126	0.370
	ZYG	0.144	0.353	-0.097	0.579	0.304	0.076	0.190	0.216
Denervation phase	All	-0.003	0.971	-0.139	0.137	0.207	<b>0.027</b>	0.199	<b>0.029</b>
	FRO	0.174	0.333	-0.152	0.406	0.555	<b>0.001</b>	0.344	<b>0.050</b>
	OOC	-0.249	0.169	-0.175	0.337	-0.060	0.743	0.107	0.561
	OOR	-0.054	0.770	NA	NA	0.119	0.525	0.151	0.417
	ZYG	0.132	0.539	-0.104	0.662	0.062	0.795	0.173	0.419
Reinnervation phase	All	0.017	0.874	NA	NA	0.173	0.122	0.130	0.231
	FRO	0.429	<b>0.046</b>	NA	NA	0.255	0.252	0.269	0.226
	OOC	-0.524	<b>0.012</b>	NA	NA	-0.003	0.991	0.275	0.216
	OOR	0.088	0.697	NA	NA	0.207	0.356	0.007	0.974
	ZYG	0.167	0.482	NA	NA	0.345	0.208	0.192	0.419
Measurement ≤14 days after	All	NA	NA	NA	NA	0.209	0.080	0.196	0.092
	FRO	NA	NA	NA	NA	0.394	0.085	0.151	0.515
	OOC	NA	NA	NA	NA	0.033	0.887	0.218	0.342
	OOR	NA	NA	NA	NA	0.037	0.878	0.201	0.396
	ZYG	NA	NA	NA	NA	0.297	0.405	0.307	0.307
Measurement >14 days after	All	0.038	0.668	-0.157	0.080	0.230	<b>0.010</b>	0.202	<b>0.021</b>
	FRO	0.229	0.192	-0.158	0.372	0.473	<b>0.005</b>	0.328	0.058
	OOC	-0.329	0.061	-0.187	0.298	-0.055	0.760	0.152	0.399
	OOR	0.157	0.383	NA	NA	0.317	0.073	0.156	0.387
	ZYG	0.232	0.208	-0.151	0.472	0.317	0.12	0.196	0.290

Statistically significant P-values indicated in bold. IA=insertion activity; PSA=pathological spontaneous activity; VA=voluntary activity; MUM=motor unit morphology; FRO=frontalis; OOC=orbicularis oculi; OOR=orbicularis oris; ZYG=zygomatic major

## 5. Zusammenfassung

Im Folgenden werden die Ergebnisse und Kernaussagen der sechs Veröffentlichungen dieser publikationsbasierten Habilitation in derselben Reihenfolge zusammengefasst, wie sie hier abgedruckt, aber auch wie sie in wissenschaftlichen englischsprachigen Journalen erschienen sind.

### 5.1 *Quantitative ultrasonography of facial muscles*

In dem Artikel „*Quantitative ultrasonography of facial muscles*“, der 2013 in der Zeitschrift „*Muscle & Nerve*“ erschienen ist, beschrieben wir erstmals detailliert die Verwendung von Landmarken zur standardisierten Vermessung von sechs mimischen Muskeln (M. frontalis, M. orbicularis oculi, M. orbicularis oris, M. depressor anguli oris, M. depressor labii inferior und M. mentalis). Damit konnte die bereits 1988 von Balogh et al. ausgesprochene Ankündigung einer Standardisierung und Bereitstellung von quantitativen Daten der mimischen Muskeln nach 25 Jahren erfüllt werden (Balogh et al. 1988b, Frühwald 1988).

In diesem Artikel veröffentlichten wir die ersten orientierenden Referenzwerte der Muskeln von 40 gesunden Probanden (20 Frauen). Aufgrund der komplexen und variablen geometrischen Form einiger mimischer Muskeln wurden nicht nur der Durchmesser angegeben, sondern auch die aussagestärkere und robustere Querschnittsfläche. Zur Quantifizierung der Übereinstimmung von Wiederholungsmessungen wurden erstmals Intra-Klassen-Korrelationen (ICC) berechnet, basierend auf 10 Wiederholungsmessungen an verschiedenen Tagen bei drei Probanden. Die besten ICC zeigte mit 0,93 ( $n = 10$ ;  $P < 0,001$ ) der rechte M. mentalis und mit 0,83 ( $P < 0,001$ ) der linke M. mentalis. Am schlechtesten waren der M. orbicularis oculi rechts mit 0,40 ( $P = 0,002$ ) und der M. depressor labii inferior links mit 0,33 ( $P = 0,007$ ).

Geschlechts- und Alterseffekte betrafen die untersuchten mimischen Muskeln bedeutend weniger, als dies von Skelettmuskeln der Extremitäten bekannt ist. Dies könnte mit dem hohen funktionellen Wert zusammenhängen, aber auch mit dem konstanten Gebrauch der mimischen Muskeln, unabhängig von Alter und Geschlecht.

### 5.2 *Quantitative ultrasonography of facial muscles in patients with chronic facial palsy*

In dem Artikel „*Quantitative ultrasonography of facial muscles in patients with chronic facial palsy*“, der 2014 in der Zeitschrift „*Muscle & Nerve*“ erschienen ist, beschrieben wir erstmals

die Atrophie der mimischen Muskulatur nach Denervierung des N. facialis. Mittels quantitativem Ultraschall untersuchten wir aber auch die Hypertrophie der mimischen Muskulatur durch überschießende bzw. fehlgeleitete Reinnervation des N. facialis. Zwar beschrieben Bahogh et al. auch bereits 1988 37 Patienten, darunter auch Kinder, mittels Sonographie untersucht zu haben, aber nur wenige Fälle wurden anhand ausgewählter Ultraschallbilder detailliert dargestellt (Balogh et al. 1988b, Frühwald 1988). Auch die Patienten unserer Studie zeigten eine große Variation: 16 Frauen und 4 Männer im Alter von 57  $\pm$  18 Jahren (Median 61, Range 26–85) mit verschiedener Ätiologie (14x postoperativ, 3x idiopathisch, 1x Ramsey–Hunt Syndrome, 1x traumatisch, sowie 1x durch Tumordinfiltration eines bösartigen Parotistumors). Jedoch entspricht diese heterogene Gruppe (Dauer der Parese durchschnittlich 51,3  $\pm$  59 Monaten (Range 10,0–102,4) einem guten Querschnitt der klinisch relevanten Fälle. Da sowohl Fälle in der Denervierungsphase, als auch nach chirurgischer Reinnervation untersucht wurden, konnten im Vergleich zur gesunden Gegenseite sowohl Querschnitts- bzw. Durchmesser-Abnahmen während der Denervierung, als auch Zunahmen der Muskeldimensionen nach Reinnervation dargestellt werden. Elektromyographische Daten aus Nadel-EMG-Untersuchungen halfen, die Phasen der Denervierung und Reinnervation korrekt zu klassifizieren. Durch die große Spannbreite der Untersuchungszeitpunkte mit Blick auf den Beginn der Lähmung, war es, trotz fehlender Wiederholungsmessungen, möglich, Rückschlüsse auf Atrophie- und Hypertrophie-Prozesse zu ziehen. Dabei fiel auf, dass es bei Reinnervation nicht nur eine Zunahme der zuvor atrophierten Muskulatur bis zur Angleichung an die gesunde Gegenseite zu geben scheint, sondern auch, dass die Muskeln nach Reinnervation teilweise doppelt so groß wie die der gesunden Seite waren. Diese Hypertrophie scheint das sonoanatomische Korrelat des klinischen Phänomens des Hyperkinesie bzw. der Synkinesie bei Defektheilung nach axonaler Schädigung und fehlgeleiteter bzw. überschießender Reinnervation des N. facialis zu sein. Klinisch interessant ist auch die Zunahme der Echogenität, also des Binnenechos der Muskeln, während der Denervierungsphase. Diese kann mit Fetteinlagerungen und bindegewebigen Umbauprozessen erklärt werden, die im sonst echoarmen Muskel Binnenechos erzeugen (Pillen und van Alfen 2011).

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass hier nur Ergebnisse von Einzelmessungen berichtet wurden, zeigte sich die deutlichste Abnahme der Querschnittsflächen und Durchmesser um den 3. bis 7. Monat nach Beginn der Parese, in den Fällen, in denen es zu keiner Reinnervation kam. Dass die weitere Atrophie nur langsam fortschreitet, deckt sich mit

der klinischen Beobachtung, dass auch noch nach mehr als zwei Jahren Denervierungszeit Reinnervationsoperationen erfolgreich durchgeführt werden können.

Das Problem, dass zum Zeitpunkt der Veröffentlichung noch keine Referenzwerte für die Größe mimischer Muskeln vorlagen, wurde in dieser Publikation durch intraindividuelle Seitenvergleiche gelöst. Die kontralaterale gesunde Seite, die bei fast allen Fazialispareesen zur Verfügung steht, wurde als normal erklärt und darauf die Veränderungen der betroffenen Seite bezogen. Dies hat den Nachteil, dass krankheitsbedingte Änderungen der gesunden Seite, wie sie z.B. durch Kompensationsbemühungen ausgelöst sein könnten, nicht direkt erfasst werden und Einfluss auf die Ergebnisse der betroffenen Seite haben können. Der Vorteil ist, dass die kontralateralen Werte naturgemäß nicht nur perfekt alters- und geschlechts-gematcht sind, wie es Referenzwerte eines großen Referenzkollektives sein sollten, sondern auch, dass weitere Einflussfaktoren, wie z.B. die Physiognomie oder der Trainingsstand der individuellen Muskulatur, automatisch mitberücksichtigt werden. Eine weitere Möglichkeit, intraindividuelle Referenzwerte zu nutzen, ist die Messung der nicht von Fazialispareesen betroffenen Kaumuskeln (M. masseter und M. temporalis). Tatsächlich zeigte sich in dieser Studie keine Änderung der Kaumuskulatur durch die Fazialislähmung, so dass sie sich zumindest als Referenz für die Bestimmung der Echogenität anbietet.

### *5.3 3D-Ultrasonography for evaluation of facial muscles in patients with chronic facial palsy or defective healing: a pilot study*

Der Grad der Atrophie scheint einen wichtigen Einfluss auf den Erfolg der Funktionswiederherstellung durch Nervenrekonstruktion zu haben (Grosheva et al. 2008, Guntinas-Lichius et al. 1997). Daher beschrieben wir in dem Artikel „*3D-Ultrasonography for evaluation of facial muscles in patients with chronic facial palsy or defective healing: a pilot study*“, der 2014 in der Zeitschrift „BMC Ear, Nose and Throat Disorders“ erschienen ist, einer Methode zur Quantifizierung des Volumenverlustes bei der Atrophie mimischer Muskeln. Mit einem 3D-Ultraschall-System, bestehend aus einem automatischen Linear-Bewegungs-Arm und einer daran befestigten konventionellen Ultraschall-Sonde wurden 3D-Daten von sieben Patienten mit einseitiger chronischer Fazialisparese und einer gesunden Kontrolle aufgenommen.

Auf diese Weise konnten Daten vom M. frontalis, M. orbicularis oculi, M. depressor anguli oris, M. depressor labii inferioris und M. mentalis gewonnen werden. Die Ultraschalldaten wurden mit den Ergebnissen der Elektromyographie und der Dauer der Nervenschädigung

korreliert. Mit Ausnahme des M. frontalis hatten alle Muskeln der paretischen Seite deutlich kleinere Volumina als ihre Äquivalente auf der nicht-gelähmten Seite. Im Gegensatz dazu zeigte sich bei den beiden Patienten mit Defektheilung nach spontaner Regeneration, welche sich klinisch in typischer Weise mit Synkinesien und Hyperkinesien äußerte, in der 3D-Sonographie auch eine Hypertrophie der Muskeln um bis zu 28% des Volumens im Vergleich zur Gegenseite (M. depressor labii inferior des Patienten 7).

Obwohl es aufgrund der Linearbewegung des Ultraschallkopfes nur möglich war, Muskeln in relativ ebenen Bereichen des Gesichtes zu vermessen und diese Muskeln oft auch nicht vom Ursprung bis zum Ansatz verfolgt wurden, sondern der meist besser darstellbare Muskelbauch vermessen wurde, zeigte der Seitenvergleich der Gesichtshälften interessante Aspekte: Bei Patient 1 ließ sich drei Jahre nach Beginn der Fazialisparese der am stärksten atrophierte M. depressor labii inferioris auf der linken gelähmten Seite noch darstellen, hatte aber nur noch 3% des Volumens im Vergleich zur Gegenseite. Die große Variabilität zwischen verschiedenen Patienten, trotz ähnlicher Zeiten der Denervierung legt nahe, dass noch weitere Faktoren die Atrophie beeinflussen, also nicht nur die Denervierungszeit. So hatten z. B. Patient 1 und Patient 4 beide drei Jahre zuvor eine komplette Denervierung erlitten, Patient 1 aber 18 Monate vor der 3D-Sonographie bereits eine Hypoglossus-Fazialis-Jump-Anastomose erhalten, die laut Nadel-EMG bereits zur Reinnervation des unteren Gesichtes geführt hatte. Hingegen zeigte Patient 4 im Nadel-EMG noch eine komplette Denervierung. Überraschenderweise war die Atrophie bei Patient 1 trotzdem stärker ausgeprägt als bei Patient 4. Dies könnte z.B. daran liegen, dass im Rahmen der initialen Nervenschädigung nicht nur der N. facialis, sondern auch der N. trigeminus und Teile des Hirnstammes geschädigt wurden. Tierexperimentelle Hinweise, dass es nach Fazialis-Läsionen zu Reinnervation über vegetative Nerven kommen kann, könnten erklären, warum Patient 4 eine geringere Atrophie zeigte als Patienten 1, bei dem es durch eine Hirnstamm-Läsion nicht nur zu einer Schädigung der motorischen Fazialis-Nervenfasern gekommen ist (Heaton et al. 2014). Auch konnte diese Studie eine hohe intraindividuelle Variabilität der Muskelatrophie zeigen: Obwohl die Nervenschädigung immer den Hauptstamm betraf, waren einzelne mimische Muskeln unterschiedlich stark atrophiert. Zuverlässiges Wissen darüber, welche Muskeln noch wie gut erhalten sind, wird vor allem mit Blick auf selektive Reinnervationstechniken immer wichtiger. Aber auch Physiotherapie und Elektrostimulation benötigen verlässliche Daten und könnten auf solider Datengrundlage gezielter appliziert werden.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass 3D-Sonographie bei den gut erreichbaren Muskeln wertvollen Volumeninformationen liefert, die bisher MRT und CT vorbehalten waren. Gerade bei ungleichmäßig atrophierten Muskeln kann dies die Gefahr von Fehlbeurteilungen minimieren, wie sie beim 2D-Ultraschall mit durch Landmarken festgelegten Ultraschallebenen auftreten können. Trotz des höheren apparativen Aufwands durch den Schwenkarm ist die 3D-Sonographie mit deutlich weniger Arbeitszeitbedarf und mit weniger Fachwissen anwendbar als MRT oder CT. Sollte durch flexiblere Aufnahmetechniken, wie sie z. B. durch Freihand-Aufnahmen unter Navigations-Kontrolle oder Fusionierung mehrere Aufnahmen möglich sind, zukünftig noch mehr Muskeln vermessen werden können, dürfte die 3D-Sonographie eine echte Alternative zum MRT darstellen. Aktuell ist der Einsatz der 3D-Sonographie aber noch auf spezielle Studienfragen begrenzt.

#### *5.4 Quantitative Magnetic Resonance Imaging Volumetry of Facial Muscles in Healthy and Patients with Facial Palsy*

In dem Artikel „*Quantitative Magnetic Resonance Imaging Volumetry of Facial Muscles in Healthy and Patients with Facial Palsy*“, der 2014 in der Zeitschrift „*Plast Reconstr Surg Glob Open*“ erschienen ist, beschrieben wir, dass die quantitative Volumenbestimmung der zahlreichen mimischen Muskeln aus Standard-MRT-Aufnahmen möglich ist. Wir präsentierten Daten von 10 gesunden Freiwilligen (5 Frauen) im Alter von 23 bis 43 Jahren sowie von 5 Patienten (4 Frauen) mit Fazialisparese. Trotz der relativ geringen Fallzahl ist diese Studie die größte und detaillierteste (sowohl was die Anzahl untersuchter Personen als auch die Anzahl der untersuchten Muskeln pro Person angeht) bislang veröffentlichte MRT-Studie der Kopfmuskeln. Von Referenzwerten kann man aufgrund von 10 gesunden Probanden nicht sprechen, auch konnten die Volumenangaben nicht mit anderen MRT- oder CT-Arbeiten verglichen werden, da in der Literatur bisher nur Durchmesser angegeben, aber keine Volumenangaben genannt werden. Aufgrund unterschiedlicher Messprotokolle sind zudem die Daten anderer vergleichbarer Studien teilweise unvollständig und nur mit fachkundiger Interpretation untereinander zu vergleichen. Goto et al (Goto et al. 2002) geben für das im MRT gemessene Volumen des M. masseter bei Kieferöffnung und -schließung 29.000 bis 30.000 mm<sup>3</sup> an, während wir in unseren Messungen in Ruhe auf ein Volumen von 20.000 mm<sup>3</sup> kamen. CT-Daten lagen mit 22.000 bis 38.000 mm<sup>3</sup> näher an den hier berichteten Messwerten (Gionhaku und Lowe 1989). Andere MRT-Studien haben die Seitenunterschiede

durch Lähmungen ausschließlich qualitativ beschrieben (Kaylie et al. 2003, Kaylie et al. 2004), während wieder andere nur repräsentative Bilder nach automatischer oder semi-automatischer Segmentierung und 3D-Rekonstruktion der mimischen oder Kaumuskulatur präsentierten (Rezaeitabar und Ulusoy 2012, Olszewski et al. 2009). Eine Ausnahme bildet die Arbeit von Koerte et al, in der nach manueller Segmentierung des M. procerus quantitative Effekte der Muskelatrophie nach Injektion von Botulinum Toxin berechnet und als prozentuale Volumenabnahme beschrieben wurden (Koerte et al. 2013). Leider werden auch in dieser Studie keine absoluten Werte angegeben, so dass kein direkter Vergleich mit den hier präsentierten Werten möglich ist.

Die hier präsentierten Daten sind damit die ersten manuell oder semiautomatisch segmentierten Volumendaten einer repräsentativen Auswahl an Gesichtsmuskeln. Leider gelang eine vollautomatische Segmentierung, die einen deutlichen Zeitvorteil erhoffen ließe, bisher nicht. Dies ist bisher nur für den M. masseter und M. temporalis erfolgreich gewesen (Rezaeitabar und Ulusoy 2012). So benötigt eine fachkundige und trainierte Person ca. drei Stunden pro Gesicht, wenn M. frontalis, M. procerus, M. risorius, M. corrugator supercilii, M. orbicularis oculi, M. nasalis, M. zygomaticus major, M. zygomaticus minor, M. levator labii superior, M. orbicularis oris, M. depressor anguli oris, M. depressor labii inferioris und M. mentalis, sowie die beiden Kaumuskeln M. masseter und M. temporalis, segmentiert werden sollen.

Ähnlich wie beim Ultraschall, waren auch beim MRT zu dünne oder schlecht abgegrenzte Muskeln nicht zu erfassen. In allen Regionen des Gesichts sind aber ausreichend gut identifizierbare Muskeln vorhanden, so dass z.B. bei Verdacht auf ein Möbius-Syndroms zukünftig der Radiologe nicht nur nach dem Vorhandensein des N. facialis gefragt werden sollte, sondern auch nach den mimischen Muskeln. Gerade mit Blick auf rekonstruktive Chirurgie kann das Vorhandensein von mimischer Muskulatur entscheidend sein, da dann auf Muskeltransplantate verzichtet werden kann und stattdessen eine alleinige Nervenrekonstruktion ausreichen würde.

Bei den fünf kasuistisch aufgeführten Patienten-Fällen handelt es sich um Beispiele zweier akuter und dreier chronischer Fazialiparesen. In Fall #11 gab es ein MRT vor Parese-Beginn, das den direkten Vergleich zu den Veränderungen zwei Wochen nach OP eines Vestibularisschwannoms erlaubte: einzelne Muskeln zeigten bereits nach dieser kurzen Zeit eine Volumenabnahme, während das Gesamtvolumen mit -2,7% nur minimal abnahm. In dem anderen Vestibularisschwannom-Fall (#14) waren die Seitenunterschiede zwei Monate nach kompletter postoperativer Fazialisparese ohne Innervationszeichen im Nadel-EMG

erwartungsgemäß mit -21,5% deutlicher. Dass das MRT bei chronischen Paresen Volumenänderungen detektieren kann, die über die elektrophysiologischen Befunden hinaus den Status der Muskeln beschreiben, zeigen Fall #13 und #12: Obwohl in beiden Fällen das Nadel-EMG Reinnervationszeichen aufwies, verriet die Volumetrie, dass sich in Fall #13 die mimischen Muskeln noch lange nicht normalisiert hatten (Seitenunterschied aller mimischer Muskeln: -24,1%), während in Fall #12 mit einem Gesamtseitenunterschied von +7,1% und einem sehr differenzierten Bild der einzelnen Muskeln in der klinischen Beurteilung der Eindruck einer synkinetischen Hyperinnervation einzelner Muskeln deutlich wird.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Muskelvolumetrie, wie sie hier mit MRT-Daten erfolgt ist, ein Werkzeug sein kann, De- und Reinnervationsprozesse nicht-invasiv zu quantifizieren. Die bisherigen Diagnosemöglichkeiten werden damit deutlich erweitert. Da die Aufnahme der hier verwendeten MRT-Sequenzen nur 5 Minuten und 21 Sekunden dauerten, ist die manuelle Segmentierung aktuell mit ca. drei Stunden pro Kopf der limitierende Faktor. Eine automatische oder zumindest semiautomatische Auswertung könnte detaillierte Untersuchungen an großen Patienten-Kollektiven ermöglichen. Da die verwendeten Aufnahmen für viele wissenschaftlichen funktionellen Magnetresonanzstudien (fMRT)-Studien verwendet werden, wären sogar retrospektive Auswertungen bestehender Datenbanken unter verschiedensten Gesichtspunkten denkbar (Geschlechtsunterschiede, Korrelation von Muskelatrophie mit Depressionen, Muskelvolumenzuwachs durch vermehrte Beanspruchung wie z.B. bei Blasmusikern, ...).

### *5.5 Reference values for dynamic facial muscle ultrasonography in adults*

In dem Artikel „*Reference values for dynamic facial muscle ultrasonography in adults*“, der 2014 in der Zeitschrift „*Muscle & Nerve*“ erschienen ist, wurde das Untersuchungsprotokoll um den M. zygomaticus major erweitert, der aufgrund seines Verlaufs durch das subkutane Fettgewebe der Wange oft erst durch Kontraktion eindeutig identifizierbar wird. Da dieser Muskel als wichtiger Teil der Aufhängung der Mundwinkel eine große funktionelle Bedeutung für das Lachen und Sprechen, aber auch für die Gesichtssymmetrie in Ruhe hat, konnte dadurch das Untersuchungsprotokoll noch mehr an die klinischen Anforderungen angepasst werden. Gleichzeitig wurde die Muskelkontraktion, die zuvor nur zur Identifikation einzelner Muskeln im Ultraschallbild verwendet wurde, selbst auch als quantitatives Untersuchungsobjekt in das Protokoll aufgenommen. Der proportionale „Contractility Index“ beschreibt die Veränderung der Muskeldicke bzw. des Muskeldurchmessers unter maximaler

willkürlicher Kontraktion in Relation zur Entspannung. Er wird in Prozent angegeben und ist bei Zunahme durch Kontraktion positiv, also mit + Vorzeichen und bei Abnahme negativ, also mit – Vorzeichen gekennzeichnet.

Dieses erweiterte Untersuchungsprotokoll wurde vor der Anwendung an einem großen Kollektiv, sowohl auf Intra-Observer-Reliabilität, als auch auf Inter-Observer-Reliabilität geprüft: Die mimischen Muskeln von neun Freiwilligen wurden mit zwei Tagen Abstand zwei Mal vom gleichen Untersucher vermessen. Die Intra-Klassen-Korrelation (ICC) lag für fast alle Muskeln, zwischen 0,75 und 0,95. Alle ICCs bis auf die des rechten M. depressor labii inferioris bei Kontraktion ( $P = 0,258$ ) waren signifikant ( $P < 0,05$ ). Die detaillierte, tabellarische Übersicht aller ICCs (S1), die als „Supporting Information“ zur Publikation auch online verfügbar ist, ist im Anschluss an die Originalarbeit im Abschnitt 4.3 abgedruckt.

Erstmals wurde in dieser Arbeit auch die Inter-Observer-Reliabilität bestimmt, indem zwei an der Arbeit beteiligte Doktoranden (Maik Sauer und Martin Pohlmann) acht Freiwilligen, ohne Gesichtsnervenlähmung, jeweils einmal sonographierten und anschließend beide einzeln die mimischen Muskeln in einer Offline-Bildauswertung vermaßen. Die insgesamt sehr guten Ergebnisse sind im Detail in Tabelle S2 aufgeführt. Nur folgende Messungen der Muskeln zeigten keine signifikante Reliabilität: Der linke und rechte Längsdurchmesser ( $P = 0,083$ ,  $P = 0,374$ ) und der linke Querdurchmesser ( $P = 0,595$ ) des M. depressor anguli oris sowie der rechte Längsdurchmesser des M. depressor labii inferioris ( $P = 0,069$ ).

Wie bei den Intra-Observer-Reliabilitäten weisen auch bei den Inter-Observer-Reliabilitäten die Messungen der Querschnittsflächen, verglichen mit den Durchmessern, die deutlich besseren ICCs auf (In Ruhe: ICC der Querschnittsfläche  $\geq 0,965$ , Längsdurchmesser  $\geq 0,555$  und Querdurchmesser  $\geq 0,500$ ; In Kontraktion: Querschnittsfläche  $\geq 0,949$ , Längsdurchmesser  $\geq 0,127$  und Querdurchmesser  $\geq 0,666$ ). Es konnte damit gezeigt werden, dass, für eine verlässlichere Beurteilung, nach Möglichkeit Flächen vermessen werden sollten. Nur wenn dies nicht möglich ist, beispielsweise bei großen, flächigen Muskeln, können ersatzweise die Durchmesser gemessen werden.

Um alters- und geschlechtsspezifische Referenzwerte nach diesem erweiterten Untersuchungsprotokoll zu erheben, wurden dann die mimischen Muskeln von 140 Freiwilligen im Alter zwischen 21 und 93 Jahren untersucht. Die Werte dieser größten bisher veröffentlichten Datenbank der mimischen Muskeln lagen im Bereich anderer Publikationen, die z.B. nur einzelne mimische Muskeln, oder die Kaumuskulatur, untersucht hatten (Satiroglu et al. 2005, Volk et al. 2013b, van Alfen et al. 2013, Vinkka-Puhakka et al. 1989). Zusätzlich zu diesen Referenzwerten und den Reliabilitäten bei deren Messung konnte in

dieser Studie darüber hinaus gezeigt werden, dass es keine relevanten Seitenunterschiede bei der mimischen Muskulatur gibt (English et al. 2012, Ahn et al. 2013). Diese Beobachtung deckt sich mit anatomischen und elektrophysiologischen Untersuchungen (Waller et al. 2008, Schumann et al. 2010). Wie zu erwarten war, zeigte sich jedoch eine Korrelation zwischen dem Körpergewicht und der Muskelgröße. Im Gegensatz dazu hatte das Alter keinen relevanten Effekt auf die mimischen Muskeln, obwohl bei Hals- und Kaumuskeln eine Abnahme der Muskelgröße im Laufe des Lebens bekannt ist (Kiliaridis und Kalebo 1991, Rankin et al. 2005).

Dies könnte am lebenslangen, intensiven und konstanten Gebrauch der mimischen Muskeln für Routineaufgaben wie Essen und Blinzeln, aber auch deren fortwährende Verwendung im Rahmen der zwischenmenschlichen Kommunikation liegen (Reimers et al. 1998). Ein überraschendes Ergebnis fand sich schließlich im Geschlechtsvergleich beim M. zygomaticus major und in etwas schwächerer Form auch beim M. frontalis: Der M. zygomaticus major hatte bei den Frauen eine signifikant größere Muskelquerschnittsfläche als bei den Männern (♀ 73,39 mm<sup>2</sup>; ♂ 61,25 mm<sup>2</sup>; P = 0,005). Für den M. frontalis konnte ebenfalls bei den Frauen ein signifikant größerer Muskeldurchmesser nachgewiesen werden (♀ 2,88 mm; ♂ 2,35 mm; P = <0,001). Die Durchmesser der übrigen Muskeln waren jeweils bei den Männern größer als bei den Frauen. Dies könnte als morphologisches Korrelat der größeren emotionalen Expressivität von Frauen gegenüber Männern interpretiert werden (Kring und Gordon 1998), die angeblich besonders beim Lächeln auffallen soll (LaFrance et al. 2003).

#### *5.6 Correlation between Elektromyography and Quantitative Ultrasonography of Facial Muscles in Patients with Facial Palsy*

In der Publikation „*Correlation between Elektromyography and Quantitative Ultrasonography of Facial Muscles in Patients with Facial Palsy*“, die 2016 in „Muscle & Nerve“ erschien, setzten wir standardisiert erhobene quantitative Ultraschall-Befunde mit den in der klinischen Routine erhobenen Nadel-EMG-Befunden von 44 Patienten mit akuter und chronischer Fazialisparese in Beziehung (Volk et al. 2016). Insgesamt wurden 220 Messungen in 4 mimischen Muskeln (M. frontalis, M. orbicularis oculi, M. zygomaticus und M. orbicularis oris) ausgewertet. Dabei zeigten sich nur vereinzelt signifikante Korrelationen zwischen den Ultraschalluntersuchungen des entspannten Muskels und den Nadel-EMG-Ergebnissen (siehe Supplementary Table S1, Abschnitt 4.6). Die beste Korrelation fand sich im M. orbicularis oculi, während der klinisch definierten „Denervierungsphase“, in der sich subjektiv noch keine Besserung der Beweglichkeit zeigte. Vermehrte Einstichaktivität, das

Fehlen von pathologischer Spontanaktivität, vermehrte Willküraktivität und normale Morphologie der Muskelaktionspotentiale korrelierte mit einer höheren Muskelgröße. Wenn nur die Fälle älter als 14 Tage nach Paresebeginn berücksichtigt wurden, zeigt sich die beste Korrelation zwischen der Einstichaktivität und der Muskeldicke. Wurden die Größen der kontrahierten Muskeln berücksichtigt (siehe Supplementary Table S2, Abschnitt 4.6), zeigten sich signifikante Korrelationen bei erhöhter Willküraktivität und normalerer Muskelaktionspotential-Morphologie. Erneut war dieser Zusammenhang am stärksten im M. orbicularis oculi nachweisbar. Der proportionale „Contractility Index“ verhielt sich ähnlich (siehe Supplementary Table S3, Abschnitt 4.6), außer dass hier Größenänderungen des M. frontalis am stärksten mit den Nadel-EMG-Messungen korrelierte. Mit Blick auf die klinischen Parameter zeigte sich eine negative Korrelation zwischen dem Stennert Parese Index in Ruhe und der Muskeldicke in Ruhe.

Bisher wurden Ultraschall und EMG vor allem kombiniert eingesetzt, um bei der isometrischen Kontraktion großer Skelettmuskeln die Änderungen der Querschnittsfläche und der Faszikellänge zu bestimmen und damit biomechanische Grundlagen zu untersuchen (Hodges et al. 2003, Simoneau et al. 2012). Klinische Studien, die diese Untersuchungstechniken kombinieren, sind deutlich seltener (Boon et al. 2014, Grimm et al. 2015b, Picelli et al. 2014).

Dabei zeigt sich erneut, dass eine Stärke der Sonographie der mimischen Muskulatur darin besteht, sowohl den Ruhetonus als auch die Dynamik erfassen zu können. Da oft deutliche Unterschiede zwischen diesen beiden Bedingungen bestehen und deshalb auch unterschiedliche Therapieoptionen zum Einsatz kommen sollten, ist diese Unterscheidung nicht nur von akademischem Interesse, sondern auch für den therapeutisch arbeitenden Arzt wichtig. So ist z.B. der Einsatz von Botulinumtoxin besser möglich, wenn auch der Ruhetonus erhöht ist. Demgegenüber kann gezielte Physiotherapie die Dynamik der Muskeln verbessern. Auch das Nadel-EMG kann diese Bedingungen unterscheiden, wenn auch weniger quantitativ, indem Einstichaktivität und pathologische Spontanaktivität in Ruhe, Willküraktivität und die Morphologie der Muskelaktionspotentiale bei Kontraktion untersucht werden.

Das nur einige mimische Muskeln mit den EMG-Untersuchungen korrelierten, könnte sich mit den bisher nur wenig untersuchten biomechanischen Eigenschaften der einzelnen mimischen Muskeln erklären lassen: Unterschiedliche Faserarchitektur der Muskeln kann das geometrische Verhalten bei Kontraktion entscheidend beeinflussen. Solche Untersuchungen liegen aber bisher für die mimischen Muskeln nicht vor.

Eine Erwartung an die Muskel-Ultraschall Methode ist es, früher als Elektromyographie oder Elektroneurographie Neuropathien entdecken zu können. Mit den bisher verwendeten elektrophysiologischen Tests können axonale Schäden erst nach einigen Tagen detektiert werden. Beim Nadel-EMG gelingt dies sogar erst nach 10 bis 14 Tagen, wenn pathologische Spontanaktivität auftritt (Volk et al. 2013a, Guntinas-Lichius 2004). Sollten sich erste vielversprechende Ergebnisse von Untersuchungen großer Extremitäten-Muskeln bei durch Sepsis verursachter Critical Illness Polyneuropathy (CIP) und Critical Illness Myopathy (CIM) bestätigen und Veränderungen der Echogenität schon in den ersten Tagen auftreten (Grimm et al. 2013), könnte die Muskel-Sonographie gleich zwei Lücken schließen: Zum einen wäre eine frühere Abschätzung der Schwere der Schädigung und damit eine Prognose möglich. Zum anderen ist die Verfügbarkeit, aber auch die Akzeptanz von Ultraschallgeräten deutlich besser, als die von elektrophysiologischen Geräten, sowohl bei den meisten Anwendern, als auch bei den Patienten.

Der direkte Nachweis von pathologischer Spontanaktivität, vor allem von Fibrillationen, wie er z.B. bei Amyotropher Lateralsklerose für große Muskeln beschrieben wurde, (Pillen et al. 2008), ist bisher bei mimischen Muskeln nicht gelungen. Dies könnte daran liegen, dass in dieser Studie nicht im richtigen Zeitfenster (ab dem 10. Tag nach axonalem Schaden) gesucht wurde, oder dass die unwillkürlichen Kontraktionen in den kleinen mimischen Muskeln deutlich schwerer nachweisbar sind.

Die nächsten notwendigen Schritte wären daher, die Muskel-Sonographie der mimischen Muskeln in die Routineuntersuchungen bei akuten Fazialisparesen aufzunehmen. Sowohl sehr frühe Messungen in den ersten Stunden und Tagen nach Parese-Beginn wären wichtig, als auch regelmäßige Kontrollen im Verlauf über Wochen und Monate bis zur Erholung bzw. zur Defektheilung. Die gewonnenen Daten könnten dann mit klassischen elektrophysiologischen Tests, aber auch mit allen anderen klinisch erhobenen Daten und dem Krankheitsverlauf in Beziehung gesetzt werden. Sollte z.B. die Echogenität der mimischen Muskeln bereits sehr früh bei axonalen Schäden ansteigen, wäre ein neuer Marker für eine schlechte Erholung der Parese gefunden. Sollte dies bereits in den ersten Tagen der Erkrankung absehbar sein, könnte dies auch die Therapie beeinflussen und z.B. eine unnötige Kortisongabe abgebrochen werden.

## 6. Ausblick

Zusammenfassend lassen sich aus den sechs hier präsentierten Publikationen mehrere Schlussfolgerungen ziehen:

Der Wert der Sonographie der mimischen Muskulatur zur Diagnostik und Verlaufskontrolle von peripheren Fazialispareesen konnte in mehreren der hier vorgelegten Studien verdeutlicht werden. Dabei ist hervorzuheben, dass die Sonographie nicht invasiv, nebenwirkungsfrei, kostengünstig, schnell durchführbar und reliabel ist, und vom Anwender und Patienten gut akzeptiert wird. Sie liefert dem Anwender wesentliche Informationen über die Morphologie, den Atrophiegrad, sowie über die dynamischen Eigenschaften der einzelnen mimischen Muskeln. Dank der nun vorliegenden alters- und geschlechtsspezifischen Referenzwerte für die Muskelgrößen können die Schwere der Muskelatrophie sowie die Einschränkung der Muskeldynamik objektiv eingeordnet werden. Unser standardisiertes Sonographie-Untersuchungsprotokoll erlaubt in ca. 20 Minuten, die statischen und dynamischen Eigenschaften von sieben mimischen Muskeln und zwei Kontroll-Kaumuskeln zu quantifizieren. Zur sonographischen Darstellung der mimischen Muskulatur sind jedoch eine gute Einweisung des Untersuchers und die Mitarbeit des zu Untersuchenden notwendig. So müssen definierte Schallebenen vom Untersucher exakt eingehalten, sowie gezielte Bewegungen vom zu Untersuchenden ausgeführt werden. Über das empfohlene standardisierte Untersuchungsprotokoll hinaus, ist es gelungen, noch acht weitere mimische Muskeln, sowie drei Gesichtsarterien, sonographisch darzustellen. Da für diese Muskeln jedoch keine Referenzwerte vorliegen, bleibt der Nutzen ihrer Darstellung aber vorerst auf spezielle Fragestellungen beschränkt.

Blickt man auf das MRT, so bietet es, neben der EMG und der Sonographie, ein zusätzliches nützliches Instrument in der Beurteilung von Atrophien und morphologischen Veränderungen der mimischen Muskulatur. Sowohl zur präoperativen Evaluation und Prognoseeinschätzung vor Nervenrekonstruktionen, als auch zur Verlaufskontrolle und Beurteilung der Rehabilitation einer peripheren Fazialisparese kann es ein hilfreiches Werkzeug sein (Kaylie et al. 2003, Gargiulo et al. 2011).

Auch hier ermöglicht die in den hier vorgestellten Publikationen entwickelte Segmentierungsanleitung eine effiziente, nicht-invasive Quantifizierung der Volumina von neun mimischen Muskeln und zwei Kontroll-Kaumuskeln. Vergleiche der Segmentierungen,

mit und ohne Segmentierungsanleitung, ergaben sowohl quantitativ als auch qualitativ verbesserte Ergebnisse durch die Anwendung der Segmentierungsanleitung. In der Segmentierungsanleitung werden außerdem das Identifizieren und Segmentieren fünf weiterer mimischer Muskeln im MRT beschrieben. Da diese jedoch nicht konstant auffindbar sind, oder eine geringe klinische Relevanz besitzen, sollten sie nur bei speziellem Interesse segmentiert werden.

Auch wenn durch die Volumeninformation sowohl MRT, wie auch 3D-Sonographie, die mimischen Muskeln vollständiger erfassen, als die traditionelle 2D-Sonographie, ist ihre Anwendbarkeit aufgrund des hohen Zeitaufwandes bei der manuellen Segmentierung und der geringen Verfügbarkeit und Flexibilität im Vergleich zum konventionellen Ultraschallverfahren limitierend. Eine mögliche sinnvolle Anwendung der 3D-Sonographie ergibt sich für minimalinvasive, chirurgische Eingriffe. Endoskope und die damit notwendige Luftinsufflation wären damit ersetzbar. In Kombination mit Bildfusionstechniken, zum Beispiel mit zuvor erstellten MRT-Aufnahmen wäre gleichzeitig eine Navigation möglich. Im Gesicht wären damit statische Rekonstruktionen und minimalinvasive Facelifts denkbar. Abdominelle Eingriffe wie Appendektomien oder Cholezystektomie wären statt unter endoskopischer unter sonographischer Kontrolle vorstellbar. Aber auch Tumorexstirpationen unter Darstellung und damit gezielter Schonung der umliegenden Gefäße und Nerven sind vorstellbar. Selbst die sichere extrakapsuläre Dissektion von Parotistumoren wäre möglich, wenn mittels Sonographie sowohl die Tumorgrenzen als auch der Plexus parotideus des N. facialis während der Operation immer sicher identifiziert werden könnte.

Um 3D-Bilddaten aber in Echtzeit und mit der notwendigen Sicherheit auch für Operationen nutzen zu können, ist noch eine deutliche technologische Entwicklung notwendig. Kurzfristig können Segmentierungsanleitungen, auch interaktive mit Video- und 3D-Beispielen, die manuelle Segmentierung zwar standardisieren, eine Automatisierung wäre aber von enormem Vorteil: Die Zeitersparnis und die Objektivität würden eine breite Anwendung erlauben. Bereits publizierte automatische Segmentierungstechniken (Sener et al. 2016) könnten an manuell segmentierten Datensätzen optimiert und validiert werden.

Als Ergänzung zu klassischen anatomischen Präparationen kann gerade die Sonographie auch jetzt schon interessante Tiefeninformationen liefern.

Wenn bei einem Patienten noch keine Bildgebung stattgefunden hat und neue Aufnahmen zur Beurteilung der mimischen Muskulatur angefertigt werden sollen, sind MRT-Aufnahmen mit einem höheren Arbeits- und Kostenaufwand verbunden als die Sonographie. Da aber bei vielen Patienten mit Fazialisparese schon MRT-Daten vorliegen, lohnt es sich, diese

vorhandenen Daten vor der Erstellung neuer Aufnahmen zu prüfen. Denn selbst wenn diese Bilder das Gesicht erfassen und die mimischen Muskeln darin zu erkennen sind, wird dies von Radiologen bisher kaum beachtet oder gar befundet. Dabei ist die Diagnose eines Möbius-Syndroms nicht nur durch das Vorhandensein des N. facialis sondern auch an der Anlage der mimischen Muskulatur definiert. Aber nicht nur zur Diagnosefindung, sondern auch zur Therapieplanung, kann der Nachweis und die Beurteilung mimischer Muskeln richtungsweisend sein: Nur wenn dem Chirurgen bewusst ist, dass noch ausreichend mimische Muskeln vorhanden sind, wird er erwägen, statt eines Muskel- und Nerven-Transfers nur eine Reinnervationsoperation durchzuführen. Die kann die nötige Operationszeit und die möglichen Komplikationen des Eingriffes deutlich senken. Auf die Entnahme von z.B. dem M. gracilis und damit einer Narbe am Bein könnte verzichtet werden. Auch wäre das Problem, dass alle bisherigen Spender-Muskeln nur sehr unvollkommen die Eigenschaften mimischer Muskeln ersetzen können, vermieden (Happak et al. 1994). Da es immer noch Zentren gibt, die solche anspruchsvollen chirurgischen Verfahren regelmäßig durchführen, vorher aber versäumen, den Status oder auch nur das Vorhandensein der mimischen Muskeln prüfen, ist die Notwendigkeit einer besseren Diagnostik sehr relevant (Sharma et al. 2016). Dass die elektrophysiologischen Verfahren, die diese Aufgabe durchaus teilweise gut erfüllen könnten, diese Lücke in den nächsten Jahren schließen, erscheint unwahrscheinlich, da sie schon seit Jahrzehnten in ausreichend guter Qualität zur Verfügung stehen. Ihre Anwendung nimmt aktuell jedoch selbst in der Neurologie tendenziell ab und wird durch bildgebende Verfahren ergänzt und ersetzt. Diesem Trend folgend, könnte die Schnittbildgebung der mimischen Muskulatur die Therapie verbessern und unnötige Operationen vermeiden helfen. In manchen Fällen kann ganz auf ein sofortiges chirurgisches Eingreifen verzichtet werden und bei angelegten Muskeln mit verminderter, aber erhaltener, Aktivität auf eine spontane Erholung gehofft werden. Mit der Sonographie hätte der behandelnde Arzt auch ein Werkzeug, um den Verlauf quantitativ zu dokumentieren (Sauer et al. 2016).

Aber nicht nur der zeitliche Verlauf kann mit den Schnittbildgebungen der mimischen Muskulatur besser erfasst werden. Auch eine genaue räumliche Lokalisation der Schädigungen könnte von großem klinischen Vorteil sein: Logopädie oder Elektrotherapie, Botulinumtoxin, oder selektive Nervenrekonstruktionen, könnten durch diese gut verständlichen Zusatzinformationen genauer eingesetzt werden. Durch die bilddokumentierte Quantifizierung der Therapieeffekte, könnte sowohl die individuelle Therapie optimiert, als auch der Effekt bisher umstrittener Therapieformen genauer untersucht werden.

Die Sonographie hat mit ihrer Darstellung in Echtzeit und in direkter Interaktion mit dem Patienten den Vorteil, nicht nur in der Hand des geübten Untersuchers ein wertvolles Bild über die Funktion zu geben, sondern dem Patienten sogar als Biofeedback-Verfahren zu zeigen, wo seine Bewegungsdefizite liegen. Damit lässt sich genau an diesen Muskeln gezielt und unter Echtzeitkontrolle arbeiten. Dies ist zwar auch mit EMG möglich und als Multi-Kanal-Ableitung auch sehr gut für die mimische Muskulatur anwendbar (Volk et al. 2014a), hat aber eine begrenzte räumliche Auflösung und bedarf spezieller EMG-Geräte.

Wie in der vorgelegten Arbeit gezeigt, kann die Muskelsonographie und, in ersten Ansätzen, auch die Kernspintomographie, eine quantitative Diagnostik der mimischen Muskulatur liefern: Bisher konnte der N. facialis in seinem proximalen Verlauf mittels MRT, Sonographie oder CT dargestellt werden. Und die Muskel-Funktion konnte ganz distal und oberflächlich mittels klinischer Bewertungssysteme oder Foto- und Videoaufnahmen der Gesichtsoberfläche und deren dynamischen Veränderungen dokumentiert werden. Inzwischen ist das funktionell entscheidende Bindeglied zwischen N. facialis und Gesichtshaut, die Muskulatur selbst, quantifizierbar. Eine Bildanalyse der Schnittbilder, der für die Mimik verantwortlichen Muskulatur, ist direkt möglich. Mehr noch: da die Sonographie-Messwiederholungen erlauben, sind sowohl dynamische Aufnahmen der Bewegungsabläufe im sub-Sekunden-Bereich, als auch eine engmaschige Überwachung von langfristigen morphologischen Veränderungen wie Atrophie, Hypertrophie und, indirekt Denervierung und Muskelreinnervation, über Wochen und Monate möglich. Dies erlaubt ein tieferes Verständnis der Zusammenhänge zwischen Nervenschädigungen und den Funktionen der mimischen Muskulatur. Damit sind bildgebende Werkzeuge verfügbar und weitgehend anwendungsreif, die die Pathophysiologie der idiopathischen Fazialisparese, aber, zum Beispiel auch, den Trainingseffekt von Logopädie und Physiotherapie auf die Gesichtsmuskulatur, die Wirkung von Botulinumtoxin, natürliche Wachstums- und Alterungsprozesse, oder die Heilung nach Reinnervationschirurgie quantitativ dokumentieren können. Auf quantitativen Daten beruhende zeitlich und räumlich detaillierte Modelle der pathophysiologischen Vorgänge sind so erstmals möglich. Durch die gute zeitliche und räumliche Auflösung ist aber auch eine biomechanische Modellierung des Gesichtes denkbar, die es erlauben sollte, bereits aus den oberflächlichen Veränderungen der Mimik, wie zum Beispiel 3D-Kameras sie erfassen können, Rückschlüsse auf die Funktion und das Volumen der mimischen Muskulatur zu ziehen.

## 7. Literaturverzeichnis:

- Ahn S, Park SH, Lee KH. 2013. How to demonstrate similarity by using noninferiority and equivalence statistical testing in radiology research. *Radiology*, 267 (2):328-338.
- Al-Faky YH. 2013. Physiological utility of ultrasound biomicroscopy in the lacrimal drainage system. *Br J Ophthalmol*, 97 (10):1325-1329.
- Balogh B, Fruhwald F, Millesi W, Millesi H, Firbas W. 1988a. Sonoanatomy of the muscles of facial expression. *Surg Radiol Anat*, 10 (2):101-106.
- Balogh B, Wessig M, Waldhausl P, Millesi W, Millesi H, Firbas W, Fruhwald F. 1988b. Photogrammetry of the muscles of facial expression. *Acta Anat (Basel)*, 133 (3):183-187.
- Boon AJ, Sekiguchi H, Harper CJ, Strommen JA, Ghahfarokhi LS, Watson JC, Sorenson EJ. 2014. Sensitivity and specificity of diagnostic ultrasound in the diagnosis of phrenic neuropathy. *Neurology*, 83 (14):1264-1270.
- Castro-Mateos I, Pozo J, Eltes PE, Rio LD, Lazary A, Frangi AF. 2014. 3D segmentation of annulus fibrosus and nucleus pulposus from T2-weighted magnetic resonance images. *Phys Med Biol*, 59 (24):7847-7864.
- Czembrerek H, Frühwald F, Gritzmann N, Hrsg. 1988. *Kopf-Hals-Sonographie*. Aufl. Vienna: Springer.
- Darwin C. 1872. *The expression of the emotions in man and animals* London: John Murray.
- de Korte CL, van Hees N, Lopata RG, Weijers G, Katsaros C, Thijssen JM. 2009. Quantitative assessment of oral orbicular muscle deformation after cleft lip reconstruction: an ultrasound elastography study. *IEEE Trans Med Imaging*, 28 (8):1217-1222.
- Delcker A, Walker F, Caress J, Hunt C, Tegeler C. 1999. In vitro measurement of muscle volume with 3-dimensional ultrasound. *Eur J Ultrasound*, 9 (2):185-190.
- Demirci H, Nelson CC. 2007. Ultrasound biomicroscopy of the upper eyelid structures in normal eyelids. *Ophthal Plast Reconstr Surg*, 23 (2):122-125.
- Duchenne de Boulogne G-B. 1862. *Mécanisme de la physionomie humaine, ou Analyse électro-physiologique de l'expression des passions applicable à la pratique des arts plastiques*. Aufl. Renouard.
- English C, Fisher L, Thoires K. 2012. Reliability of real-time ultrasound for measuring skeletal muscle size in human limbs in vivo: a systematic review. *Clin Rehabil*, 26 (10):934-944.
- Fetzer A. 2011. 3D Oberflächeninterpolation für die interaktive Segmentierung medizinischer Strukturen [Diplomarbeit] [Diplomarbeit]. FH Heilbronn.
- Fischbein NJ, Kaplan MJ, Jackler RK, Dillon WP. 2001. MR imaging in two cases of subacute denervation change in the muscles of facial expression. *Am J Neuroradiol*, 22 (5):880-884.
- Freilinger G, Gruber H, Happak W, Pechmann U. 1987. Surgical anatomy of the mimic muscle system and the facial nerve: importance for reconstructive and aesthetic surgery. *Plast Reconstr Surg*, 80 (5):686-690.
- Freilinger G, Happak W, Burggasser G, Gruber H. 1990. Histochemical mapping and fiber size analysis of mimic muscles. *Plast Reconstr Surg*, 86 (3):422-428.
- Frühwald F. 1988. *Faciale Weichteile*. In: Czembrerek H, Frühwald F, Gritzmann N, Hrsg. *Kopf-Hals-Sonographie*. Erste Aufl. Vienna: Springer, 59-70.
- Fujita T. 1934. Über die periphere Ausbreitung des N. facialis beim Menschen. *Gegenbaurs Morphologisches Jahrbuch*, Bd. 73 (1):38.

- Gargiulo P, Klingner C, Friðgeirsson EA, Burmeister HP, Volk GF, Guntinas-Lichius O. 2011. Side differences in MRI-scans in facial palsy: 3-D modeling, segmentation and gray value analysis. *Ergife Palace Hotel, Rome, Italy*:
- Gilden DH. 2004. Clinical practice. Bell's Palsy. *N Engl J Med*, 351 (13):1323-1331.
- Gionhaku N, Lowe AA. 1989. Relationship between jaw muscle volume and craniofacial form. *J Dent Res*, 68 (5):805-809.
- Goto TK, Tokumori K, Nakamura Y, Yahagi M, Yuasa K, Okamura K, Kanda S. 2002. Volume changes in human masticatory muscles between jaw closing and opening. *J Dent Res*, 81 (6):428-432.
- Grimm A, Decard BF, Axer H, Fuhr P. 2015a. The Ultrasound pattern sum score - UPSS. A new method to differentiate acute and subacute neuropathies using ultrasound of the peripheral nerves. *Clin Neurophysiol*,
- Grimm A, Prell T, Decard BF, Schumacher U, Witte OW, Axer H, Grosskreutz J. 2015b. Muscle ultrasonography as an additional diagnostic tool for the diagnosis of amyotrophic lateral sclerosis. *Clin Neurophysiol*, 126 (4):820-827.
- Grimm A, Teschner U, Porzelius C, Ludewig K, Zielske J, Witte OW, Brunkhorst FM, Axer H. 2013. Muscle ultrasound for early assessment of critical illness neuromyopathy in severe sepsis. *Crit Care*, 17 (5):R227.
- Grosheva M, Wittekindt C, Guntinas-Lichius O. 2008. Prognostic value of electroneurography and electromyography in facial palsy. *Laryngoscope*, 118 (3):394–397.
- Guntinas-Lichius O. 2004. The facial nerve in the presence of a head and neck neoplasm: assessment and outcome after surgical management. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*, 12 (2):133-141.
- Guntinas-Lichius O, Angelov DN, Stennert E, Neiss WF. 1997. Delayed hypoglossal-facial nerve suture after predegeneration of the peripheral facial nerve stump improves the innervation of mimetic musculature by hypoglossal motoneurons. *J Comp Neurol*, 387 (2):234-242.
- Happak W, Burggasser G, Liu J, Gruber H, Freilinger G. 1994. Anatomy and histology of the mimic muscles and the supplying facial nerve. *Eur Arch Otorhinolaryngol*:S85-86.
- Happak W, Liu J, Burggasser G, Flowers A, Gruber H, Freilinger G. 1997. Human facial muscles: Dimensions, motor endplate distribution, and presence of muscle fibers with multiple motor endplates. *Anatomical Record*, 249 (2):276-284.
- Heaton JT, Sheu SH, Hohman MH, Knox CJ, Weinberg JS, Kleiss IJ, Hadlock TA. 2014. Rat whisker movement after facial nerve lesion: evidence for autonomic contraction of skeletal muscle. *Neuroscience*, 265:9-20.
- Heckmann JG, Lang C, Glocker FX, Urban P, Bischoff C, Weder B, Reiter G, Meier U, Guntinas-Lichius O. 2012. [The New S2k AWMF Guideline for the Treatment of Bell's Palsy in Commented Short Form.]. *Laryngorhinootologie*,
- Hodges PW, Pengel LH, Herbert RD, Gandevia SC. 2003. Measurement of muscle contraction with ultrasound imaging. *Muscle Nerve*, 27 (6):682-692.
- International Anatomical Nomenclature Committee, International Congress of Anatomists. 1989. *Nomina anatomica : authorised by the Twelfth International Congress of Anatomists in London, 1985. 6.te Aufl. Edinburgh [u.a.]: Churchill Livingstone.*
- Karnes HT, March C. 1993. Precision, accuracy, and data acceptance criteria in biopharmaceutical analysis. *Pharm Res*, 10 (10):1420-1426.
- Kaylie DM, Wax MK, Weissman JL. 2003. Preoperative facial muscle imaging predicts final facial function after facial nerve grafting. *Am J Neuroradiol*, 24 (3):326–330.
- Kaylie DM, Jackson CG, Aulino JM, Gardner EK, Weissman JL. 2004. Preoperative appearance of facial muscles on magnetic resonance predicts final facial function after acoustic neuroma surgery. *Otol Neurotol*, 25 (4):622–626.

- Kiliaridis S, Kalebo P. 1991. Masseter muscle thickness measured by ultrasonography and its relation to facial morphology. *J Dent Res*, 70 (9):1262-1265.
- Kimura J, Rodnitzky RL, Okawara SH. 1975. Electrophysiologic analysis of aberrant regeneration after facial nerve paralysis. *Neurology*, 25 (10):989-993.
- Koerte IK, Schroeder AS, Fietzek UM, Borggraefe I, Kerscher M, Berweck S, Reiser M, Ertl-Wagner B, Heinen F. 2013. Muscle atrophy beyond the clinical effect after a single dose of OnabotulinumtoxinA injected in the procerus muscle: a study with magnetic resonance imaging. *Dermatol Surg*, 39 (5):761–765.
- Korsager AS, Fortunati V, van der Lijn F, Carl J, Niessen W, Østergaard LR, van Walsum T. 2015. The use of atlas registration and graph cuts for prostate segmentation in magnetic resonance images. *Med Phys*, 42 (4):1614.
- Kring AM, Gordon AH. 1998. Sex differences in emotion: expression, experience, and physiology. *J Pers Soc Psychol*, 74 (3):686-703.
- LaFrance M, Hecht MA, Paluck EL. 2003. The contingent smile: a meta-analysis of sex differences in smiling. *Psychol Bull*, 129 (2):305-334.
- Lahat E, Heyman E, Barkay A, Goldberg M. 2000. Asymmetric crying facies and associated congenital anomalies: Prospective study and review of the literature. *Journal of Child Neurology*, 15 (12):808-810.
- McAlister RW, Harkness EM, Nicoll JJ. 1998. An ultrasound investigation of the lip levator musculature. *Eur J Orthod*, 20 (6):713-720.
- Meyer A. 2016. Magnetresonanztomographie zur Quantifizierung der mimischen Muskulatur von Probanden - Erstellung einer Segmentierungsanleitung [Dissertation] Jena: Friedrich-Schiller-Universität.
- Millesi W, Fruhwald F, Balogh B, Scholz F. 1988. [Clinical imaging of the mimetic muscles using high resolution ultrasound]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 20 (2):59-62.
- Monini S, Lazzarino AI, Iacolucci C, Buffoni A, Barbara M. 2010. Epidemiology of Bell's palsy in an Italian Health District: incidence and case-control study. *Acta Otorhinolaryngologica Italica*, 30 (4):198-204.
- Nada Y, Sasaki K, Nozaki M, Soejima K. 1998. Congenital partial absence of the facial muscles. *British Journal of Plastic Surgery*, 51 (2):138-141.
- Olszewski R, Liu Y, Duprez T, Xu TM, Reychler H. 2009. Three-dimensional appearance of the lips muscles with three-dimensional isotropic MRI: in vivo study. *International journal of computer assisted radiology and surgery*, 4 (4):349–352.
- Peetrons P. 2002. Ultrasound of muscles. *Eur Radiol*, 12 (1):35-43.
- Picelli A, Tamburin S, Cavazza S, Scampoli C, Manca M, Cosma M, Berto G, Vallies G, Roncari L, Melotti C, Santilli V, Smania N. 2014. Relationship between ultrasonographic, electromyographic, and clinical parameters in adult stroke patients with spastic equinus: an observational study. *Arch Phys Med Rehabil*, 95 (8):1564-1570.
- Pillen S, van Alfen N. 2011. Skeletal muscle ultrasound. *Neurol Res*, 33 (10):1016–1024.
- Pillen S, Arts IM, Zwarts MJ. 2008. Muscle ultrasound in neuromuscular disorders. *Muscle Nerve*, 37 (6):679-693.
- Raadsheer MC, van Eijden TMGJ, van Ginkel FC, Prahl-Andersen B. 2004. Human jaw muscle strength and size in relation to limb muscle strength and size. *European Journal of Oral Sciences*, 112 (5):398-405.
- Rani S, Ravi MS. 2010. Masseter muscle thickness in different skeletal morphology: an ultrasonographic study. *Indian J Dent Res*, 21 (3):402-407.
- Rankin G, Stokes M, Newham DJ. 2005. Size and shape of the posterior neck muscles measured by ultrasound imaging: normal values in males and females of different ages. *Man Ther*, 10 (2):108-115.

- Reimers CD, Harder T, Saxe H. 1998. Age-related muscle atrophy does not affect all muscles and can partly be compensated by physical activity: an ultrasound study. *J Neurol Sci*, 159 (1):60-66.
- Rezaeitabar Y, Ulusoy I. 2012. Automatic 3D segmentation of individual facial muscles using unlabeled prior information. *International journal of computer assisted radiology and surgery*, 7 (1):35-41.
- Roedel R, Christen HJ, Laskawi R. 1998. Aplasia of the depressor anguli oris muscle: a rare cause of congenital lower lip palsy? *Neuropediatrics*, 29 (4):215-219.
- Sapin SO, Miller AA, Bass HN. 2005. Neonatal asymmetric crying facies: A new look at an old problem. *Clinical Pediatrics*, 44 (2):109-119.
- Satiroglu F, Arun T, Isik F. 2005. Comparative data on facial morphology and muscle thickness using ultrasonography. *Eur J Orthod*, 27 (6):562-567.
- Sauer M. 2013. Statische und dynamische Sonographie der mimischen Muskulatur bei Probanden und Patienten mit peripherer Fazialisparese - Erhebung geschlechtsspezifischer Referenzbereiche [Dissertation] Jena: Friedrich-Schiller-Universität.
- Sauer M, Guntinas-Lichius O, Volk GF. 2016. Ultrasound echomyography of facial muscles in diagnosis and follow-up of facial palsy in children. *Eur J Paediatr Neurol*,
- Scholz F, Millesi W, Fruhwald F. 1988. [Needle electromyography with sonographic control of needle position]. *EEG EMG Z Elektroenzephalogr Elektromyogr Verwandte Geb*, 19 (1):35-37.
- Schumann NP, Bongers K, Guntinas-Lichius O, Scholle HC. 2010. Facial muscle activation patterns in healthy male humans: a multi-channel surface EMG study. *J Neurosci Methods*, 187 (1):120-128.
- Seddon HJ, Medawar PB, Smith H. 1943. Rate of regeneration of peripheral nerves in man. *J Physiol*, 102 (2):191-215.
- Sener E, Mumcuoglu EU, Hamcan S. 2016. Bayesian segmentation of human facial tissue using 3D MR-CT information fusion, resolution enhancement and partial volume modelling. *Comput Methods Programs Biomed*, 124:31-44.
- Sharma PR, Zuker RM, Borschel GH. 2016. Gracilis Free Muscle Transfer in the Treatment of Pediatric Facial Paralysis. *Facial Plast Surg*, 32 (2):199-208.
- Simoneau EM, Longo S, Seynnes OR, Narici MV. 2012. Human muscle fascicle behavior in agonist and antagonist isometric contractions. *Muscle Nerve*, 45 (1):92-99.
- Sittel C, Stennert E, Thumfart WF, Dapunt U, Eckel HE. 2001. Prognostic value of laryngeal electromyography in vocal fold paralysis. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 127 (2):155-160.
- Steenvoorden MMC, Huizinga TWJ, Verzijl N, Bank RA, Runday KH, Luning HAF, Lateber FPJG, Toes REM, DeGroot J. 2005. Rage activation in OA leads to increased stimulation of chondrocytes and synoviocytes. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 64:126-126.
- Sullivan FM, Swan IRC, Donnan PT, Morrison JM, Smith BH, McKinsty B, Davenport RJ, Vale LD, Clarkson JE, Hammersley V, Hayavi S, McAteer A, Stewart K, Daly F. 2007. Early treatment with prednisolone or acyclovir in Bell's palsy. *N Engl J Med*, 357 (16):1598-1607.
- van Alfen N, Gilhuis HJ, Keijzers JP, Pillen S, Van Dijk JP. 2013. Quantitative facial muscle ultrasound: feasibility and reproducibility. *Muscle Nerve*, 48 (3):375-380.
- VanHolsbeeck MT, Introcaso JH. 2001. *Musculoskeletal ultrasound*. 2nd edte Aufl. St. Louis [u.a.]: Mosby.
- Vinkka-Puhakka H, Kean MR, Heap SW. 1989. Ultrasonic investigation of the circumoral musculature. *J Anat*, 166:121-133.

- Volk GF, Finkensieper M, Guntinas-Lichius O. 2014a. EMG Biofeedback Training at Home for Patient with Chronic Facial Palsy and Defective Healing. *Laryngo-Rhino-Otologie*, 93 (1):15-24.
- Volk GF, Leier C, Guntinas-Lichius O. 2016. Correlation between electromyography and quantitative ultrasonography of facial muscles in patients with facial palsy. *Muscle Nerve*, 53 (5):755-761.
- Volk GF, Sauer M, Pohlmann M, Guntinas-Lichius O. 2014b. Reference values for dynamic facial muscle ultrasonography in adults. *Muscle Nerve*, 50 (3):348–357.
- Volk GF, Klingner C, Finkensieper M, Witte OW, Guntinas-Lichius O. 2013a. Prognostication of recovery time after acute peripheral facial palsy: a prospective cohort study. *BMJ open*, 3 (6)
- Volk GF, Pohlmann M, Sauer M, Finkensieper M, Guntinas-Lichius O. 2014c. Quantitative ultrasonography of facial muscles in patients with chronic facial palsy. *Muscle Nerve*, 50 (3):358–365.
- Volk GF, Wystub N, Pohlmann M, Finkensieper M, Chalmers HJ, Guntinas-Lichius O. 2013b. Quantitative ultrasonography of facial muscles. *Muscle Nerve*, 47 (6):878–883.
- Walker FO, Donofrio PD, Harpold GJ, Ferrell WG. 1990. Sonographic imaging of muscle contraction and fasciculations: a correlation with electromyography. *Muscle Nerve*, 13 (1):33-39.
- Waller BM, Cray JJ, Burrows AM. 2008. Selection for universal facial emotion. *Emotion (Washington, DC)*, 8 (3):435–439.
- Zilles K, Tillmann BN, Zilles T. 2010. *Anatomie : mit 121 Tabellen*. Aufl. Heidelberg [u.a.]: Springer.

## **8. Anhang**

### *8.1 Ehrenwörtliche Erklärung*

Ich erkläre hiermit, daß mir die Habilitationsordnung der Friedrich-Schiller-Universität Jena vom September 2012 bekannt ist.

Ferner erkläre ich, daß ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Bei der Auswahl und Auswertung folgenden Materials haben mir die nachstehend aufgeführten Personen in der jeweils beschriebenen Weise unentgeltlich geholfen:

Nadja Wystub: Datensammlung und Auswertung von Ultraschallaufnahmen im Rahmen der eigenen Promotion und der Co-Autorenschaft.

Martin Pohlmann: Datensammlung und Auswertung von Ultraschallaufnahmen im Rahmen der eigenen Promotion und der Co-Autorenschaften.

Maik Sauer: Datensammlung und Auswertung von Ultraschallaufnahmen, Erstellung von Grafiken und der Anleitung zur Sonographie der mimischen Muskulatur im Rahmen der eigenen Promotion und der Co-Autorenschaften.

Inna Karamyan: Segmentierung von MRT-Aufnahmen im Rahmen der Co-Autorenschaft.

Christian Leier: Datensammlung und Auswertung von Ultraschall- und EMG-Aufnahmen im Rahmen der eigenen Promotion und der Co-Autorenschaft

Weitere Personen waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung der Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich hierfür nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Arbeit stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich versichere, daß ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit gesagt und nichts verschwiegen habe.

Jena, den 17.06.2017

Gerd Fabian Volk

## 8.2 Liste der Originalarbeiten

Die hier vorgelegte kumulative Habilitationsschrift beruht auf folgenden, in Kopie beigelegten, veröffentlichten wissenschaftlichen Arbeiten:

1. **Volk GF**, Wystub N, Pohlmann M, Finkensieper M, Chalmers HJ, Guntinas-Lichius O. (2013) Quantitative ultrasonography of facial muscles. *Muscle Nerve*. 47(6):878-83.
2. **Volk GF**, Pohlmann M, Sauer M, Finkensieper M, Guntinas-Lichius O (2014) Quantitative ultrasonography of facial muscles in patients with chronic facial palsy. *Muscle Nerve*. 50(3):358-65.
3. **Volk GF**, Pohlmann M, Finkensieper M, Chalmers HJ, Guntinas-Lichius O. (2014) 3D-Ultrasonography for evaluation of facial muscles in patients with chronic facial palsy or defective healing: a pilot study. *BMC Ear Nose Throat Disord*. 25;14:4.
4. **Volk GF**, Karamyan I, Klingner CM, Reichenbach JR, Guntinas-Lichius O. (2014) Quantitative magnetic resonance imaging volumetry of facial muscles in healthy and patients with facial palsy. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2(6):e173.
5. **Volk GF**, Sauer M, Pohlmann M, Guntinas-Lichius O (2014) Reference values for dynamic facial muscle ultrasonography in adults. *Muscle Nerve*. 50(3):348-57.
6. **Volk GF**, Leier C, Guntinas-Lichius O. (2015) Correlation between electromyography and quantitative ultrasonography of facial muscles in patients with facial palsy. *Muscle Nerve*. 53(5):755-61. doi: 10.1002/mus.24931.

### 8.3 *Anleitung zur Sonographie der mimischen Muskulatur*

Die im Folgenden abgedruckte Anleitung zur Sonographie der mimischen Muskulatur wurde 2013 im Rahmen seiner Doktorarbeit von Maik Sauer erstellt (Promotion an der Medizinischen Fakultät, Friedrich-Schiller-Universität Jena). Die Absicht war dabei, nicht nur die gut reproduzierbaren und klinisch relevanten Muskeln zu beschreiben, die in die oben genannten Publikationen eingegangen sind, sondern alle mit heutigen Standard-Sonographiegeräten darstellbaren mimischen Muskeln - immerhin 14 von insgesamt 23 solcher Muskeln. Sonographiebeispiele, Skizzen und ein detaillierter Anleitungstext ermöglichen auch Ultraschallanfängern reproduzierbare Schnittbilder der Zielmuskeln zu erzeugen.

# Anleitung zur Sonographie der mimischen Muskulatur

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	2
2. Allgemeine Hinweise zu Durchführung der Untersuchung .....	2
3. Position des Markers am Schallkopf .....	3
4. Position und Haltung des Schallkopfes .....	4
5. Anatomie der mimischen Muskulatur .....	4
6. Anatomie der Kaumuskulatur .....	7
7. Sonographische Darstellung der mimischen Muskulatur .....	8
7.1 Venter frontalis, M. occipitofrontalis .....	8
7.2 M. corrugator supercilii .....	9
7.3 M. procerus .....	10
7.4 M. orbicularis oculi .....	11
7.5 M. nasalis .....	12
7.6 Mm. mentales .....	13
7.7 M. orbicularis oris .....	14
7.8 M. depressor anguli oris / M. depressor labii inferioris .....	15
7.9 M. risorius .....	16
7.10 M. zygomaticus major .....	17
7.11 M. zygomaticus minor .....	18
7.12 M. levator labii superioris .....	19
7.13 M. levator labii superioris alaeque nasi .....	20
7.14 M. buccinator .....	21
8. Sonographie Schnitte der Kaumuskulatur .....	22
8.1 M. temporalis .....	22
8.2 M. masseter .....	23
9. Powerdoppler – Sonographie der Gesichtsarterien .....	24
9.1 A. facialis .....	24
9.2 A. temporalis profunda anterior .....	25
9.3 A. labialis superior .....	26

## 1. Einleitung

Die vorliegende Anleitung zur Sonographie der mimischen Muskulatur soll dem interessierten Sonographie-Anwender dabei helfen, die zum Teil äußerst komplexen sonographischen Schnittbilder der mimischen- und Kaumuskulatur besser nachvollziehen und selbst reproduzieren zu können. Aufgrund der besonderen Anatomie der mimischen Muskulatur ist es zunächst nicht immer einfach einzelne mimische Muskeln klar gegen das umgebende Fett- und Bindegewebe abzugrenzen. Um diesem Problem entgegenzuwirken werden im Folgenden alle sonographischen Bilder von einer entsprechenden Schemazeichnung begleitet. Um die dynamischen Veränderungen der verschiedenen Muskeln bei Bewegung zu verdeutlichen wird jeweils ein sonographisches Bild in Relaxation sowie bei maximaler willkürlicher Kontraktion dargestellt. Unter den entsprechenden Bildern werden die mit Zahlen markierten anatomischen Strukturen benannt und erläutert. Um die Orientierung zu erleichtern und den Atlas insgesamt übersichtlich zu gestalten wurden ausnahmslos Bilder von der rechten Gesichtshälfte verwendet. Außerdem wurde mit sog. Markern gearbeitet. Ihre Funktion und Bedeutung wird im Punkt drei ausführlich illustriert.

## 2. Allgemeine Hinweise zu Durchführung der Untersuchung

Es sollte stets ausreichend Ultraschallgel verwendet werden. Hierdurch wird eine optimale Ankopplung an die Haut erreicht sowie eine Kompression der oberflächlichen Muskeln und Gefäße verhindert. Die Verwendung von Vorlaufstreifen hat sich in der Praxis als ungeeignet erwiesen. Vorlaufstreifen sind für den Untersuchenden oft hinderlich und werden vom zu Untersuchenden als unangenehm empfunden. Auch die Bildqualität kann nur unwesentlich verbessert werden.

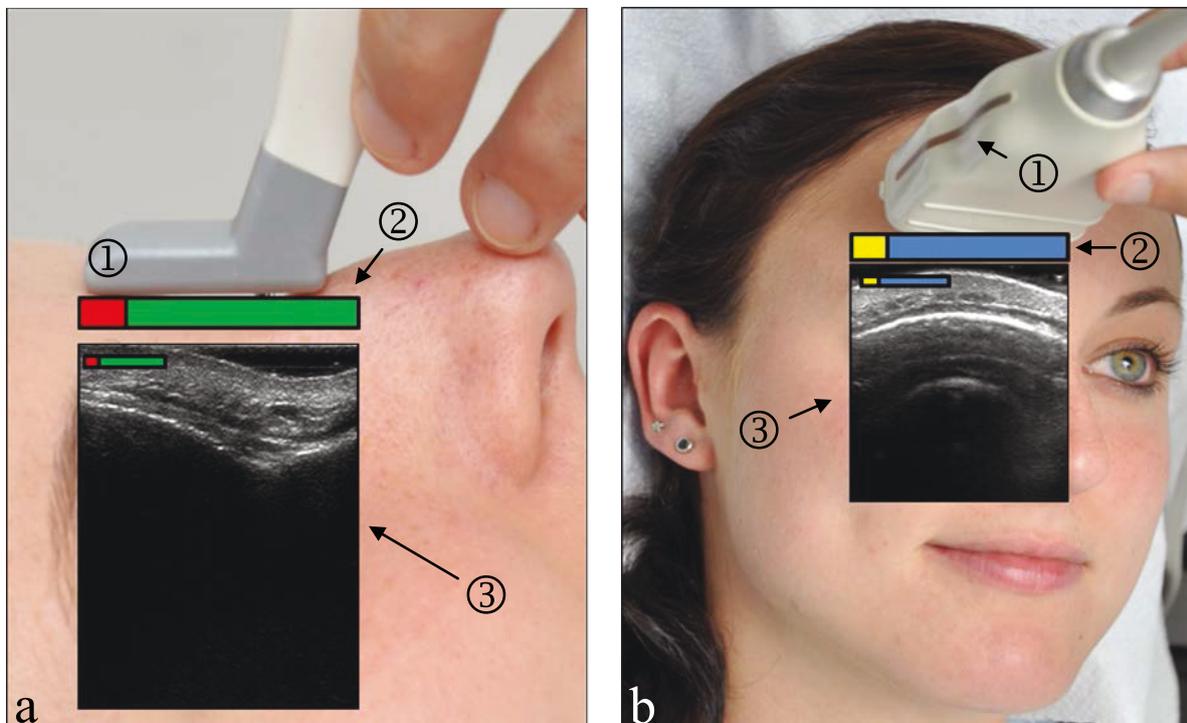
Sollen die dynamischen Eigenschaften der Muskeln beurteilt werden, hat es sich als sehr hilfreich erwiesen die entsprechenden Bewegungen im Vorfeld der Untersuchung zu üben. Die Bewegungen sollten vom Untersuchenden ausführlich erläutert und demonstriert werden. Da es vielen Menschen sehr schwer fällt mimische Bewegungen bewusst auszuführen, wird die Verwendung eines Spiegels in der Übungsphase sowie ggf. auch während der Untersuchung empfohlen.

Kontraktionen der entsprechenden Zielmuskeln können dem Untersuchenden außerdem die eindeutige Identifikation der einzelnen Muskeln erleichtern. Da bei älteren und/oder adipösen Menschen die mimischen Muskeln oft von Binde- und Fettgewebe durchzogen sind und sich daher echoreich darstellen, ist die Identifikation durch Kontraktion hier besonders angezeigt. Dabei sollte immer darauf geachtet werden, dass der zu Untersuchende wirklich die geforderte Bewegung ausführt.

Soll die Perfusion bestimmt werden, sollte dies stets vor der Kontraktion erfolgen. So können Veränderungen des Blutflusses durch Gefäßkompression oder vasoaktive Mediatoren minimiert werden.

### 3. Position des Markers am Schallkopf

Um die Position des Schallkopfes besser nachvollziehbar zu machen wurde mit sog. Markern gearbeitet. Am L 15-7io „Hockey Stick“-Linearschallkopf befindet sich der Marker am vorderen Ende des Schallkopfes. Um die Position des Schallkopfes auch in den verschiedenen Abbildungen zu verdeutlichen wurde für den L 15-7io „Hockey Stick“-Linearschallkopf ein grüner Schemaschallkopf mit rotem Kopf verwendet. Der rote Kopf entspricht der Markerposition am Schallkopf, der grüne Anteil entspricht der Auflagefläche des Schallkopfes. Am L 12-3 Linearschallkopf wird der Marker durch eine braune Linie an einer Seite des Schallkopfes repräsentiert. Der entsprechende Schemaschallkopf ist blau mit gelbem Kopf. Hier entspricht der gelbe Kopf der Markerposition am Schallkopf, der blaue Anteil repräsentiert die Auflagefläche des Schallkopfes. Durch die Verwendung der Marker kann sich der Untersucher jederzeit problemlos orientieren. Wird der Schallkopf beispielsweise nach rechts ausgerichtet, befinden sich die entsprechenden Strukturen auch rechts im Ultraschallbild.



**Abb. 1 Erläuterung der Marker**

a) Schallkopfposition zur Darstellung des M. procerus 1 Position des Markers am L 15-7io „Hockey Stick“-Linearschallkopf. 2 Schemaschallkopf grün mit rotem Kopf. Der rote Kopf entspricht dem Marker am Schallkopf. 3 Ultraschallbild des M. procerus mit integriertem Schemaschallkopf oben links im Bild.

b) Schallkopfposition zur Darstellung des M. frontalis 1 L 12-3 Linearschallkopf mit Markerlinie 2 Schemaschallkopf blau mit gelbem Kopf. Der gelbe Kopf repräsentiert die Markerlinie am Schallkopf. 3 Ultraschallbild des M. frontalis rechts mit integriertem Schemaschallkopf links oben im Bild.



Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
<b>Muskeln im Bereich der Nase</b>			
<b>M. procerus</b>	<b>Ursprung</b> Os nasale, Cartilago nasi lateralis <b>Ansatz</b> Haut der Glabella	<b>Innervation</b> ▪ R. zygomaticus des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. dorsalis nasi, A. supratrochlearis und Äste der A. ethmoidalis anterior der A. ophthalmica	Verschiebung der Haut über der Glabella nach unten und Bildung einer Querfalte über der Nasenwurzel
<b>M. nasalis</b> ▪ <b>Pars transversa</b>  ▪ <b>Pars alaris</b>	<b>Ursprung</b> Jugum alveolare des Eckzahnes bis in die Fossa canina der Maxilla <b>Ansatz</b> Aponeurose über dem Nasenrücken  <b>Ursprung</b> oberhalb des Jugum alveolare des seitlichen Schneidezahnes <b>Ansatz</b> Haut der Nasenöffnung und des Nasenseptums	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ angularis der A. facialis  <b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. dorsalis nasi und Äste der A. ethmoidalis anterior der A. ophthalmica	Ziehen den Nasenflügel und die Nasenspitze nach unten, leichte Erweiterung des Nasenloches, Vertiefung des Nasenflügelrücken
<b>M. depressor septi nasi</b>	<b>Ursprung</b> oberhalb des Proc. alveolaris des ersten Schneidezahnes <b>Ansatz</b> knorpeliger Teil des Nasenseptums	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici und buccales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. labialis superior der A. facialis	Herabziehen der Nasenspitze und Erweiterung der Nasenlöcher
<b>M. levator labii superioris alaeque nasi</b>	<b>Ursprung</b> Proc. frontalis des Maxilla, Margo infraorbitalis <b>Ansatz</b> Oberlippe, Haut der Nasenflügel	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris ▪ A. labialis superior und Äste der A. angularis der A. facialis	Anheben von Nasenflügel und Oberlippe, Erweiterung der Nasenöffnung
<b>Muskeln im Bereich des Mundes</b>			
<b>M. orbicularis oris</b>          <b>M. buccinator</b>	<b>Ursprung</b> Jugum alveolare des oberen und des unteren Eckzahnes <b>Ansatz</b> Haut der Ober- und Unterlippe  <b>Ursprung</b> Proc. alveolaris maxillae im Bereich der Molaren, Crista buccinatoria im Bereich der Unterkiefermolaren <b>Ansatz</b> Modiolus anguli oris, über dem M. orbicularis oris in der Ober- und Unterlippe	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis im Bereich der Oberlippe ▪ Rr. buccales des N. facialis im Bereich des Mundwinkels ▪ R. marginalis mandibulae des N. facialis im Bereich der Unterlippe <b>Blutversorgung</b> ▪ Aa. labiales superior und inferior der A. facialis  <b>Innervation</b> ▪ Rr. buccales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ Äste der A. facialis und der A. temporalis superficialis ▪ A. buccalis und A. alveolaris superior posterior der A. maxillaris	<b>Gesamter Muskel:</b> Verengen und Schließen der Mundöffnung, Erzeugen der Lippenspannung <b>Alleinige Kontraktion der Pars marginalis:</b> Einziehen des Lippenrotanteils nach innen <b>Alleinige Kontraktion des Pars labialis:</b> Vorwölben der Lippen  Beteiligung am Kauakt, indem er die Speise aus dem Mundvorhof zwischen die Zahnreihen und in die Mundhöhle schiebt. Erzeugung der Wangen- und Lippenspannung.
<b>M. zygomaticus major</b>	<b>Ursprung</b> Os zygomaticum vor der Sutura zygomaticotemporalis <b>Ansatz</b> Haut des Mundwinkels und der Oberlippe	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. zygomaticoorbitalis der A. temporalis superficialis ▪ Äste der A. facialis	Anheben des Mundwinkels nach außen-oben, Vertiefung der Nasolabialfalte und der Lidfalte
<b>M. zygomaticus minor</b>	<b>Ursprung</b> Os zygomaticum medial vom M. zygomaticus major <b>Ansatz</b> Haut des Sulcus nasolabialis	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. zygomaticoorbitalis der A. temporalis superficialis ▪ Äste der A. facialis	Anheben des Mundwinkels nach außen-oben
<b>M. risorius</b>	<b>Ursprung</b> Facia masseterica <b>Ansatz</b> Haut der Oberlippe, Schleimhaut des Vestibulum oris, Modiolus anguli oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. buccales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ Äste der A. facialis	Zug des Mundwinkels nach lateral, Erzeugung einer Falte oberhalb und seitlich der Nasenflügel
<b>M. levator labii superioris</b>	<b>Ursprung</b> Margo infraorbitalis der Maxilla oberhalb des Foramen infraorbitale <b>Ansatz</b> Haut der Oberlippe und des Nasenflügels, M. orbicularis oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris ▪ A. labialis superior und Äste der A. angularis der A. facialis	Anheben der Oberlippe, Erzeugung einer Falte oberhalb und seitlich der Nasenflügel

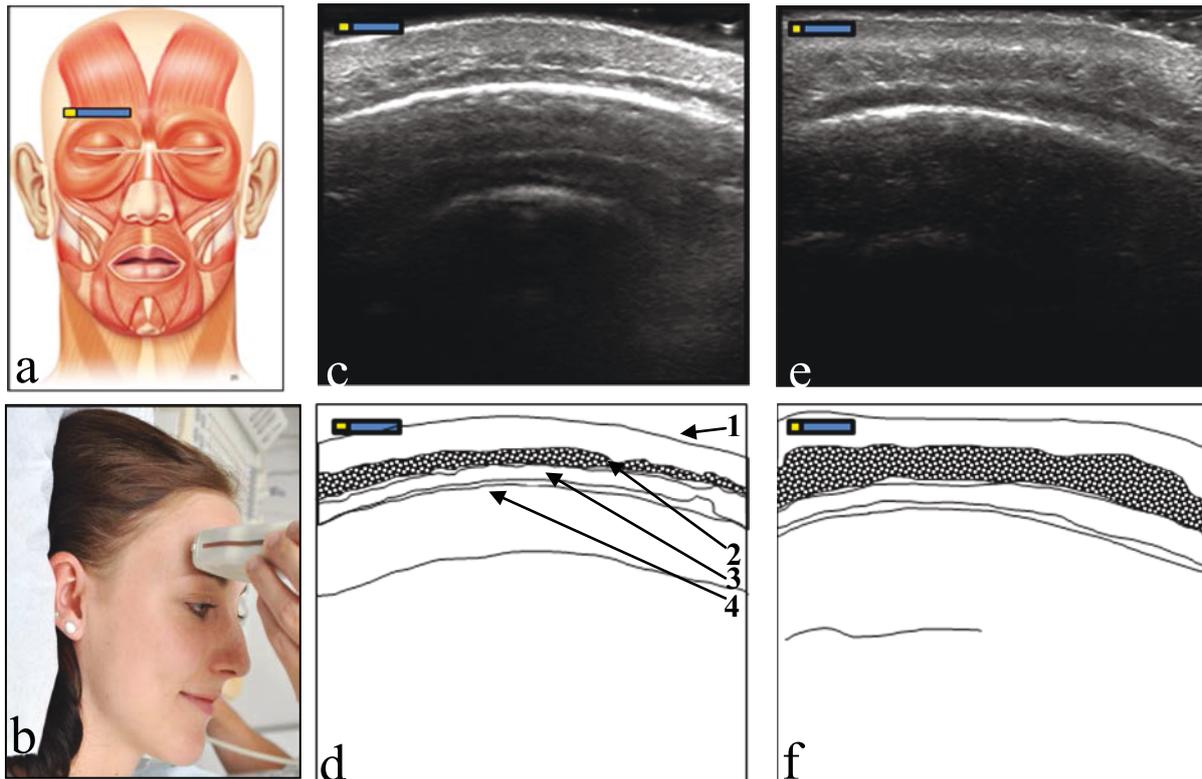
Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
<b>M. levator anguli oris</b> (M. caninus)	<b>Ursprung</b> Fossa canina unterhalb des Foramen infraorbitale <b>Ansatz</b> Haut und Schleimhaut des Mundwinkelbereiches, Modiolus anguli oris, M. orbicularis oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris ▪ Äste der A. angularis und A. labialis superior der A. facialis	Anheben des Mundwinkels nach kranial-medial
<b>M. depressor anguli oris</b> (M. triangularis)	<b>Ursprung</b> Basis mandibulae vom Tuberculum mentale bis zum Jugum alveolare des ersten Molaren <b>Ansatz</b> Haut des Mundwinkels, Modiolus anguli oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. buccales des N. facialis ▪ variabel: R. marginalis mandibulae <b>Blutversorgung</b> ▪ Äste der A. facialis ▪ A. labialis inferior der A. facialis	Zug des Mundwinkels nach unten
<b>M. depressor labii inferioris</b> (M. quadratus inferioris)	<b>Ursprung</b> Basis mandibulae unterhalb des Foramen mentale (Verbindung zum Platysma) <b>Ansatz</b> Haut und Schleimhaut der Unterlippe, Haut des Kinnwulstes, M. orbicularis oris	<b>Innervation</b> ▪ R. marginalis mandibulae des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. labialis inferior der A. facialis	Zug der Unterlippe nach unten-lateral, Vorwölbung des Lippenrotes
<b>M. mentalis</b>	<b>Ursprung</b> Jugum alveolare des seitlichen Schneidezahnes der Mandibula <b>Ansatz</b> Haut des Kinns	<b>Innervation</b> ▪ R. marginalis mandibulae des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. labialis inferior der A. facialis	Verschieben der Haut des Kinns nach oben
<b>Muskeln im Bereich des äußeren Ohres</b>			
<b>M. auricularis anterior</b>	<b>Ursprung</b> Fascia temporalis, Galea aponeurotica <b>Ansatz</b> Spina helices der Ohrmuschel	<b>Innervation</b> ▪ Rr. temporales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ temporalis superficialis	geringgradiger Zug der Ohrmuschel nach vorn
<b>M. auricularis superior</b>	<b>Ursprung</b> Galea aponeurotica <b>Ansatz</b> Hinterfläche der Ohrmuschel im Bereich der Eminentia scaphae und der Eminentia fossae triangularis, Spina helices	<b>Innervation</b> ▪ Rr. temporales und R. auricularis des N. auricularis posterior des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. temporalis superficialis ▪ A. auricularis posterior	geringgradiger Zug der Ohrmuschel nach oben
<b>M. auricularis posterior</b>	<b>Ursprung</b> Proc. mastoideus, Linea nuchalis superior <b>Ansatz</b> Eminentia conchae der Ohrmuschel	<b>Innervation</b> ▪ R. auricularis des N. auricularis posterior des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. auricularis posterior ▪ R. auricularis der A. occipitalis	geringgradiger Zug der Ohrmuschel nach hinten
<b>Muskeln des Halses</b>			
<b>Platysma</b>	<b>Ursprung</b> Basis mandibulae <b>Ansatz</b> Haut der oberen Brustregion	<b>Innervation</b> ▪ R. colli des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ R. superficialis der A. transversa colli ▪ A. submentalis der A. facialis	<b>Gesichtsteil:</b> Herabziehen der Mundwinkel nach lateral <b>Halsteil:</b> Verschieben der Haut zur Mandibula Spannen von Haut und Unterhautgewebe

## 6. Anatomie der Kaumuskulatur

Muskel	Ursprung / Ansatz	Innervation / Blutversorgung	Funktion
<b>M. masseter</b>	<p><b>Ursprung</b>  <b>Pars profunda:</b> Facies temporalis und Innenseite des Proc. temporalis des Os zygomaticum  <b>Pars superficialis:</b> Facies lateralis und Proc. temporalis des Os zygomaticum  <b>Ansatz</b>  <b>Pars profunda:</b> Ramus mandibulae bis zur Basis des Proc. coronoideus und des Proc. condylaris  <b>Pars superficialis:</b> Tuberositas masseterica an der Außenfläche des Angulus mandibulae</p>	<p><b>Innervation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ N. massetericus des</li> <li>▪ N. mandibularis aus dem N. trigeminus</li> </ul> <p><b>Blutversorgung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A. masseterica der</li> <li>▪ A. maxillaris</li> <li>▪ A. facialis</li> <li>▪ A. transversa faciei der A. temporalis superficialis</li> <li>▪ A. buccales der</li> <li>▪ A. maxillaris</li> </ul>	<p>Kräftiges Heben (Adduktion) des Unterkiefers, Unterstützung der Protrusion des Unterkiefers</p>
<b>M. temporalis</b>	<p><b>Ursprung</b>  Linea temporalis inferior der Facies externa des Os parietale und der Facies temporalis des Os frontale, Pars squamosa des Os temporale, Facies temporalis des Os zygomaticum, Facies temporalis des Os sphenoidale bis zur Crista infratemporalis  <b>Ansatz</b>  Proc. coronoideus der Mandibula bis in das Trigonum retromolare</p>	<p><b>Innervation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nn. temporales profundi des N. mandibularis aus dem N. trigeminus</li> </ul> <p><b>Blutversorgung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aa. temporales profundae anterior und posterior der A. maxillaris</li> <li>▪ A. temporalis media der A. temporalis superficialis</li> </ul>	<p><b>beidseitig:</b>  kräftiges Heben (Adduktion) des Unterkiefers, Retrusion des Unterkiefers, Unterstützung der Protrusion (vorderer Anteil)  <b>einseitig:</b>  Stabilisierung des Caput mandibulae, Verlagerung des Caput mandibulae nach vorn und Drehung zur kontralateralen Seite</p>
<b>M. pterygoideus medialis</b>	<p><b>Ursprung</b>  <b>Pars medialis:</b> in der Fossa pterygoidea an der Facies medialis der Lamina lateralis proc. pterygoidei des Os sphenoidale  <b>Pars lateralis:</b>  Facies lateralis der Lamina lateralis processus pterygoidea des Os sphenoidale, Proc. pyramidalis ossis palatine, Tuber maxillae  <b>Ansatz</b>  Tuberositas pterygoidea an der Innenseite des Angulus mandibulae</p>	<p><b>Innervation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ N. pterygoideus medialis des N. mandibularis aus dem N. trigeminus</li> </ul> <p><b>Blutversorgung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A. alveolaris superior</li> <li>▪ A. alveolaris inferior</li> <li>▪ A. buccalis der</li> <li>▪ A. maxillaris</li> </ul>	<p><b>beidseitig:</b>  Heben (Adduktion) und Protrusion des Unterkiefers  <b>einseitig:</b>  Mahlbewegung, Verlagerung des Caput mandibulae nach vorn und Drehung zur kontralateralen Seite</p>
<b>M. pterygoideus lateralis</b>	<p><b>Ursprung</b>  <b>Caput superius:</b>  Facies temporalis und Crista infratemporalis des Ala major des Os sphenoidale  <b>Caput inferius:</b>  Facies lateralis der Lamina lateralis processus pterygoidea des Os sphenoidale  <b>Ansatz</b>  Caput superius: Fovea pterygoidea, Discus articularis  Caput inferius: Fovea pterygoidea</p>	<p><b>Innervation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ N. pterygoideus lateralis des N. mandibularis aus dem N. trigeminus</li> </ul> <p><b>Blutversorgung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ R. pterygoideus der A. maxillaris</li> </ul>	<p><b>Caput superius:</b>  <b>beidseitig:</b>  Fixierung des Caput mandibulae  <b>einseitig:</b>  Mahlbewegung, Stabilisierung des ruhenden Caput mandibulae  <b>Caput inferius:</b>  <b>beidseitig:</b>  Einleitung der Kieferöffnung  <b>einseitig:</b>  Mahlbewegung</p>

## 7. Sonographische Darstellung der mimischen Muskulatur

### 7.1 Venter frontalis, M. occipitofrontalis



**Abb. 2** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem Venter frontalis, M. occipitofrontalis b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den Venter frontalis c sonographisches Bild des Venter frontalis in Ruhe d Schemabild des Venter frontalis in Ruhe 1 äußere Haut 2 Venter frontalis, M. occipitofrontalis rechts 3 subaponeurotischer Verschiebespalt 4 Os frontale e sonographisches Bild des Venter frontalis bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. frontalis bei maximaler Kontraktion

#### Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird orthogonal mittig auf eine gedachte Linie, die axial durch die Pupille läuft nach kranial verschoben. 2cm oberhalb des knöchernen Orbitarandes wird der Schallkopf senkrecht auf die Hautoberfläche aufgesetzt. Da es starke interindividuelle Variationen in der Ausprägung und Form der Augenbrauen gibt, sollten diese hier nicht als Landmarken verwendet werden. Andernfalls kann es zu Überlagerungen des Venter frontalis durch Muskelfasern des M. orbicularis oculi oder M. corrugator supercilii kommen. Andererseits sollte auch beachtet werden, dass der Schallkopf nicht zu weit nach kranial verschoben wird. Hier verliert der Venter frontalis immer mehr an Dicke und der ist zunehmend bindegewebig durchsetzt

#### Leiststrukturen:

Der Venter frontalis des M. occipitofrontalis stellt sich echoarm unter der Subkutis dar. Unter dem Muskel folgt eine sonographisch nicht immer nachweisbare echoreiche, bindegewebige Grenzschicht. Tiefer folgt der sich echoarm darstellende subaponeurotische Verschiebespalt sowie das Periost des Os frontale. Den Abschluss bildete das kräftige Grenzecho des Os frontale.

#### Anweisung zur Kontraktion:

„Augenbrauen nach oben ziehen“

#### Bewegungsphänomene:

Während der Kontraktion kommt es zu einer deutlichen Verdickung sowie zur Abnahme der Echogenität.

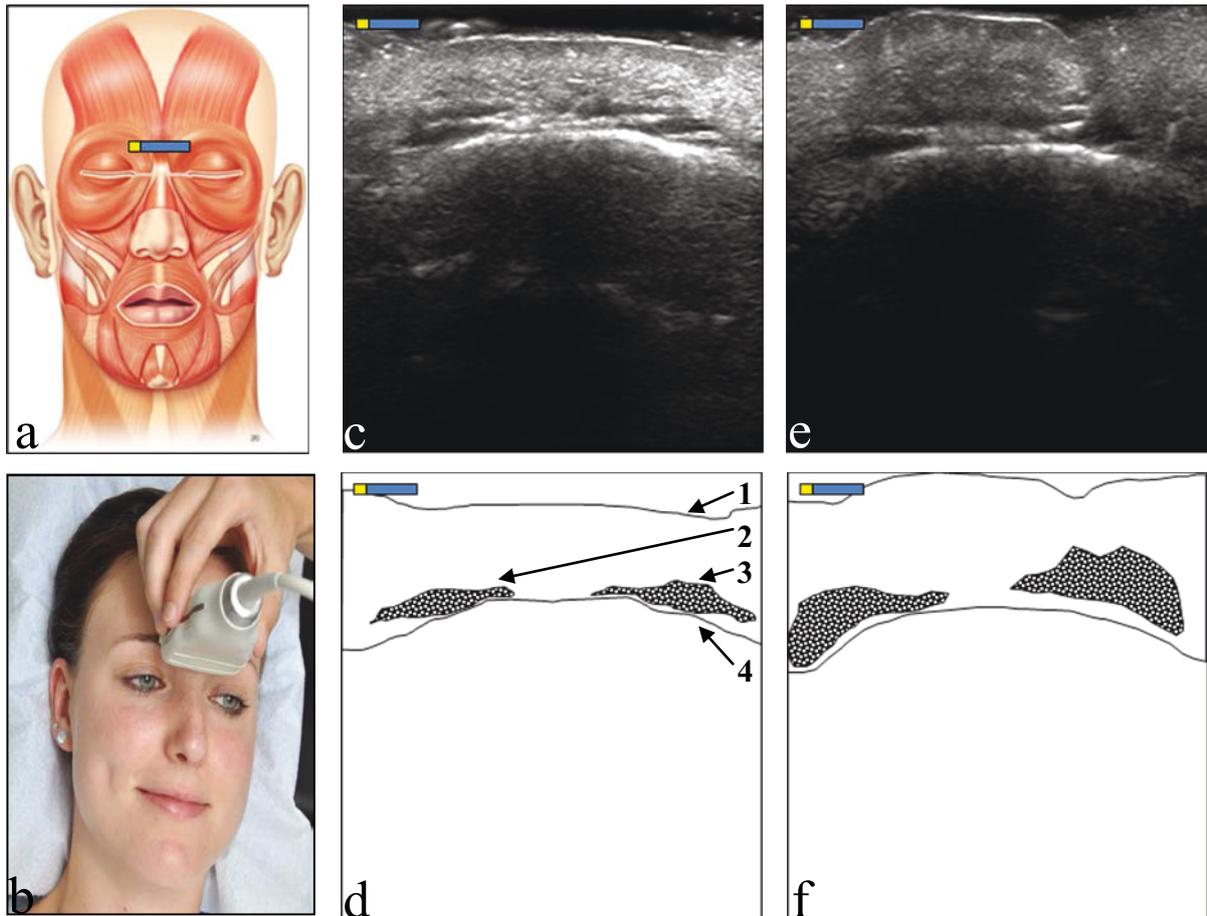
#### Hinweise:

Der Schallkopf soll möglichst ohne Druck aufgesetzt werden, da der Muskel andernfalls komprimiert und die Messwerte deutlich verfälscht werden könnten. Um die Kontur des Schädels zu auszugleichen sollte stets viel Gel aufgetragen werden. Gelegentlich treten deutliche Septierungen des Muskels auf. Hier kann die Aufforderung zur Kontraktion die Beurteilung des größten Durchmessers sehr erleichtern. Bei der Kontraktion ist außerdem zu beachten, dass sich das oben beschriebene Periost direkt oberhalb des Os frontale ebenfalls mit verdickt. Dies wird jedoch nicht durch Muskelfasern bedingt, sondern vielmehr durch eine Zugwirkung in Richtung Hautoberfläche durch den sich kontrahierenden Venter frontalis.

#### Fehlinterpretationen:

Bei falscher Schallkopflage kann es zu Überlagerungen durch Muskelfasern des M. corrugator supercilii oder des M. orbicularis oculi kommen

## 7.2 M. corrugator supercilii



**Abb. 3** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem rechten und linken M. corrugator supercilii b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. corrugator supercilii c sonographisches Bild des rechten und linken M. corrugator supercilii in Ruhe d Schemabild des rechten und linken M. corrugator supercilii in Ruhe 1 äußere Haut 2 M. corrugator supercilii rechts 3 M. corrugator supercilii links 4 Os frontale e sonographisches Bild des rechten und linken M. corrugator supercilii bei maximaler Kontraktion f Schemabild des rechten und linken M. corrugator supercilii bei maximaler Kontraktion

### Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird ähnlich wie beim Aufsuchen des Venter frontalis des M. occipitofrontalis ausgehend von der horizontalen Pupillenebene in der Medianlinie bis auf Höhe der Augenbrauen parallelverschoben. Der Schallkopf wird nun sanft und im rechten Winkel zwischen den Augenbrauen aufgesetzt. Die Augenbrauen sollten auch hier nicht als Landmarke verwendet werden, sie dienen hier lediglich der groben Orientierung. Als knöcherne Landmarken dienen vielmehr die medialen Enden des Arcus superciliaris beider Seiten.

### Leitstrukturen:

Die Muskeln stellen sich sonographisch als meist dreieckig und echoarm unterhalb einzelner Muskelfasern des M. depressor supercilii dar. Tiefer folgt das Grenzecho der Kalotte mit darunter liegendem Schallschatten. Sonographische Leitstrukturen sind die schon oben erwähnten medialen Enden der Arci superciliares beider Seiten.

### Anweisung:

„Augenbrauen zusammen ziehen“ (wie beim böse gucken).

### Bewegungsphänomene:

Während der Kontraktion kommt es zu einer deutlichen Verdickung und Medialverlagerung der Muskeln sowie zur Abnahme der Echogenität. Weiterhin treten bei korrekter Bewegungsausführung senkrechte Hautfalten auf.

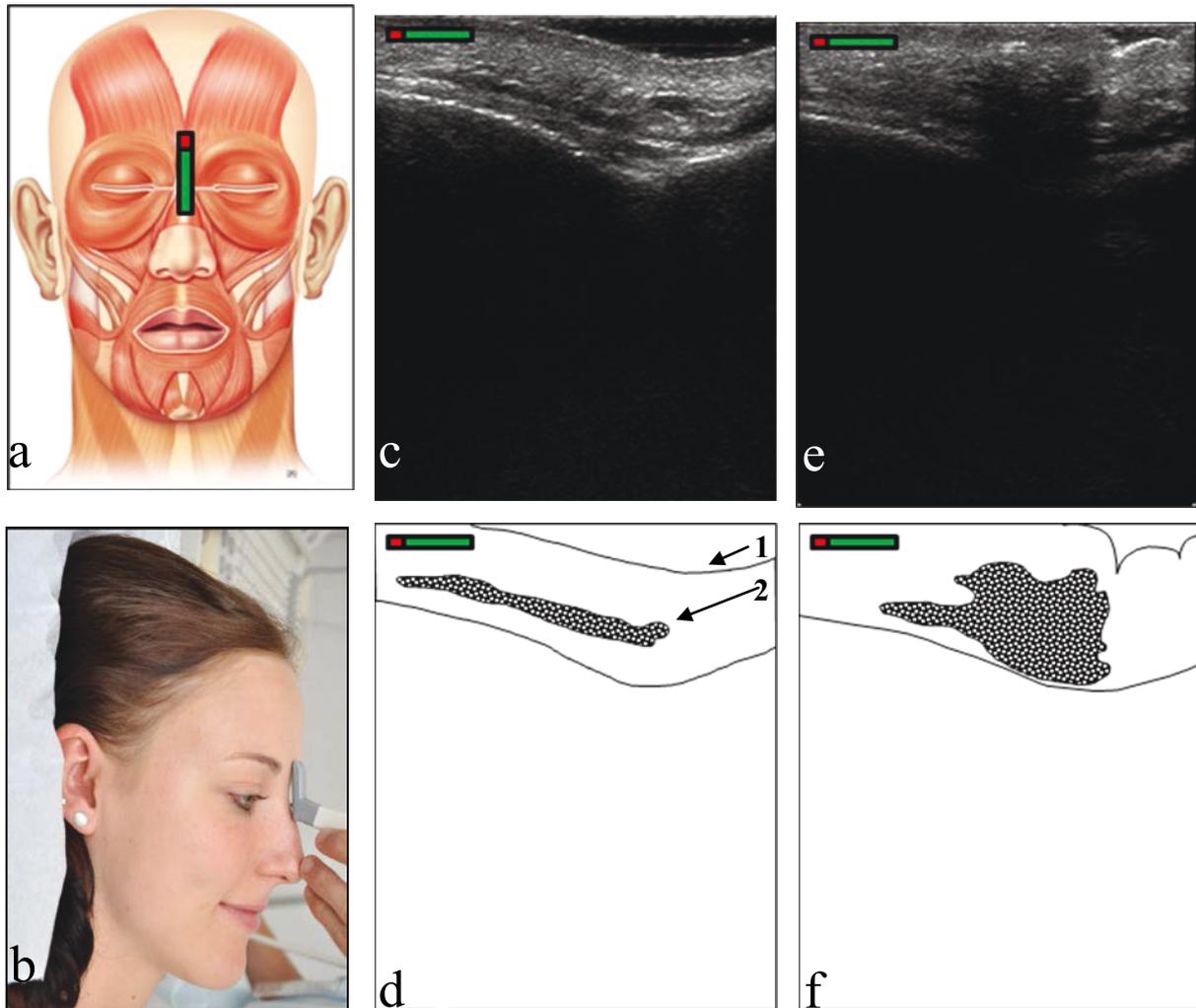
### Hinweise:

Um die Konturen des Kopfes auszugleichen sollte stets viel Gel aufgetragen und weiterhin der Schallkopf möglichst ohne Druck aufgesetzt werden. Der M. corrugator supercilii ist nach oben hin durch einige echoreiche Bindegewebsfasern vom über ihm liegenden M. depressor supercilii abgegrenzt.

### Fehlinterpretationen:

Der Muskel ist durch Kontraktion eindeutig zu identifizieren. Bei zu weit kranial aufgesetztem Schallkopf kann der Muskel durch Fasern des M. frontalis überlagert werden. Bei zu weit kaudal aufgesetztem Schallkopf erscheinen links und rechts des Nasenbeines die gut sichtbaren Querschnitte des M. levator labii superioris alaeque nasi.

### 7.3 M. procerus



**Abb. 4** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. procerus b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. procerus c sonographisches Bild des M. procerus in Ruhe d Schemabild des M. procerus in Ruhe 1 äußere Haut 2 M. procerus 3 Grenzecho des Os frontale und Os nasale e sonographisches Bild des M. procerus bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. procerus bei maximaler Kontraktion

#### Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird in der Medianebene im Übergangsbereich zwischen Os frontale und Os Nasale senkrecht zur Hautoberfläche aufgesetzt.

#### Leitstrukturen:

Als Leitstrukturen dienen der Nasenrücken, das Os frontale sowie die konkave Wölbung zwischen diesen beiden knöchernen Strukturen.

#### Anweisung:

„Naserümpfen“

#### Bewegungsphänomene:

Während der Kontraktion kommt es zu einer deutlichen Verdickung und Zunahme der Echogenität des Muskels. Auf Hautniveau werden meist deutliche Querfalten aufgeworfen.

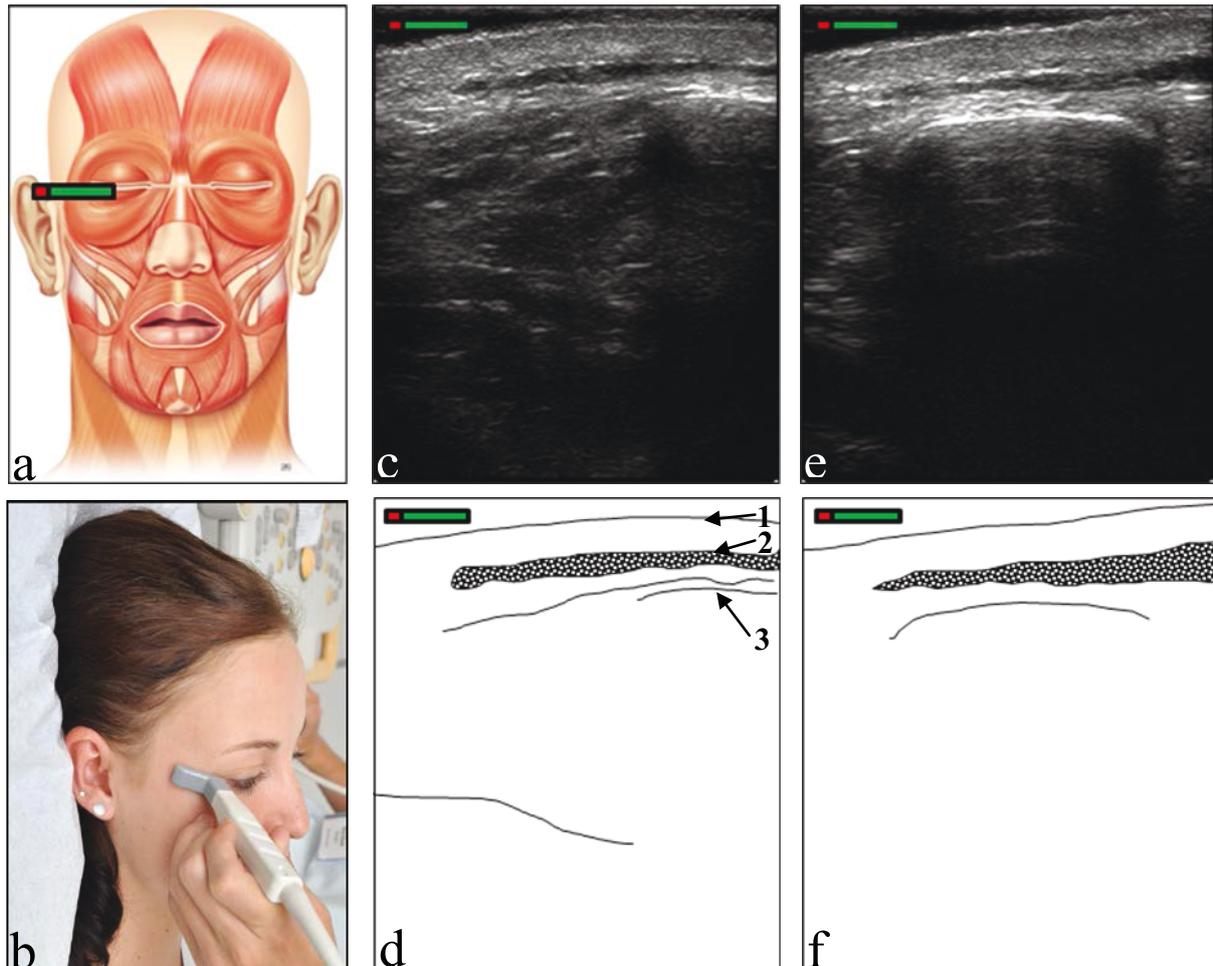
#### Hinweise:

Um die konkave Wölbung im Übergangsbereich zwischen Os frontale und Os nasale auszufüllen, sollte viel Gel verwendet werden. Weiterhin ist darauf zu achten, dass der Schallkopf exakt in der Medianebene gehalten wird. Andernfalls kann es zu Überlagerungen mit Fasern anderer topographisch nahe liegender Muskeln kommen. Der Muskelquerschnitt des

#### Fehlinterpretationen:

Wir der Schallkopf nicht exakt in der Medianebene aufgesetzt, kann es je nach Grad der Abweichung zu Überlagerungen mit Muskelfasern des M. orbicularis oculi, M. depressor supercilii, M. corrugator supercilii kommen.

## 7.4 M. orbicularis oculi



**Abb. 5** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über der Pars orbitalis des M. orbicularis oculi b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. orbicularis oculi c sonographisches Bild des M. orbicularis oculi in Ruhe d Schemabild des M. orbicularis oculi in Ruhe 1 Hautoberfläche 2 Anschnitt des M. orbicularis oculi 3 Grenzecho der Orbita e sonographisches Bild des M. orbicularis oculi bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. orbicularis oculi bei maximaler Kontraktion

### Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird in der Pupillenebene senkrecht auf die Haut oberhalb des Proc. frontalis, Os zygomaticum aufgesetzt. Es ist darauf zu achten, dass der Schallkopfwinkel so gewählt wird das die Ultraschallwellen nie direkt auf den Bulbus treffen.

### Leitstrukturen:

Kräftiges Grenzecho des Margo lateralis der Orbita mit nachfolgendem Schallschatten. Der feine M. orbicularis oculi stellt sich als schmaler echoarmer Streifen dar und verläuft von lateral kommend über den Orbitarand.

### Anweisung:

„Augen fest zukneifen“.

### Bewegungsphänomene:

Der M. orbicularis oculi zieht bei Kontraktion direkt über den deutlich sichtbaren echoreichen Orbitarand. Die stärkste Verdickung des Muskels liegt meist direkt über dem lateralen Orbitarand.

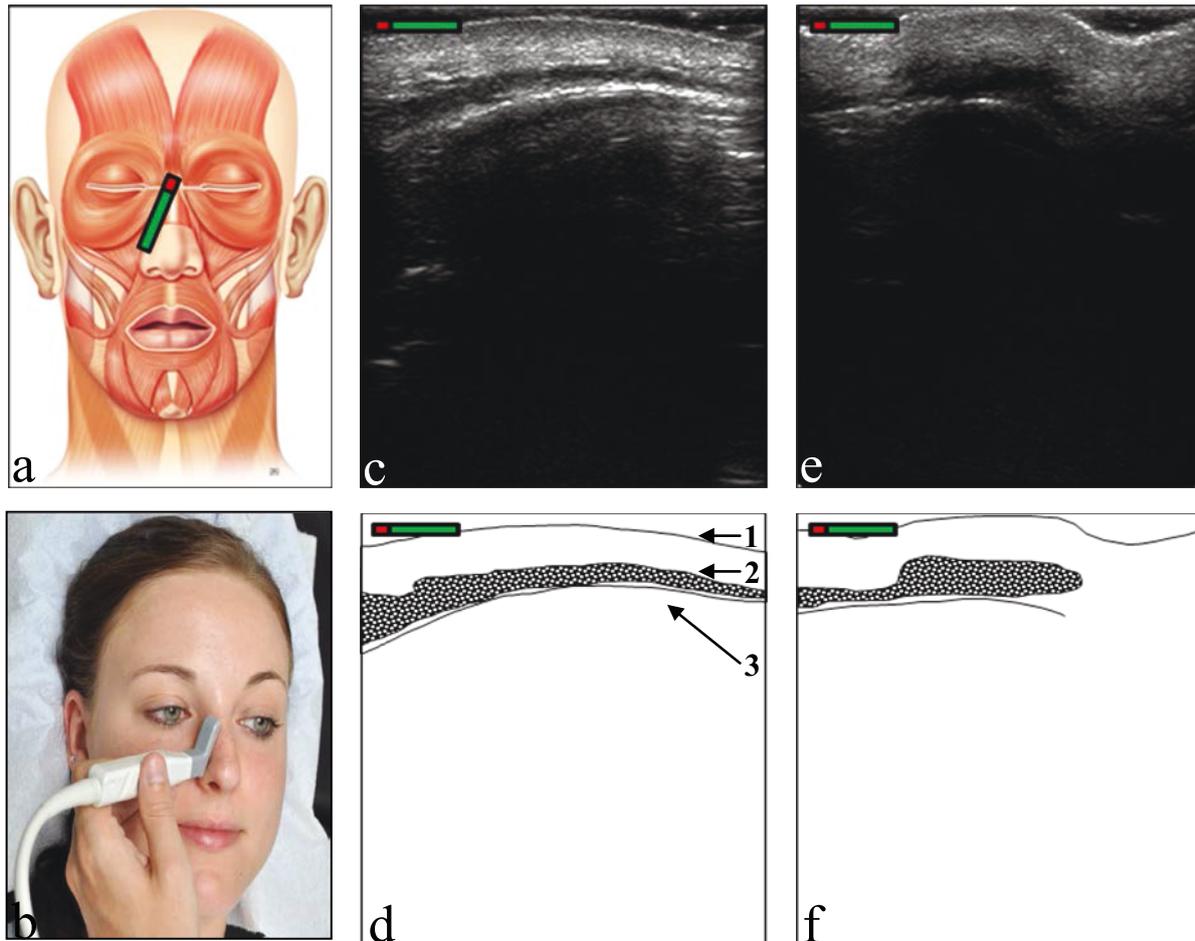
### Hinweise:

Durch zu kräftiges Aufsetzen des Schallkopfes wird der zarte Muskel stark komprimiert, wodurch die Messergebnisse entsprechend stark verfälscht werden. Daher sollte auch hier stets viel Gel verwendet werden. Weiterhin die um mechanische Schäden der Retina durch die Ultraschalleinwirkung zu vermeiden der Bulbus selbst nicht geschallt werden.

### Fehlinterpretationen:

Durch die Wahl der Schallebenen ist der Muskel leicht als solcher zu identifizieren. In Extremfällen, etwa bei Menschen mit sehr hohem BMI oder Patienten mit chronischer Fazialisparese, kann jedoch die Identifikation auch erschwert sein. In diesen Fällen hat sich die Aufforderung zur Kontraktion oder leichtes hin und her Schwenken des Schallkopfes als hilfreich erwiesen. So können die echoreichen Grenzen des Muskels gut dargestellt und der Muskel eindeutig identifiziert werden.

## 7.5 M. nasalis



**Abb. 6** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über der Pars transversa des M. nasalis b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch die Pars transversa des M. nasalis c sonographisches Bild des M. nasalis in Ruhe d Schemabild des M. nasalis in Ruhe 1 Hautoberfläche 2 Pars transversa des M. nasalis 3 Grenzecho des Os nasale sowie der Cartilagine alares minores e sonographisches Bild des M. nasalis bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. nasalis bei maximaler Kontraktion

### Lage des Schallkopfes:

Die Schallebene liegt entlang dem Os nasale und Proc. frontalis maxillae zwischen einem medialen Punkt am oberen, distalen Ende des Os nasale und der Ala nasi der entsprechenden Seite.

### Leitstrukturen:

Als sonographische Leitstrukturen dienen das obere, distale Ende des Os nasale sowie die Cartilagine alares minores der entsprechenden Seite. Der M. nasalis stellt sich echoarm und deutlich sichtbar in der Subcutis dar. Tiefer folgt das Grenzecho der verschiedenen knöchernen und knorpeligen Strukturen der Nase.

### Anweisung:

„Naserümpfen“

### Bewegungsphänomene:

Während der Kontraktion kommt es zu einer deutlichen Verdickung sowie Verkürzung des Muskels. Außerdem werfen sich unter der Kontraktion gut sichtbare Hautfalten auf.

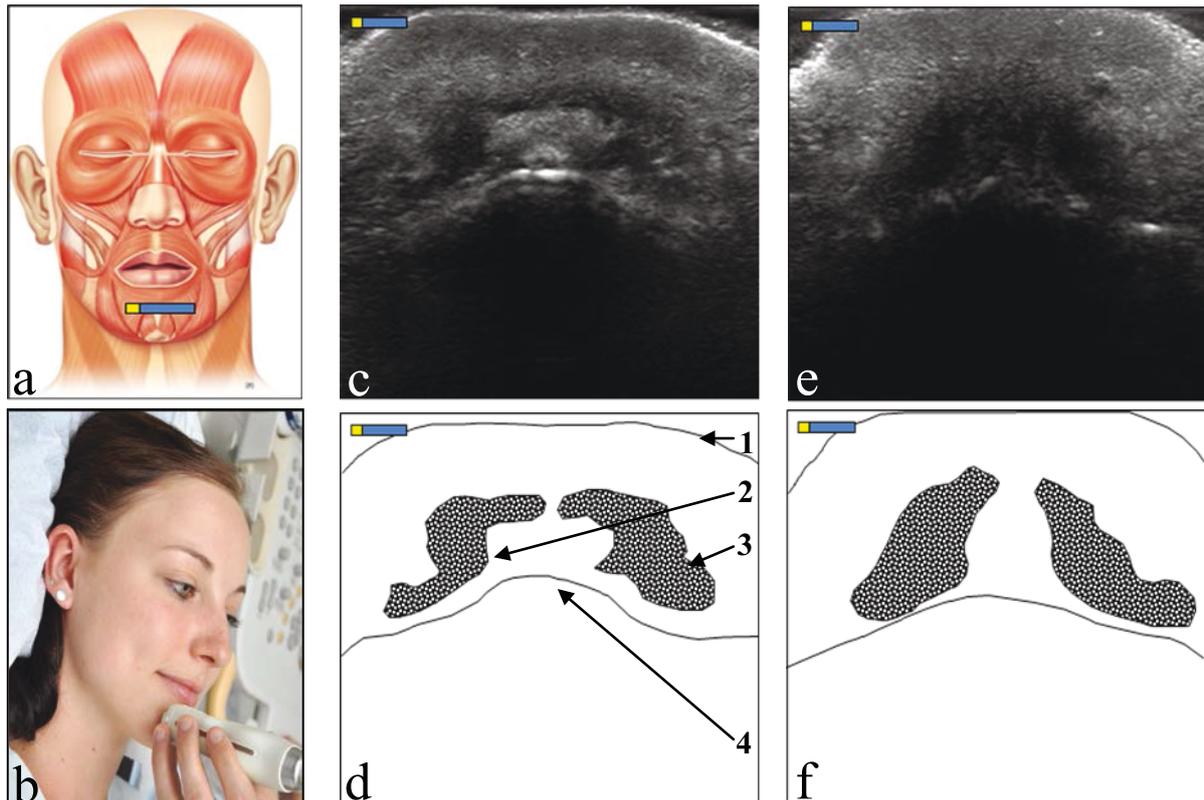
### Hinweise:

Um eine Kompression des Muskels zu vermeiden und um die Konturen der Nase auszugleichen sollte stets genügend Gel verwendet werden. Durch Kontraktion kann der Muskel zweifelsfrei identifiziert werden.

### Fehlinterpretationen:

Bei zu lateraler Schallkopflege kann es zu Verwechslungen mit dem M. levator labii superioris alaeque nasi kommen.

## 7.6 Mm. mentales



**Abb. 7** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über der Protuberantia mentalis b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch die Mm. mentales c sonographisches Bild der Mm. mentales in Ruhe d Schemabild der Mm. mentales in Ruhe 1 Hautoberfläche 2 M. mentalis rechts 3 M. mentalis links 4 Grenzecho der Mandibula e sonographisches Bild der Mm. mentales bei maximaler Kontraktion f Schemabild der Mm. mentales bei maximaler Kontraktion

### Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird in der Transversalebene, auf Höhe der Protuberantia mentalis senkrecht auf die Hautoberfläche aufgesetzt. Ausgehend von dieser Stellung wird der Schallkopf nun leicht parallel bis zur größten Ausdehnung der Mm. mentales verschoben. Währenddessen ist stets auf die senkrechte Stellung des Schallkopfes zur Hautoberfläche zu achten.

### Leitstrukturen:

Als Leitstruktur dient das deutliche Grenzecho der Mandibula mit nachfolgendem Schallschatten. Die Mm. mentales stellen sich seitengleich und echoarm in der Subcutis dar. Zwischen den Muskeln befindet sich ein konstant nachweisbarer echoreicher und gut abgrenzbarer Fettkörper.

### Anweisung:

„Lippen fest zusammen pressen“

### Bewegungsphänomene:

Während der Kontraktion kommt es zu einer meist deutlichen Vergrößerung der Muskelumfänge sowie zur Zunahme der Echogenität. Bei starker Kontraktion kommt es z. T. zur Überlagerung der Mm. mentales beider Seiten. Der intermentale Fettkörper wird in diesem Fall in Richtung Corpus Mandibulae komprimiert. Mit steigendem Alter und BMI kann die Beurteilung der Muskelgrenzen z.T. deutlich erschwert sein.

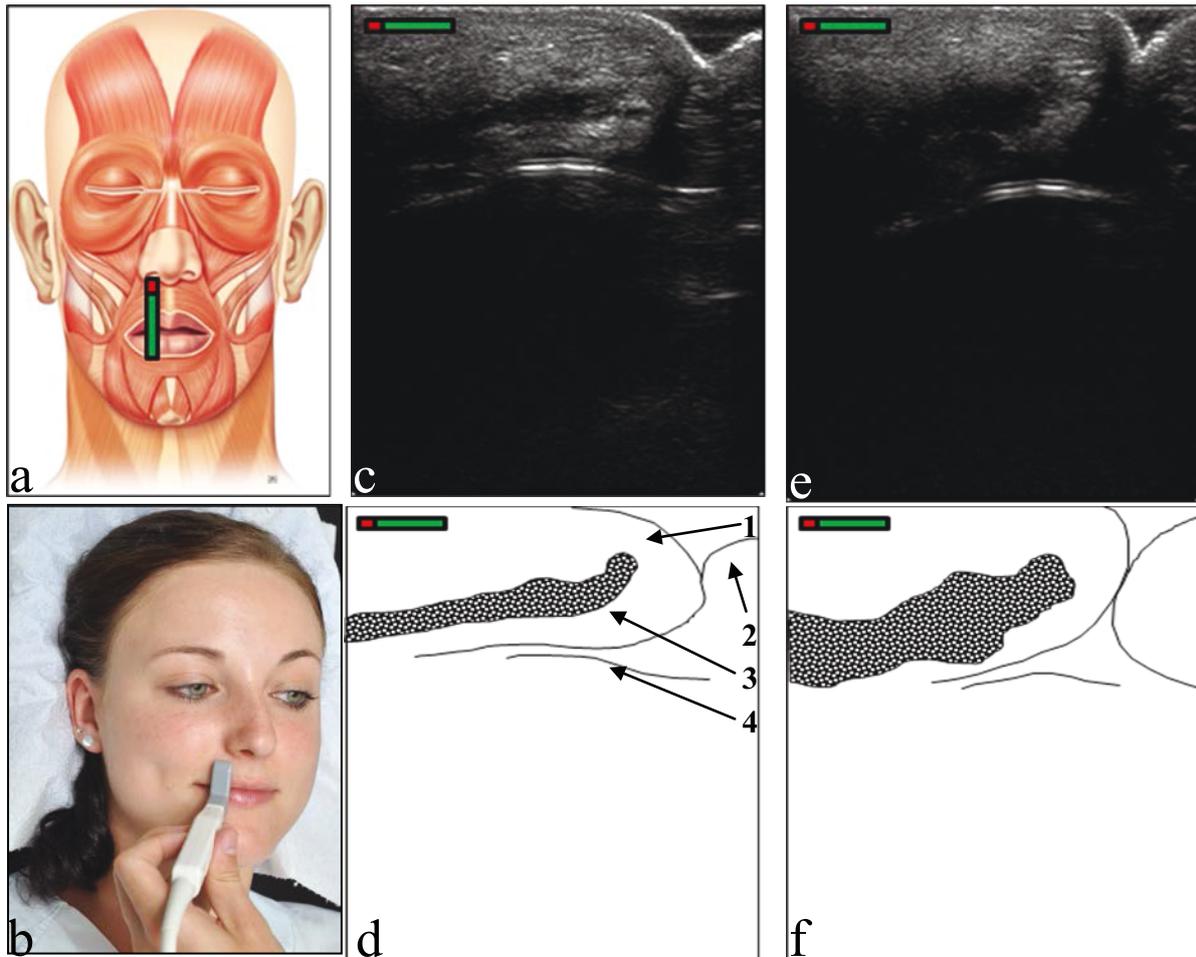
### Hinweise:

Die Bewegung fällt vielen Probanden besonders schwer. Vorheriges üben der Bewegung vor dem Spiegel sowie genaue Anweisungen und Korrekturen des Untersuchenden verbessern die Ergebnisse deutlich.

### Fehlinterpretationen:

Steht der Schallkopf nicht senkrecht auf der Hautoberfläche, werden die Mm. mentales schräg angeschnitten. Aufgrund dessen werden die Muskeln größer beurteilt als sie es in Wirklichkeit sind.

## 7.7 M. orbicularis oris



**Abb. 8** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. orbicularis oris b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. orbicularis oris c sonographisches Bild des M. orbicularis oris in Ruhe d Schemabild der M. orbicularis oris in Ruhe 1 Oberlippe 2 Unterlippe 3 M. orbicularis oris 4 Grenzecho des Dens incisivus e sonographisches Bild der M. orbicularis oris bei maximaler Kontraktion f Schemabild der M. orbicularis oris bei maximaler Kontraktion

### Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird parallel zur Medianlinie rechts bzw. links neben dem Philtrum auf Höhe des Nasenloches senkrecht auf die Hautoberfläche aufgesetzt.

### Leitstrukturen:

Als Leitstruktur dient das kräftige Grenzecho des Dens incisivus. Der dicke, echoarme M. orbicularis oris, Pars sup. liegt in der echoreichen Subkutis der Lippe. Nach kaudal schließen sich die Lippenspalte sowie die Unterlippe an.

### Anweisung:

„Die Lippen zunächst locker aufeinanderlegen und dann kräftig zusammen pressen“.

### Bewegungsphänomene:

Das Zusammenpressen der Lippen führt zur Verdickung des M. orbicularis oris. Er folgt der Konvexität der Oberlippe. Die Unterlippe und der M. orbicularis oris, Pars inf. werden ebenfalls dargestellt.

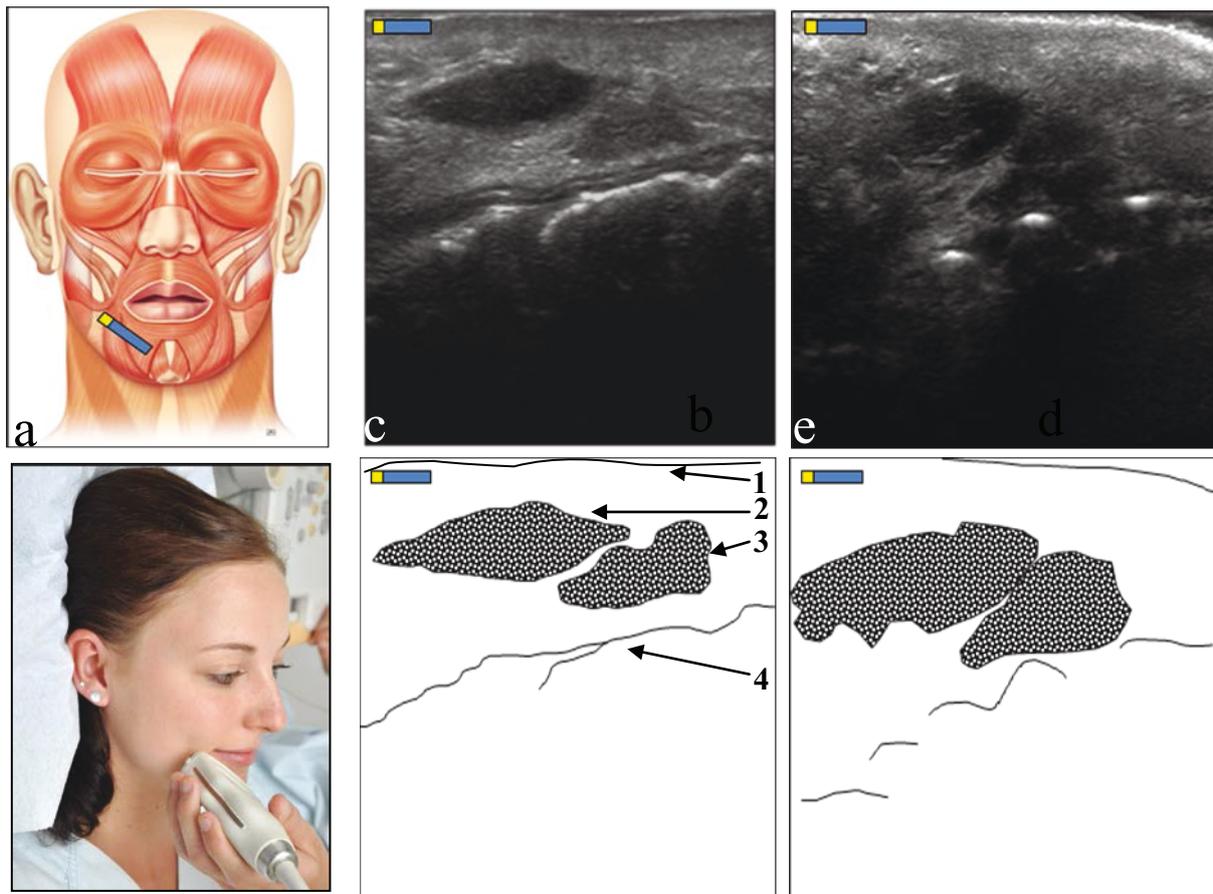
### Hinweise:

Um die Lippenkonturen auszugleichen sollte stets viel Gel verwendet werden. Bei Barträgern sind die sonographischen Bilder aufgrund der vielen Artefakte meist nicht gut auszuwerten.

### Fehlinterpretationen:

Keine.

## 7.8 M. depressor anguli oris / M. depressor labii inferioris



**Abb. 9** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris c sonographisches Bild des M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris in Ruhe d Schemabild des M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris in Ruhe 1 Hautoberfläche 2 M. depressor anguli oris 3 M. depressor labii inferioris 4 Grenzecho der Alveolarfortsätze e sonographisches Bild des M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris bei maximaler Kontraktion f Schemabild der M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris bei maximaler Kontraktion

### Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird unterhalb des Mundwinkels parallel zur Basis mandibulae auf die Hautoberfläche aufgesetzt und anschließend bis zu den sonographisch leicht zu identifizierenden Alveolarfortsätzen nach kranial verschoben. Der Schallkopf steht nun in Bezug auf die „Frankfurter“ bzw. „Deutsche“ Horizontale etwa um 45° nach kaudal geneigt.

### Leitstrukturen:

Als Leitstruktur dient das kräftige Grenzecho der Alveolarfortsätze. Der echoarme M. depressor anguli oris lässt sich leicht vom umgebenden Gewebe abgrenzen. Am lateralen Rand des Muskels pulsiert die A. facialis. Der M. depressor labii inferioris liegt medial des M. depressor anguli oris und erscheint gegenüber dem M. depressor anguli oris echoreicher.

### Anweisung:

„Die Mundwinkel nach unten ziehen“

### Bewegungsphänomene:

Bei Kontraktion erfolgt eine deutliche Verdickung und Medialverlagerung beider Zielmuskeln. Besonders deutlich ist dies beim M. depressor anguli oris ausgeprägt. Da es vielen Menschen schwer fällt die entsprechende Bewegung bewusst auszuführen, sollte zuvor ausreichend vor einem Spiegel geübt werden.

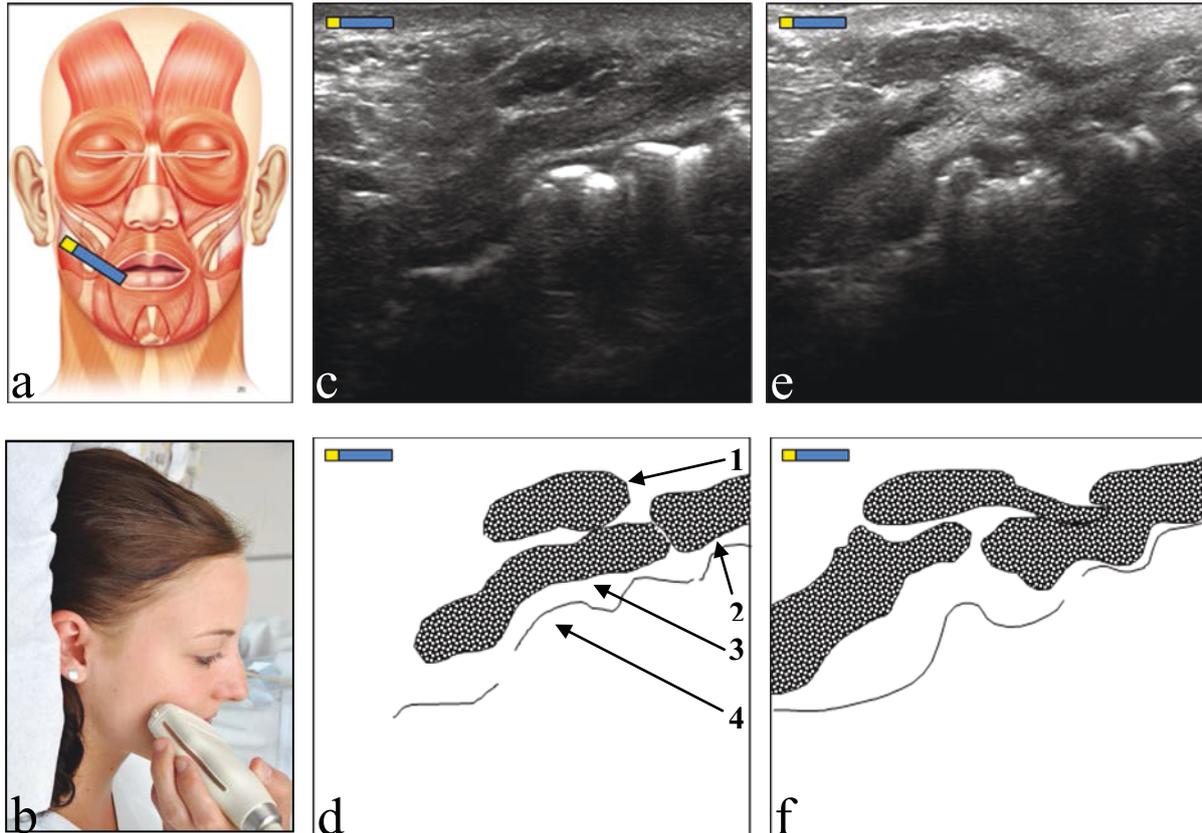
### Hinweise:

Bei Menschen mit den dritten Zähnen sind die Alveolarfortsätze sonographisch häufig weniger gut zu identifizieren. In diesem Fall orientiert man sich beim Aufsuchen der richtigen Schallkopfstellung an der fast diagonalen Grenzecholinie der Pars alveolaris mandibulae. Auch die am lateralen Rand des M. depressor anguli oris pulsierende A. facialis kann das Auffinden der Zielmuskeln erleichtern.

### Fehlinterpretationen:

Abhängig von der Schallkopflage und dem Winkel der Schallebene zur Hautoberfläche können die Muskeln sonographisch zu klein oder groß erscheinen.

## 7.9 M. risorius



**Abb. 10** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. risorius b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. risorius c sonographisches Bild des M. risorius in Ruhe d Schemabild der M. risorius in Ruhe 1 M. depressor anguli oris 2 M. orbicularis oris 3 M. risorius 4 Grenzchoso der Zähne des Unterkiefers e sonographisches Bild des M. risorius bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. risorius bei maximaler Kontraktion

### Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird lateral des jeweiligen Mundwinkels parallel zum Corpus mandibulae auf die Hautoberfläche aufgesetzt.

### Leitstrukturen:

Als Leitstrukturen dienen der Anschnitt des M. orbicularis oris sowie das kräftige Grenzchoso der Zähne des Unterkiefers. Nach medial hin sind die Querschnitte des M. depressor anguli oris sowie des M. depressor labii inferioris zu sehen. Der M. risorius stellt sich in Form mal mehr, mal weniger stark ausgeprägter Muskelfasern dar. Diese entspringen diffus an der Faszie des M. masseter und anderen muskulären sowie bindegewebigen Strukturen und inserieren in den M. orbicularis oris und in die Haut des medialen Mundwinkels. Der Faserverlauf und das Verhalten unter Kontraktion erleichtern die Identifikation.

### Anweisung:

„lächeln“

### Bewegungsphänomene:

Bei Kontraktion wird eine Verkürzung und Verdickung des Muskels sichtbar. Die Verdickung ist insbesondere im Übergangsbereich zum M. orbicularis oris stark ausgeprägt.

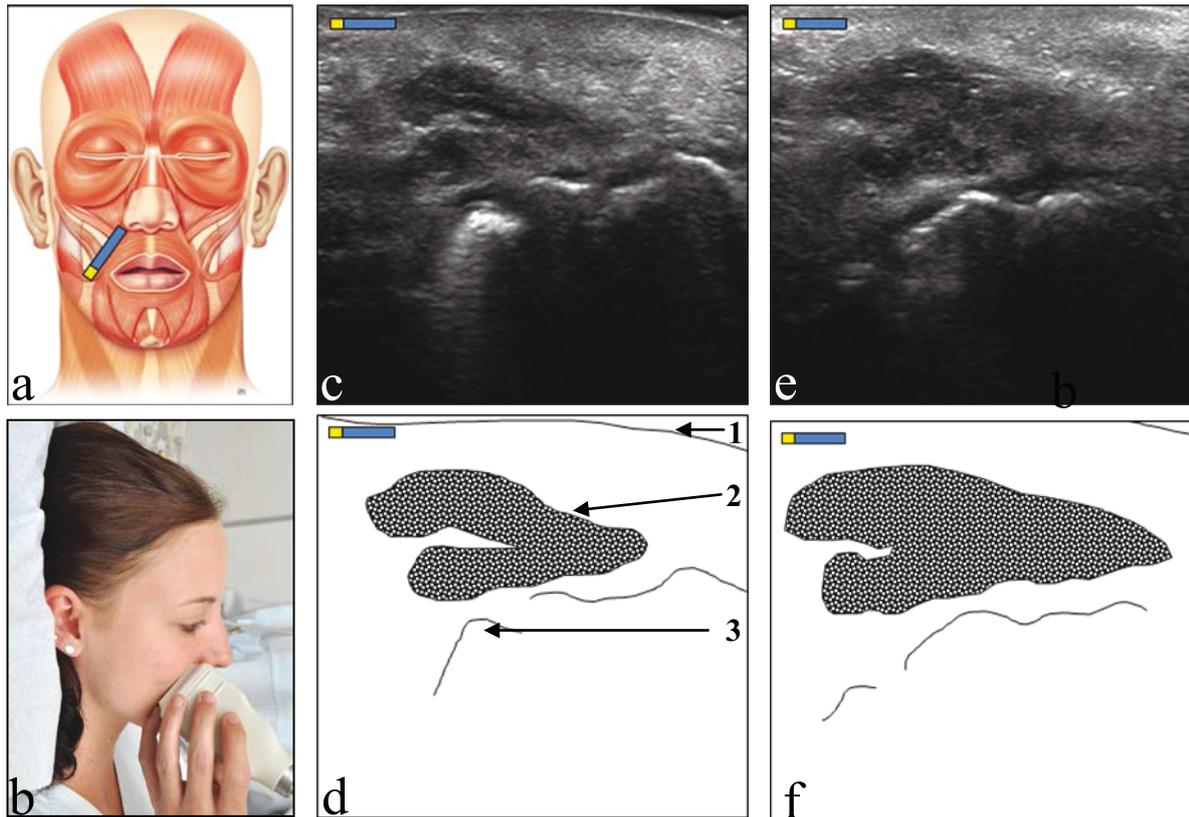
### Hinweise:

Der Muskel kann aufgrund der z. T. sehr diffus verlaufenden Muskelfasern nicht immer eindeutig sonografisch dargestellt werden. Dies ist insbesondere bei älteren und adipösen Menschen der Fall.

### Fehlinterpretationen:

Der Muskel ist aufgrund seiner sehr variablen Morphologie nicht in jedem Fall eindeutig identifizierbar. Er kann möglicherweise mit den Muskelfasern anderer in den Mundwinkel einstrahlender Muskeln verwechselt werden.

## 7.10 M. zygomaticus major



**Abb. 11** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker in der Nasolabialfalte über dem M. zygomaticus major b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. zygomaticus major c sonographisches Bild des M. zygomaticus major in Ruhe d Schemabild des M. zygomaticus major in Ruhe 1 Hautoberfläche 2 M. zygomaticus major 3 Grenzechos des Caninus e sonographisches Bild des M. zygomaticus major bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. zygomaticus major bei maximaler Kontraktion

### Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird zunächst genau senkrecht zur Hautoberfläche auf die Nasolabialfalte gestellt. Nach Identifikation des Grenzechos der Maxilla wird der Schallkopf parallel zur Nasolabialfalte um wenige Millimeter nach kranial verschoben. Der Querschnitt des echoarmen M. zygomaticus major stellt sich in der ecoreichen Subcutis meist „herzförmig“ dar.

### Leitstrukturen:

Als Leitstrukturen dienen die kräftigen Grenzechos der Zähne des Oberkiefers. Im sonographischen Bild befindet sich der M. zygomaticus major meist direkt oberhalb des kräftigen Grenzechos des Caninus.

### Anweisung:

„lächeln“ (langsam)

### Bewegungsphänomene:

Die Kontraktion des M. zygomaticus major ist in diesem Schnitt meist deutlich ausgeprägt. Während der Bewegung muss der Untersucher weiterhin auf die korrekte Schallkopfstellung achten. Dies ist durch die während des Lächelns aufgeworfenen Lachfalten nicht immer einfach.

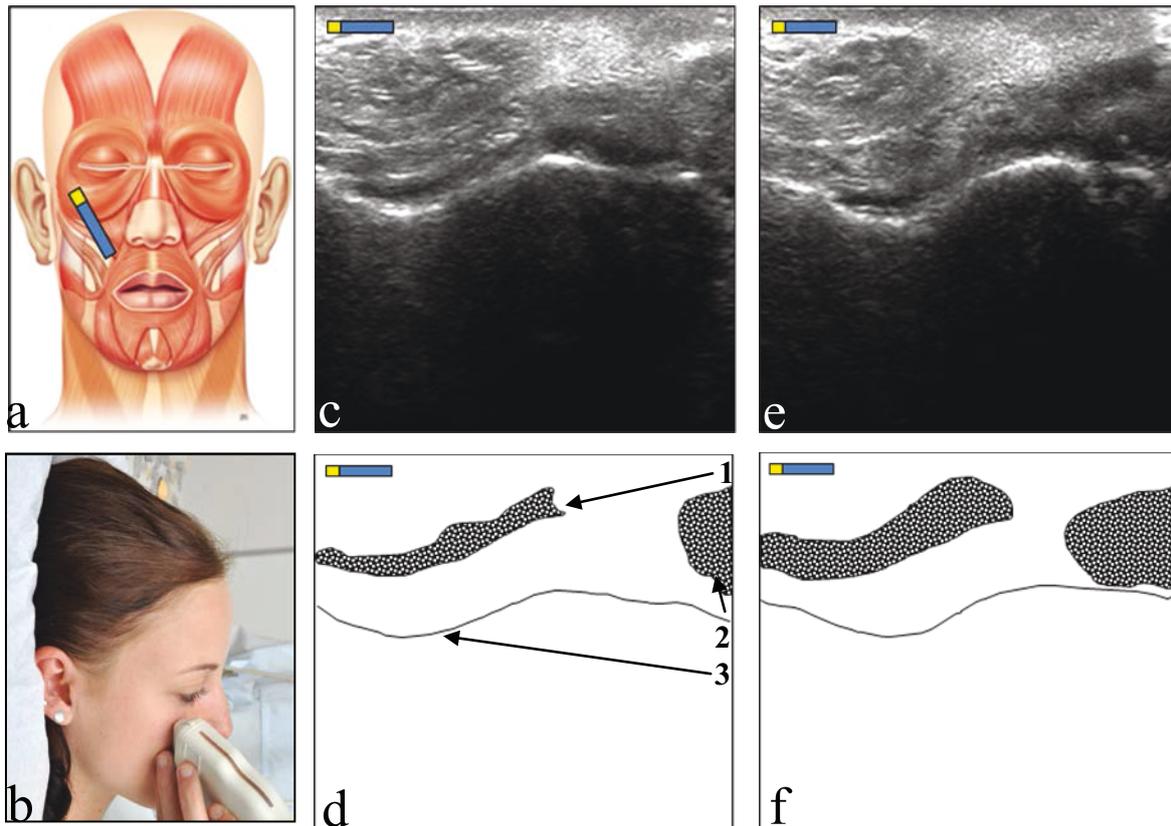
### Hinweise:

Es ist darauf zu achten, dass der zu Untersuchende die Bewegung langsam ausführt. Andernfalls kann es aufgrund von Lachfalten zum Verrutschen des Schallkopfes kommen. Sollte der Muskel im Querschnitt einmal schwer aufzufinden sein, kann er zunächst im Längsschnitt zwischen seinem Ursprung am Os zygomaticum ventral der Sutura temporozygomatica und dem Mundwinkel aufgesucht werden. Nach sicherer Identifikation im Längsschnitt wird der Schallkopf zur Darstellung des Muskelquerschnittes in die Nasolabialfalte um 90 Grad drehen.

### Fehlinterpretationen:

Wird der Schallkopf medial der Nasolabialfalte aufgesetzt, kann es zu Überlagerungen mit anderen in die Mundwinkelregion inserierenden Muskelfasern kommen.

## 7.11 M. zygomaticus minor



**Abb. 12** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. zygomaticus minor b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. zygomaticus minor c sonographisches Bild des M. zygomaticus minor in Ruhe d Schemabild des M. zygomaticus minor in Ruhe 1 M. zygomaticus minor 2 M. orbicularis oris 3 Grenzechos des lateralen Orbitarandes e sonographisches Bild des M. zygomaticus minor bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. zygomaticus minor bei maximaler Kontraktion

### Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird senkrecht zur Hautoberfläche zwischen dem Mundwinkel und dem lateralen Orbitarand aufgesetzt. Um den M. zygomaticus minor eindeutig zu identifizieren sollte er Schallkopf ausgehend von dieser Stellung wenige Millimeter parallel nach oben bzw. unten verschoben werden. Der Muskel stellt sich, wenn vorhanden, meist recht echoreich dar und muss daher anhand des Faserverlaufes und Verhaltens unter Kontraktion identifiziert werden.

### Leitstrukturen:

Grenzecho des lateralen Orbitarandes sowie der echoarme Abschnitt des M. orbicularis oris.

### Bewegungsphänomene:

Verkürzung und Abnahme der Echogenität während der Kontraktion

### Anweisung:

„lächeln“

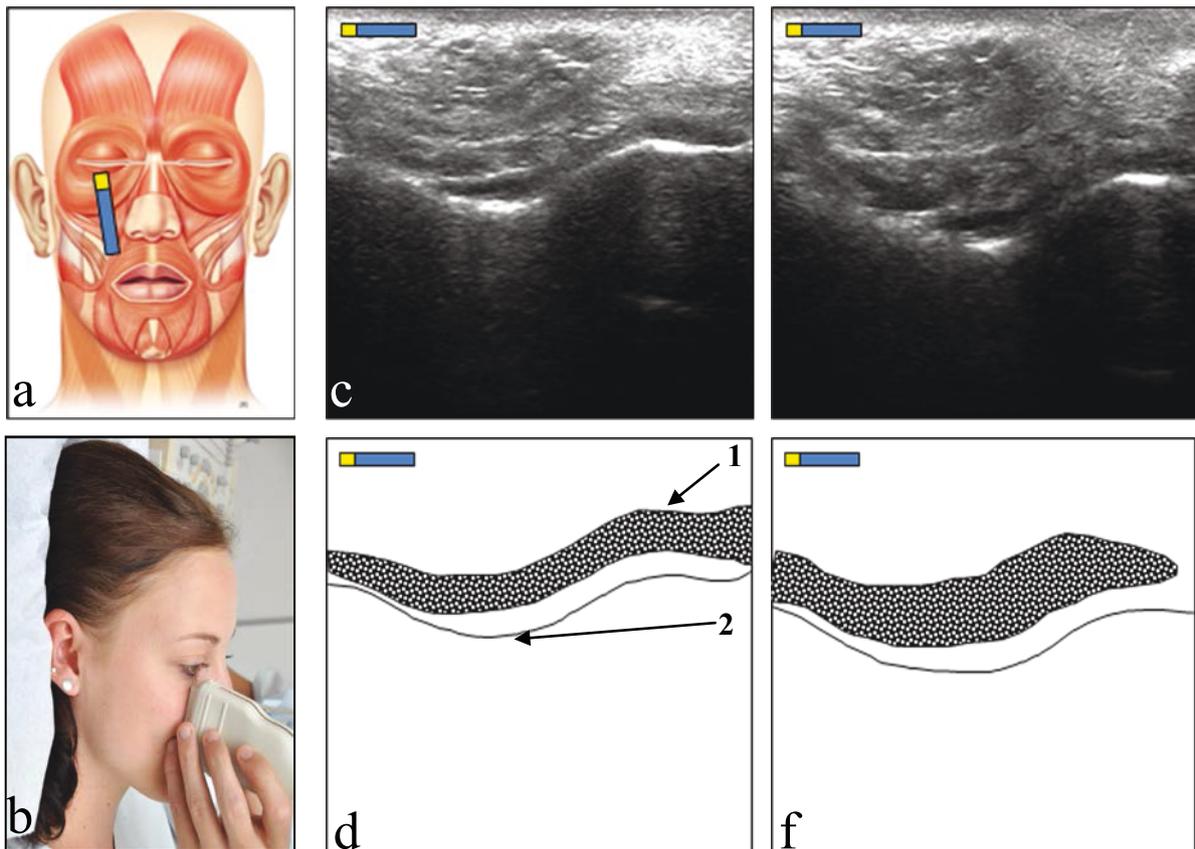
### Hinweise:

In der Praxis hat sich auch das Aufsuchen ausgehend vom Längsschnitt des M. zygomaticus major als günstig erwiesen. Hierbei muss der Schallkopf lediglich langsam immer weiter nach medial verschoben werden. Ausgehend vom M. zygomaticus major folgt sodann der M. zygomaticus minor, dann der M. levator labii superioris und schließlich der M. levator labii superioris alaeque nasi.

### Fehlinterpretationen:

Steht der Schallkopf zu weit nach medial geneigt, kann der M. zygomaticus minor mit dem M. levator labii superioris verwechselt werden.

## 7.12 M. levator labii superioris



**Abb. 13** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. levator labii superioris b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. levator labii superioris c sonographisches Bild des M. levator labii superioris in Ruhe d Schemabild des M. levator labii superioris in Ruhe 1 M. levator labii superioris 2 Grenzecho des Orbitarandes und des Maxilla e sonographisches Bild des M. levator labii superioris bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. levator labii superioris bei maximaler Kontraktion

### Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird senkrecht zur Hautoberfläche zwischen dem Mundwinkel und dem mittleren Orbitarand auf Höhe der Pupille aufgesetzt. Ausgehend von dieser Stellung aus sollte der Schallkopf wie beim Auffinden des M. zygomaticus minor um wenige Millimeter parallel nach oben bzw. unten verschoben werden. Der Muskel stellt sich meist echoreich dar, kann aber anhand seines Faserverlaufes und Verhaltens unter Kontraktion identifiziert werden.

### Leitstrukturen:

Als Leitstruktur dienen das Grenzecho des Orbitarandes sowie der echoarme Abschnitt des M. orbicularis oris. Oberflächlich kreuzen die Fasern des M. zygomaticus minor.

### Anweisung:

„obere Schneidezähne zeigen“

### Bewegungsphänomene:

Unter der Kontraktion kommt es zu einer deutlichen Verkürzung, Verdickung und Abnahme der Echogenität.

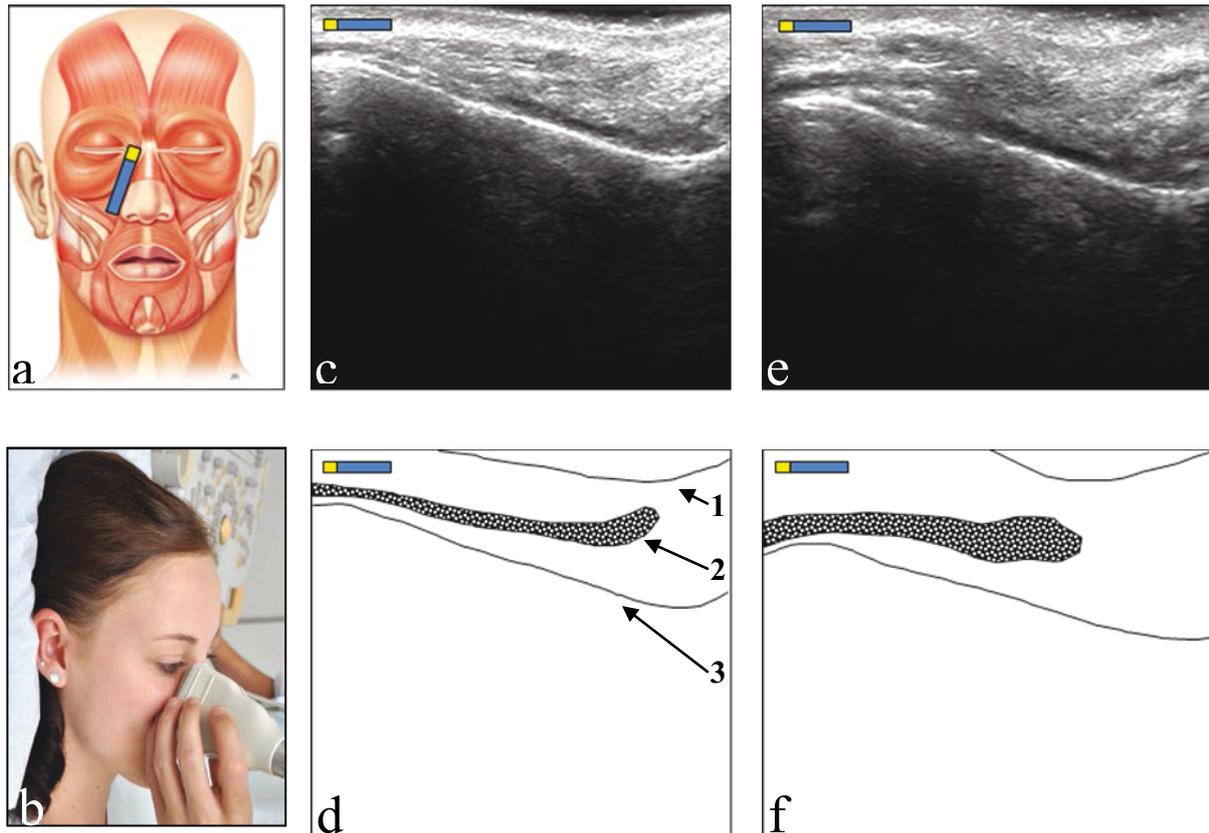
### Hinweise:

In der Praxis hat sich auch das Aufsuchen ausgehend vom Längsschnitt des M. zygomaticus major als günstig erwiesen. Hierbei muss der Schallkopf lediglich langsam immer weiter nach medial verschoben werden. Ausgehend vom M. zygomaticus major folgt sodann der M. zygomaticus minor, dann M. levator labii superioris und schließlich der M. levator labii superioris alaeque nasi.

### Fehlinterpretationen:

Der Muskel verläuft sonographisch unter dem M. zygomaticus minor und liegt lateral des M. levator labii superioris alaeque nasi.

## 7.13 M. levator labii superioris alaeque nasi



**Abb. 14** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. levator labii superioris alaeque nasi b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. levator labii superioris alaeque nasi in Ruhe c sonographisches Bild des M. levator labii superioris alaeque nasi in Ruhe d Schemabild des M. levator labii superioris alaeque nasi in Ruhe 1 Hautoberfläche 2 M. levator labii superioris alaeque nasi 3 Grenzecho des Orbitarandes sowie des Proc. frontalis der Maxilla e sonographisches Bild des M. levator labii superioris alaeque nasi bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. levator labii superioris alaeque nasi bei maximaler Kontraktion

### Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird senkrecht zur Hautoberfläche zwischen der Commissura medialis palpebralis und dem Mundwinkel aufgesetzt. Der Muskellängsschnitt liegt zwischen dem M. nasalis und dem M. levator labii superioris.

### Leitstrukturen:

Als Leitstrukturen dient die Grenzechos des medialen Orbitarandes und des Caninus.

### Anweisung:

„obere Schneidezähne zeigen“

### Bewegungsphänomene:

Während der Kontraktion kommt es zu einer deutlichen Verkürzung, Verdickung und Abnahme der Echogenität.

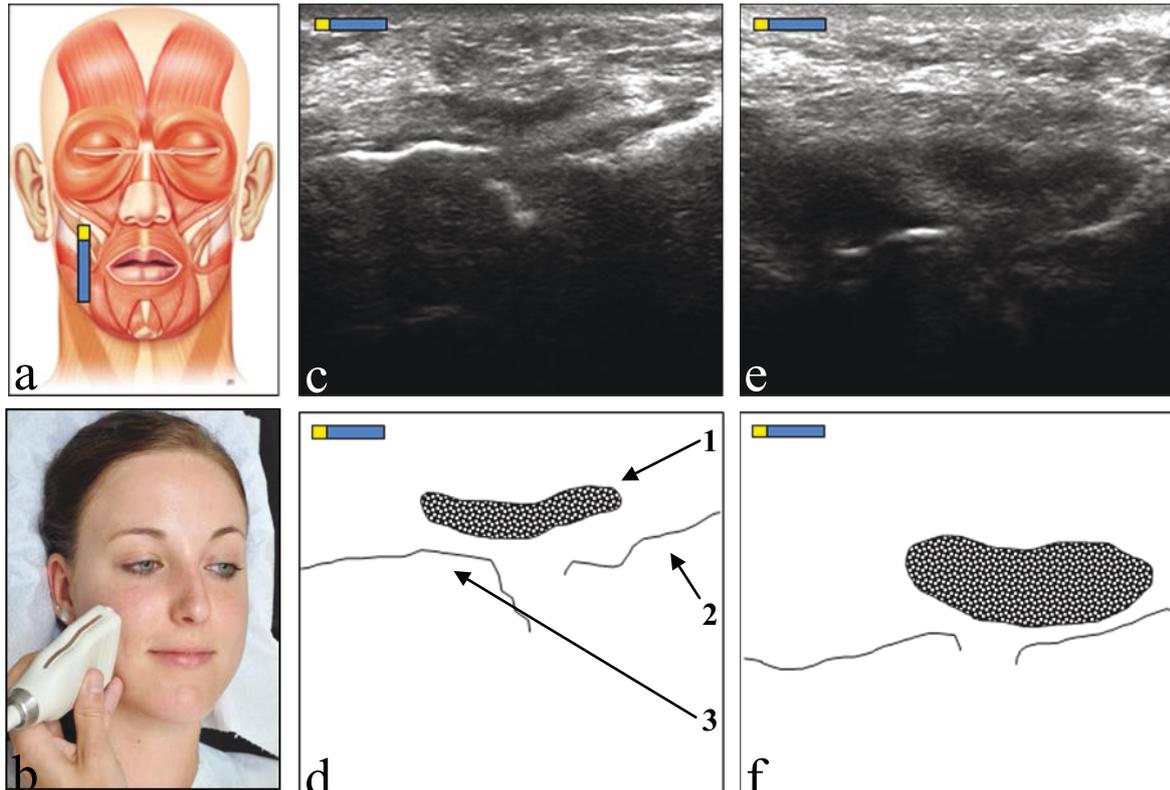
### Hinweise:

In der Praxis hat sich auch das Aufsuchen ausgehend vom Längsschnitt des M. zygomaticus major als günstig erwiesen. Hierbei muss der Schallkopf lediglich langsam immer weiter nach medial verschoben werden. Ausgehend vom M. zygomaticus major folgt sodann der M. zygomaticus minor, dann M. levator labii superioris und schließlich der M. levator labii superioris alaeque nasi.

### Fehlinterpretationen:

Bei zu lateraler Schallkopfstellung kann es zu Verwechslungen mit dem M. levator labii superioris kommen.

## 7.14 M. buccinator



**Abb. 15** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. buccinator b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. buccinator c sonographisches Bild des M. buccinator in Ruhe d Schemabild des M. buccinator in Ruhe 1 M. buccinator 2 Grenzecho des unteren zweiten Molar 3 Grenzecho des oberen zweiten Molar e sonographisches Bild des M. buccinator bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. buccinator bei maximaler Kontraktion

### Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird senkrecht zur Hautoberfläche auf die Wange, etwa auf Höhe der zweiten Molaren, aufgesetzt.

### Leitstrukturen:

Als Leitstrukturen dienen die deutliche sichtbaren Grenzechos des oberen und unteren Molaren.

### Anweisung:

„lächeln und Wangen nach innen ziehen“

### Bewegungsphänomene:

Unter der Kontraktion kommt es zu einer deutlichen Verdickung und Abnahme der Echogenität.

### Hinweise:

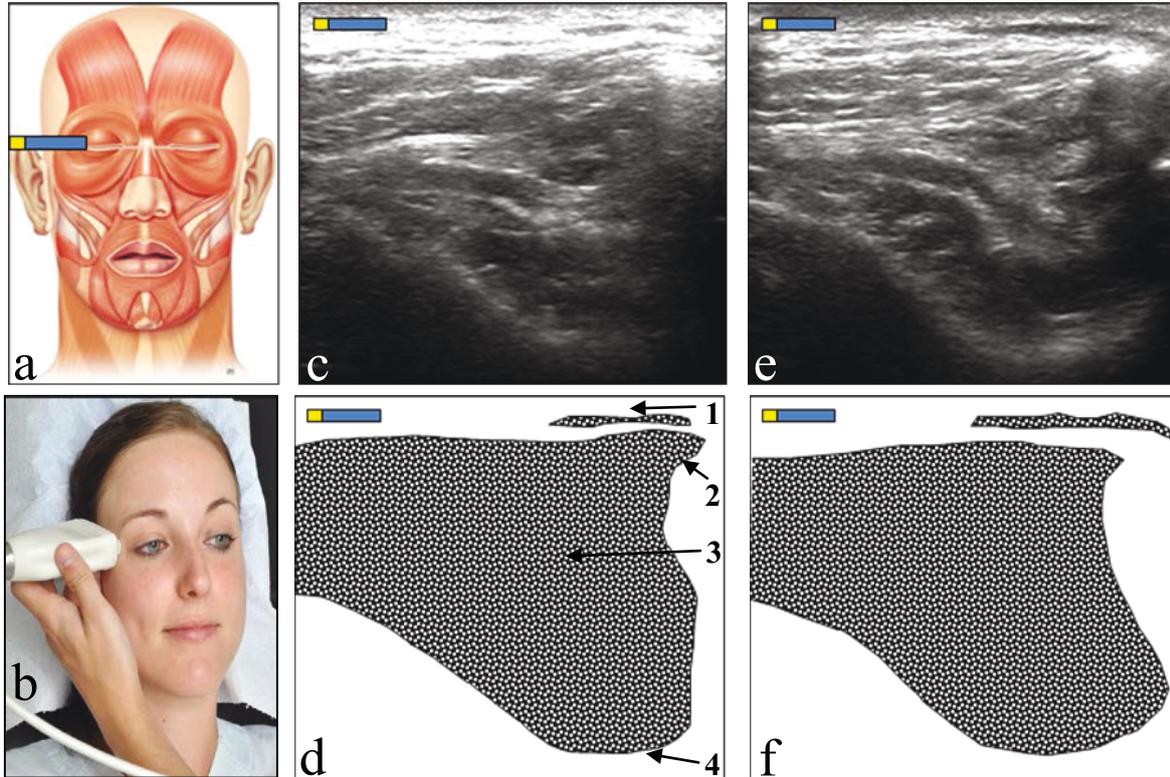
Zum Auffinden des Muskels kann es hilfreich sein, den Schallkopf ausgehend vom M. orbicularis oris in Richtung M. masseter zu verschieben. Der Muskel liegt nahe der Mundschleimhaut und ist durch seinen Verlauf und sein Verhalten unter der Kontraktion eindeutig identifizierbar.

### Fehlinterpretationen:

Bei korrekter Schallkopflage ist die Identifikation eindeutig. Bei einer Schallkopflage zu nahe am Mundwinkel kann es zu Verwechslungen mit den Muskelfasern der hier inserierenden Muskeln kommen.

## 8. Sonographie Schnitte der Kaumuskulatur

### 8.1 M. temporalis



**Abb. 16** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. temporalis b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. temporalis c sonographisches Bild des M. temporalis in Ruhe d Schemabild des M. temporalis in Ruhe 1 Ansnchnitt des M. orbicularis oculi 2 Grenzecho des lateralen Orbitarandes 3 M. temporalis 4 Grenzecho der Ala major des Os sphenoidale e sonographisches Bild des M. temporalis bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. temporalis bei maximaler Kontraktion

#### Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird in der Pupillenebene senkrecht zur Hautoberfläche auf die Schläfe aufgesetzt.

#### Leitstrukturen:

Die wichtigste Leitstruktur in diesem Schnitt ist der echoreiche knöcherne Orbitarand. Weiterhin ist am Grund der Fossa infratemporalis ist das Grenzecho der Ala major des Os sphenoidale und lateral das Grenzecho der Squama ossis temporale deutlich zu erkennen.

#### Anweisung:

„Kräftiges Zusammenbeißen der Zähne“.

#### Bewegungsphänomene:

Beim Zusammenbeißen der Zähne ist die Kontraktion des Muskels deutlich zu sehen. Meist kontrahiert jedoch nicht der gesamte, mit vielen Faszien durchzogene Muskel sondern vielmehr nur ein Teil des Muskels.

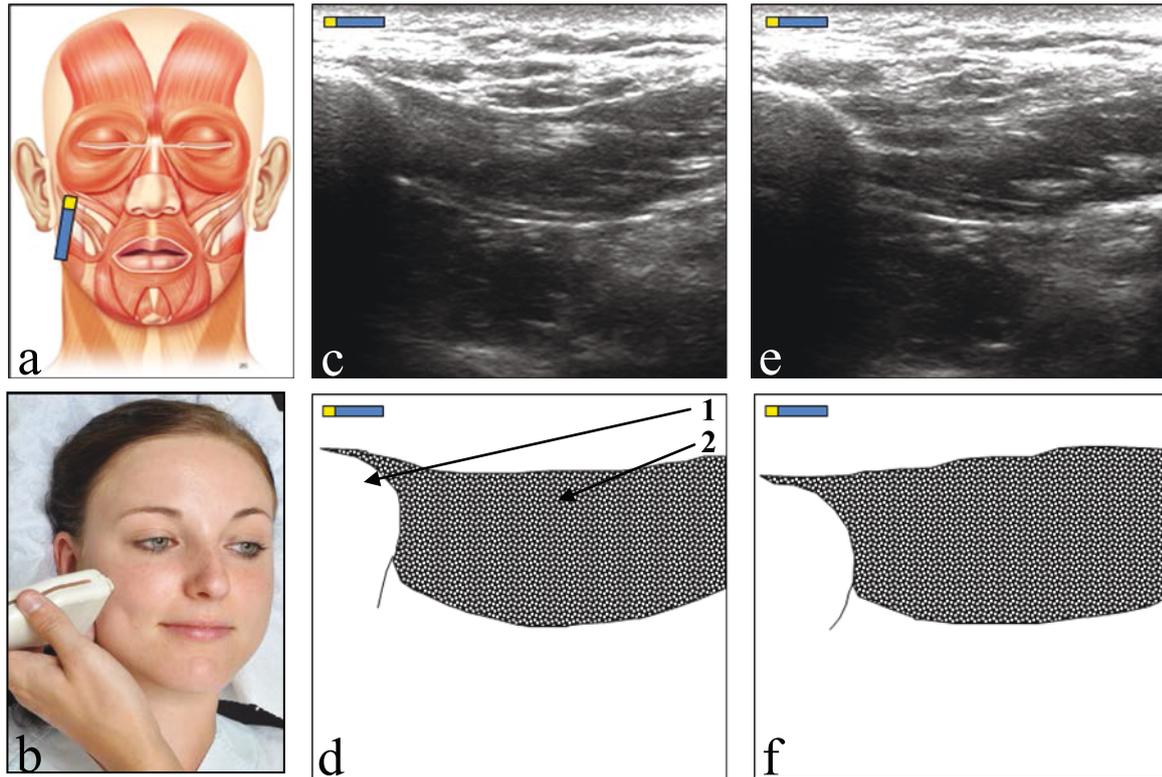
#### Hinweise:

Von der oben genannten Grundstellung ausgehend wird der Schallkopf sodann leicht parallel zur Pupillenebene nach kaudal oder kranial verschoben. Auf diese Weise kann leicht die größte Ausdehnung des Muskels aufgesucht werden. Es ist auch hier wieder darauf zu achten, dass der Schallkopf senkrecht zur Hautoberfläche aufgesetzt wird. Andernfalls wird der Muskel schräg angeschnitten und die Größe falsch bestimmt.

#### Fehlinterpretationen:

Keine

## 8.2 M. masseter



**Abb. 17** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. masseter b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. masseter c sonographisches Bild des M. masseter in Ruhe d Schemabild des M. masseter in Ruhe 1 Grenzecho der Facies lateralis des Os zygomaticum 2 M. masseter e sonographisches Bild des M. masseter bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. masseter bei maximaler Kontraktion

### Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird zwischen dem medialen Drittel des Arcus zygomaticus (Facies lateralis des Os zygomaticum) und dem Angulus mandibulae senkrecht auf die Hautoberfläche aufzusetzen. Die Facies lateralis des Os zygomaticum sowie die an ihm entspringenden echoarmen Muskelfasern des M. masseter, Pars superficialis und Pars profunda stellen sich sonographisch deutlich dar.

### Leitstrukturen:

Als Leitstrukturen dienen das meist kräftige Grenzecho der Facies lateralis des Os zygomaticum sowie der Faserverlauf des M. masseter.

### Anweisung:

„kräftiges Zusammenbeißen der Zähne“.

### Bewegungsphänomene:

Beim kräftigen Zusammenbeißen der Zähne ist eine deutliche Kontraktion des M. masseter zu beobachten. Diese ist im größeren Pars profunda meist am stärksten ausgeprägt.

### Hinweise:

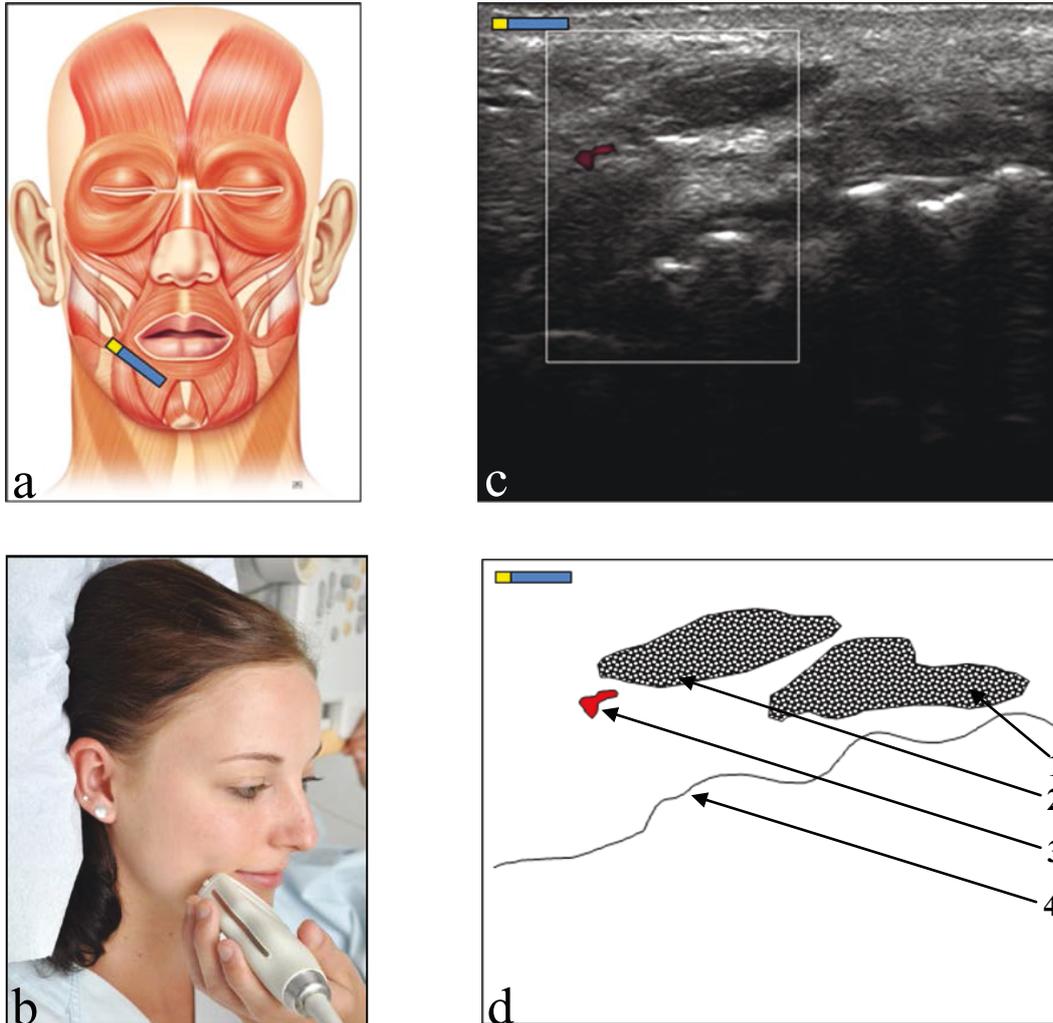
Der Muskel ist meist sehr leicht aufzufinden. Um den größten Durchmesser zu finden sollte der Schallkopf ausgehend von der oben beschriebenen Grundstellung leicht parallel über den Muskel verschoben werden.

### Fehlinterpretationen:

Keine.

## 9. Powerdoppler – Sonographie der Gesichtsarterien

### 9.1 A. facialis



**Abb. 18** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris c sonographisches Bild des M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris in Ruhe, am lateralen Rand des M. depressor anguli oris befindet sich die A. facialis d Schemabild des M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris in Ruhe, am lateralen Rand des M. depressor anguli oris befindet sich die A. facialis 1 M. depressor labii inferioris 2 M. depressor labii inferioris 3 A. facialis 4 Grenzecho der Alveolarfortsätze

#### Lage des Schallkopfes:

Die Schallkopflege ist mit der Position wie beim Auffinden des M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris identisch. Der Schallkopf wird unterhalb des Mundwinkels parallel zur Basis mandibulae auf die Hautoberfläche aufgesetzt und anschließend bis zu den sonographisch leicht zu identifizierenden Alveolarfortsätzen nach kranial verschoben. Der Schallkopf steht nun in Bezug auf die „Frankfurter“ bzw. „Deutsche“ Horizontale etwa um 45° nach kaudal geneigt.

#### Leitstrukturen:

Als Leitstruktur dient das kräftige Grenzecho der Alveolarfortsätze. Der echoarme M. depressor anguli oris lässt sich leicht vom umgebenden Gewebe abgrenzen. Am lateralen Rand des Muskels pulsiert die A. facialis. Der M. depressor labii inferioris liegt medial des M. depressor anguli oris und erscheint gegenüber dem M. depressor anguli oris echoreicher.

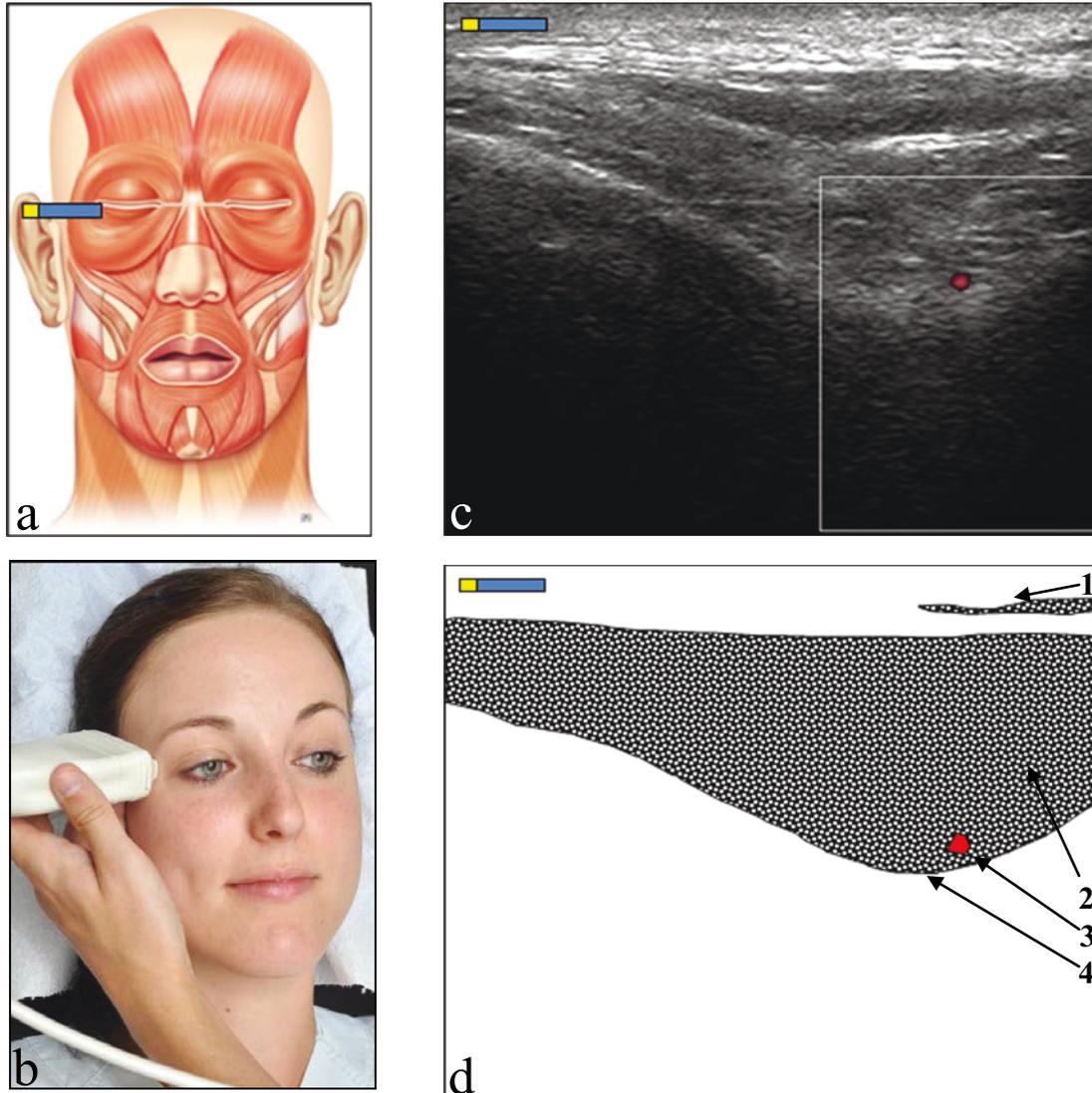
#### Hinweise:

Nach Auffinden der korrekten Schallkopfposition kann die A. facialis meist leicht am lateralen Rand des M. depressor anguli oris identifiziert werden. Um die Kompression des Gefäßes zu vermeiden ist darauf zu achten, dass der Schallkopf nur sehr sanft aufgesetzt wird. Manchmal kommt es vor, dass die A. facialis in viele kleine Äste aufgespalten. Ist dies der Fall sollte der Schallkopf ausgehend von der oben genannten Grundstellung leicht nach kaudal bewegt werden. Hier ist dann meist ein größerer Hauptast zu finden.

#### Fehlinterpretationen:

Abhängig von der Schallkopflege und dem Winkel der Schallebene zur Hautoberfläche kann die Arterie schräg angeschnitten sein. Durch leichtes Schwenken des Schallkopfes kann ein gerader Gefäßanschnitt erreicht werden.

## 9.2 A. temporalis profunda anterior



**Abb. 19** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. temporalis b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. temporalis c sonographisches Bild des M. temporalis in Ruhe mit der A. temporalis profunda anterior am Grund der Fossa infratemporalis d Schemabild des M. temporalis in Ruhe mit der A. temporalis profunda anterior am Grund der Fossa infratemporalis 1 M. orbicularis oculi 2 M. temporalis 3 A. temporalis profunda anterior 4 Grenzecho der Ala major des Os sphenoidale

### Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird in der Pupillenebene senkrecht zur Hautoberfläche auf die Schläfe aufgesetzt.

### Leitstrukturen:

Die wichtigste Leitstruktur in diesem Schnitt ist der echoreiche knöcherner Orbitalrand. Weiterhin ist am Grund der Fossa infratemporalis ist das Grenzecho der Ala major des Os sphenoidale und lateral das Grenzecho der Squama ossis temporale deutlich zu erkennen. Knapp oberhalb dieses Grenzechos befindet sich am Boden der Fossa infratemporalis die A. temporalis profunda anterior, ein Ast der A. maxillaris.

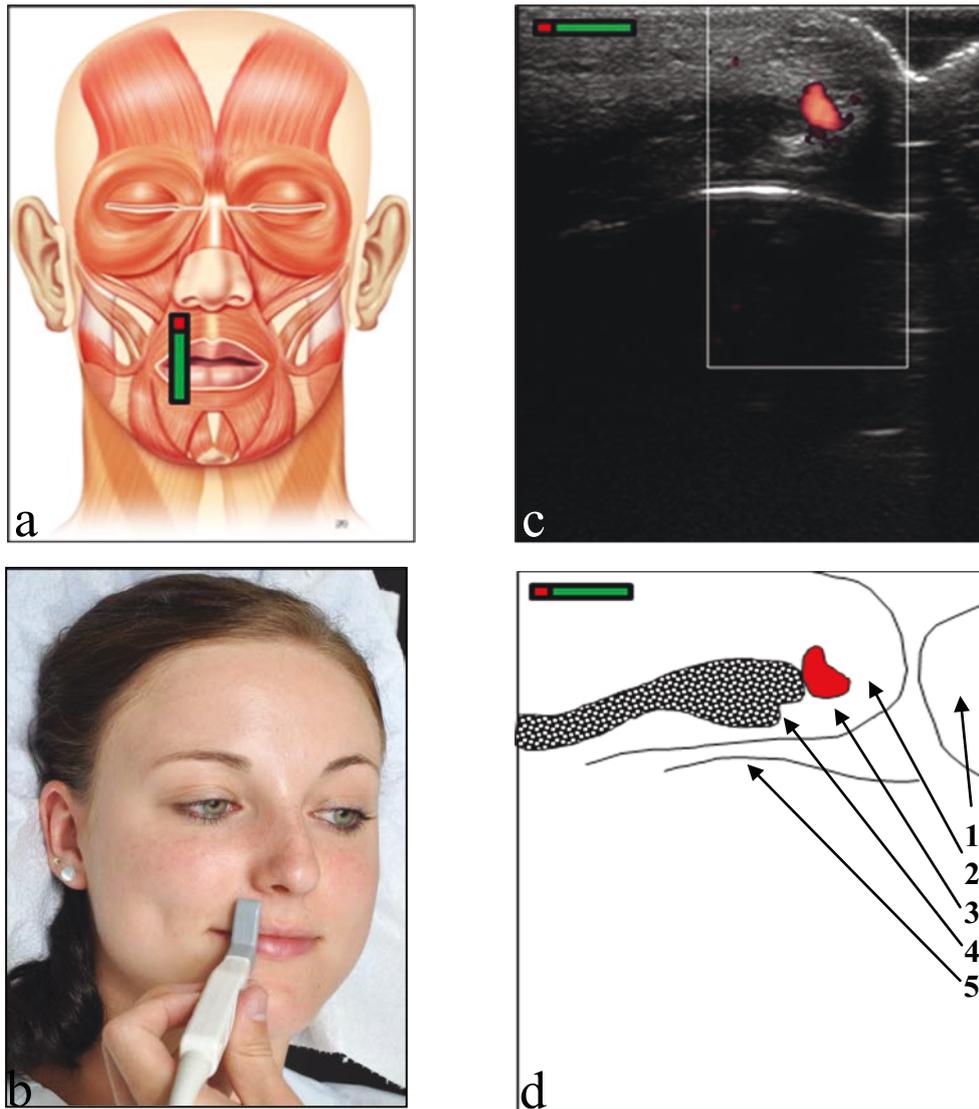
### Hinweise:

Die Zielarterie darf nicht mit der weiter lateral verlaufenden A. temporalis profunda posterior verwechselt werden. Um einen geeigneten Gefäßanschnitt aufzufinden, kann es hilfreich sein den Schallkopf ausgehend von der oben beschriebenen Grundstellung leicht nach kaudal oder kranial zu schwenken. Weiterhin sollte der Schallkopf auch hier nur mit möglichst wenig Druck aufgesetzt werden. Andernfalls kann es zur Kompression des Gefäßes mit entsprechender Verfälschung der Messergebnisse kommen.

### Fehlinterpretationen:

Beim Aufsuchen der A. temporalis profunda anterior sollten zunächst auch alle übrigen Gefäße im Schnitt identifiziert werden. So können Verwechslungen ausgeschlossen werden. Abhängig von der Schallkopflage und dem Winkel der Schallebene zur Hautoberfläche kann die Arterie schräg angeschnitten sein. Durch leichtes Schwenken des Schallkopfes kann ein gerader Gefäßanschnitt erreicht werden.

### 9.3 A. labialis superior



**Abb. 20** a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. orbicularis oris b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. orbicularis oris c sonographisches Bild des M. orbicularis oris in Ruhe mit der A. labialis superior d Schemabild des M. orbicularis oris in Ruhe mit der A. labialis superior 1 Unterlippe 2 Oberlippe 3 A. labialis superior 4 M. orbicularis oris 5 Grenzecho des Dens incisivus

#### Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird parallel zur Medianlinie rechts bzw. links neben dem Philtrum auf Höhe des Nasenloches senkrecht auf die Hautoberfläche aufgesetzt.

#### Leitstrukturen:

Als Leitstruktur dient das kräftige Grenzecho des Dens incisivus. Der dicke, echoarme M. orbicularis oris, Pars sup. liegt in der echoreichen Subkutis der Lippe. Nach kaudal schließen sich die Lippenspalte sowie die Unterlippe an.

#### Hinweise:

Die A. labialis superior weist meist einen geschlängelten Verlauf durch die Oberlippe auf. Um einen geraden Gefäßanschnitt zu erreichen kann es hilfreich sein den Schallkopf um wenige Millimeter nach links oder rechts zu verschieben. Bei Bartträgern sind die Messergebnisse aufgrund der vielen Artefakte meist nicht zu verwenden.

#### Fehlinterpretationen:

Keine.

#### 8.4 *Anleitung zur quantitativen Segmentierung der mimischen Muskulatur im MRT*

Die im Folgenden abgedruckte Anleitung zur Segmentierung der mimischen Muskulatur aus MRT-Volumendaten wurde 2014 von der Doktorandin Anika Meyer erstellt (Promotion an der Medizinischen Fakultät, Friedrich-Schiller-Universität Jena). Zusätzlich zu der hier vorgelegten print-Version existiert eine zweisprachige Website [www.facial.muscles.wiki](http://www.facial.muscles.wiki). Durch eingebettete Videos und die Möglichkeit, die Abbildungen zu vergrößern und links folgen zu können, bietet die Website beste Voraussetzungen, die 11 beschriebenen Muskeln auch ohne radiologische Ausbildung in MRT-Datensätzen sicher identifizieren zu können. Der Qualitäts- und Zeitvorteil, der durch die Anwendung der Anleitung bei der quantitativen Segmentierung entsteht, konnte von Anika Meyer bereits im Rahme ihrer Dissertation gezeigt werden.

# Anleitung zur quantitativen Segmentierung der mimischen Muskulatur im MRT

Jena 2014  
© Anika Meyer

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Allgemeine Hinweise zur Durchführung einer Segmentierung</b>	<b>2</b>
2.1	Sequenz	2
2.2	Kontrast, Helligkeit	2
2.3	Abgrenzung	2
2.4	Reihenfolge und Farbe	3
<b>3</b>	<b>Segmentierungsprogramm MITK</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Anatomie der mimischen Muskulatur</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Segmentierung der mimischen Muskulatur</b>	<b>8</b>
5.1	M. mentalis	8
5.2	M. depressor anguli oris	9
5.3	M. corrugator supercilii	10
5.4	M. zygomaticus major	11
5.5	M. zygomaticus minor	12
5.6	M. orbicularis oculi	13
5.7	M. orbicularis oris	14
5.8	M. levator labii superioris	15
5.9	M. nasalis	16
5.10	M. frontalis	17
5.11	M. buccinator	18
<b>6</b>	<b>Anatomie der Kaumuskulatur</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>Segmentierung der Kaumuskulatur</b>	<b>20</b>
7.1	M. temporalis	20
7.2	M. masseter	21

## **1 Einleitung**

Die vorliegende Anleitung zur Segmentierung der mimischen Muskulatur im MRT soll dem Anwender dabei helfen, die zum Teil sehr komplexen kernspintomographischen Schnittbilder des Gesichtes zu verstehen und die Segmentierung der Mimischen- und Kaumuskelatur nachvollziehen zu können. Die Anatomie der mimischen Muskulatur ist sehr besonders, da die Muskeln von keiner Faszie umschlossen sind und direkt dem umliegenden Gewebe anliegen. Sie inserieren als einzige Muskeln direkt in die Haut und zeigen zum Teil einen sehr variablen Verlauf. Daher ist es nicht immer einfach die Muskeln von Fett- und Bindegewebe abzugrenzen oder sie überhaupt zu erkennen.

In dieser Anleitung wird erläutert, worauf beim Segmentieren der mimischen Muskulatur geachtet werden muss und wie jeder einzelne Muskel in allen drei Ebenen aufzufinden ist. Die Anleitung enthält nur Erläuterungen zu den Muskeln, die im MRT Datensatz gut identifizierbar und segmentierbar sind. Sie beinhaltet neben den reinen Erklärungen auch MRT Bilder in einer für den jeweiligen Muskel charakteristischen Schicht jeder Ebene. Der Muskel ist seiner entsprechenden Farbe markiert. Um die Orientierung zu erleichtern, werden alle detaillierten MRT Bilder von einem Übersichtsbild in der entsprechenden Schicht begleitet, in welchem die anderen beiden dargestellten Ebenen mit Linien markiert sind. Unter den entsprechenden Abbildungen werden die mit Zahlen markierten Strukturen benannt und erläutert. Um den Atlas übersichtlich zu gestalten, erfolgen die Anleitungen ausnahmslos für die rechte Gesichtshälfte.

Für diesen Atlas wurde das Programm MITK ([www.mitk.org](http://www.mitk.org)) verwendet.

Die Lokalisation und die Ausdehnung der Muskeln können von Fall zu Fall differieren und nicht immer den Angaben entsprechen. Trotz der Standardisierung der Segmentierung sollten die Datensätze eines Patienten im Therapieverlauf immer vom gleichen Untersucher vorgenommen werden um die Vergleichbarkeit gewährleisten zu können. Außerdem differieren Helligkeit und der Kontrast trotz gleicher Einstellungen stark abhängig vom verwendeten Monitor, daher sollte stets der gleiche Bildschirm verwendet werden.

## **2 Allgemeine Hinweise zur Durchführung einer Segmentierung**

### **2.1 Sequenz**

Zur Beurteilung der mimischen Muskulatur eignen sich am besten die Sequenzen MPRAGE bzw. eine spezielle, an der FSU Jena entwickelte coronare VIBE. Die für diesen Atlas verwendete Sequenz ist MP-RAGE (magnetization prepared rapid gradient-echo). Bei der MP-RAGE handelt es sich um eine dreidimensionale Turbo Fast Low Angle Shot Sequenz. Diese 3D T<sub>1</sub>-gewichtete Aufnahmetechnik kann aufgrund der geringen effektiven Schichtdicke zur Darstellung kleiner anatomischer Strukturen genutzt werden und ist daher für die Untersuchung der mimischen Muskulatur ideal.

### **2.2 Kontrast, Helligkeit**

Der Kontrast ist immer abhängig von der jeweiligen Sequenz. Wichtig ist, dass bei der Beurteilung eines Datensatzes immer der gleiche Kontrast und Helligkeit eingestellt wird um eine Vergleichbarkeit unter den Untersuchern und innerhalb verschiedener Untersuchungszeitpunkte gewährleisten zu können. Für die Arbeit in einer MP-RAGE Sequenz wird die Kontrasteinstellung 258-302 (MITK) vorgeschlagen. In dieser Einstellung grenzen sich die Muskeln gut vom umliegenden Gewebe ab. Für die Sequenz VIBE muss in jedem Datensatz individuell der Kontrast eingestellt werden.

### **2.3 Abgrenzung**

Die Segmentierung der Grenzzone zwischen Muskel und umliegendem Gewebe ist sehr schwierig, da die mimischen Muskeln von keiner Faszie begrenzt sind. Dieses Problem kann während der Segmentierung zu erheblichen Unterschieden in den Ergebnissen führen. Daher muss die Herangehensweise vor der Segmentierung geklärt und festgelegt werden. Daher wird die Grenzzone außer Acht gelassen. Es werden nur die Grautöne segmentiert werden, die eindeutig dem Grauwert des Muskels näher sind als dem der Umgebung, also eindeutig von der Umgebung abzugrenzen sind. In der oben genannten Einstellung gilt dies nur für die sehr dunklen Voxel.

Da jeder Muskel unterschiedliche Dichte und Fettanteil besitzt, erscheint er dadurch im MRT unterschiedlich hell. Die Abgrenzung über einen definierten Grauton ist damit nicht möglich und muss für jeden Muskel individuell festgelegt werden. Abgrenzungen, die durch fehlende Kontraste nicht möglich sind, müssen durch anatomische Kenntnisse getätigt werden.

## 2.4 Reihenfolge und Farbe

Es wird empfohlen während der Segmentierung immer die gleiche Reihenfolge einzuhalten und die einzelnen Muskeln immer in der gleichen Farbe zu markieren. Die beiden Gesichtshälften sollten getrennt segmentiert werden um etwaige Seitenunterschiede analysieren zu können. Dabei wird sich an der Mittellinie orientiert. Die Mittellinie kann anhand des Interhemisphärenspaltes festgelegt werden. Die rechte und linke Seite können farblich durch einen helleren und dunkleren Farbton unterschieden werden. Jeder Muskel wird zunächst in einer charakteristischen Ebene segmentiert. Das Ergebnis wird daraufhin in den beiden anderen Ebenen korrigiert.

Reihenfolge der gut segmentierbaren Muskeln mit Farbkonzept:

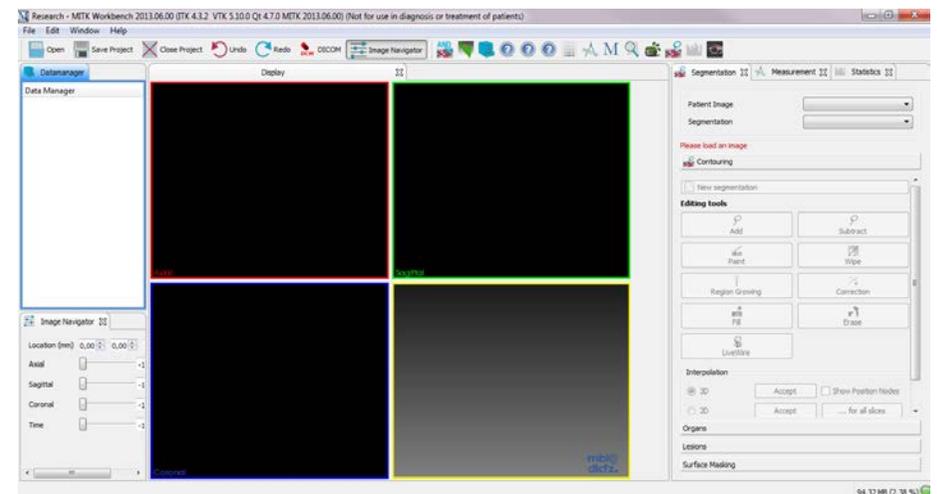
M. mentalis	weiß
M. depressor anguli oris	gelb
M. corrugator supercilii	rot
M. zygomaticus major	rosa
M. zygomaticus minor	pink
M. orbicularis oculi	lila
M. orbicularis oris	blau
M. levator labii sup.	hellblau
M. nasalis	türkis
M. frontalis	braun
M. buccinator	olivgrün
M. temporalis	dunkelrot
M. masseter	dunkelblau

rechts hell, links dunkel

Nach der vollständigen Segmentierung jeden Muskels sollte ein 3D Bild der segmentierten ROI erstellt werden, um die Segmentierung anhand anatomischer Kenntnisse nochmals überprüfen zu können.

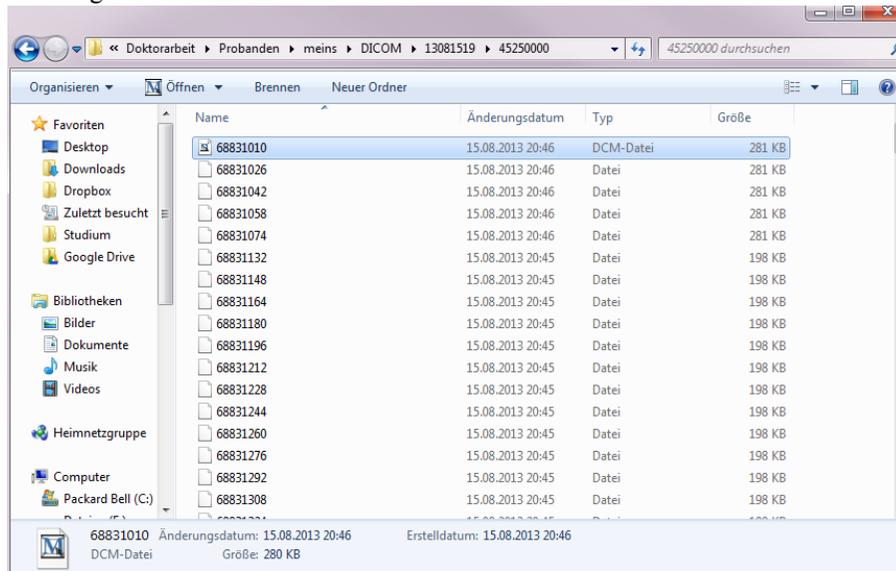
## 3 Segmentierungsprogramm MITK

Für die Segmentierung kann jedes Segmentierungsprogramm verwendet werden. Wir empfehlen das Programm MITK Workbench. Es ist ein open-source Segmentierungsprogramm und noch dazu sehr strukturiert aufgebaut und leicht verständlich. Das Programm kann unter <http://mitk.org/wiki/Downloads> heruntergeladen werden. Im Folgenden wird Schritt für Schritt erklärt, wie eine Segmentierung im MITK begonnen wird.

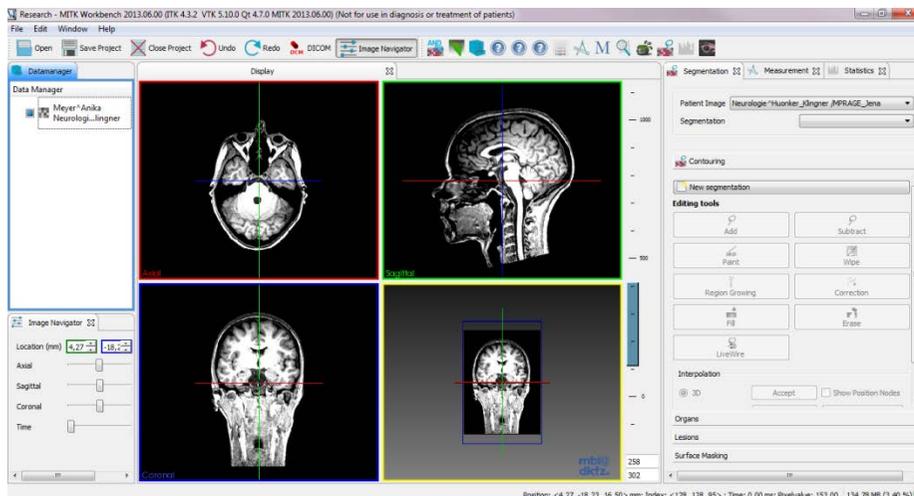


1. Programm öffnen
2. Datensatz öffnen
  - Zur Segmentierung der mimischen Muskulatur eignen sich der Standarddatensatz MPRAGE oder andere speziellere Sequenzen wie z.B. eine coronale VIBE. Für dieses Tutorial wurde die ein MPRAGE Datensatz verwendet.

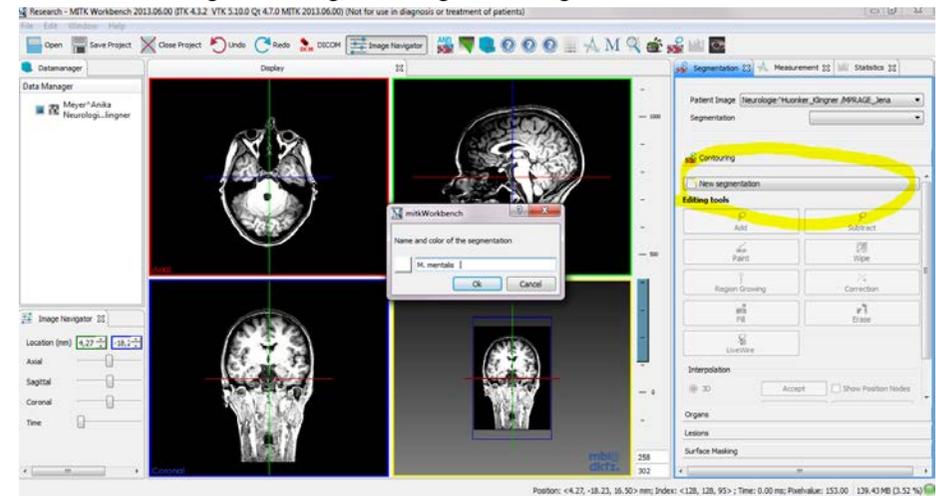
- Der Datensatz muss im DICOM-Format gespeichert sein. Ist das nicht der Fall, muss eine Datei des Datensatzes in „.dcm“ umbenannt werden, damit es von MITK erkannt wird. Klickt man auf dieses, öffnet sich daraufhin der gesamte Datensatz.



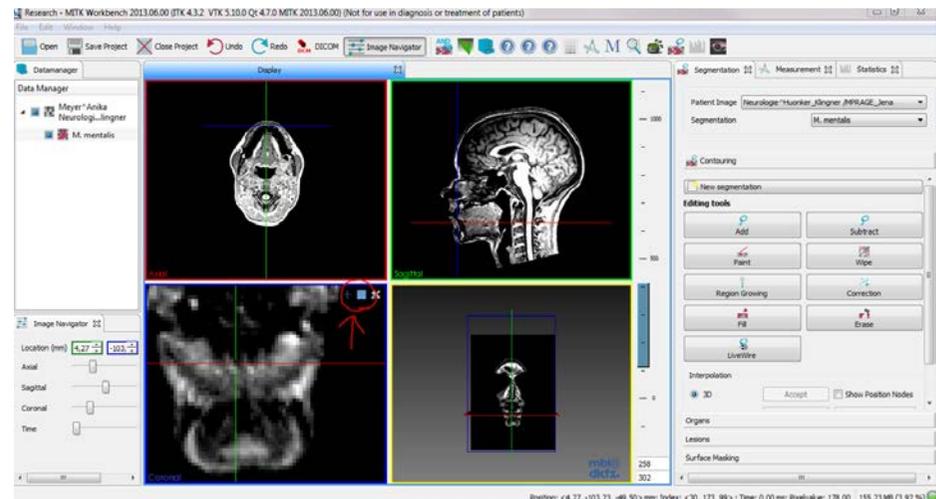
### 3. Kontrast einstellen (bei MPRAGE 258-302)



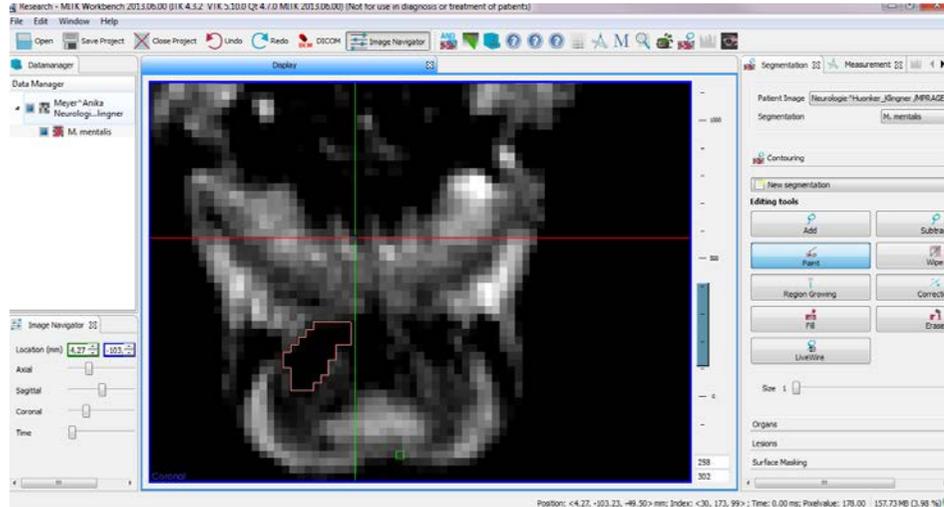
### 4. Unter Segmentierung, neue Segmentierung erstellen und Farbe auswählen



### 5. Durch Klicken auf das Quadrat in der oberen rechten Ecke kann die jeweilige Ansicht vergrößert werden.



6. Nutze die Tools “Paint” oder “Add” um zu segmentieren und “Wipe” oder “Subtract” um Teile der Segmentierung zu löschen.



#### 4 Anatomie der mimischen Muskulatur

Tab. 1 Anatomie der mimischen Muskulatur (nach Zilles et al. 2010)

Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
<b>Muskeln des Schädeldaches</b>			
<b>M. epicranius</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>M. occipitofrontalis                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Venter frontalis</li> </ul> </li> </ul>	<b>Ursprung</b> über den Sehnen benachbarter Muskeln im Bereich der pars nasalis des Os frontale <b>Ansatz</b> Galea aponeurotica	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rr. temporales des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. supraorbitalis</li> <li>A. supratrochlearis</li> <li>A. lacrimalis</li> <li>R. frontalis der A. temporalis superficialis</li> </ul>	Verschieben der Kopfhaut  Anheben der Augenbrauen und der Stirnhaut
<ul style="list-style-type: none"> <li>Venter occipitalis (M. occipitalis)</li> </ul>	<b>Ursprung</b> Linea nuchalis suprema <b>Ansatz</b> Galea aponeurotica	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>R. occipitalis des N. auricularis posterior des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b>	

Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
		<ul style="list-style-type: none"> <li>A. occipitalis</li> </ul>	
<b>M. temporoparietalis</b>	<b>Ursprung</b> Fascia temporalis <b>Ansatz</b> Galea aponeurotica	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rr. temporales des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. temporalis superficialis</li> </ul>	keine nennenswerte Funktion
<b>Muskeln im Bereich der Augenhöhle und der Lidspalte</b>			
<b>M. orbicularis oculi</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pars orbitalis</li> </ul>	<b>Ursprung</b> Crista lacrimalis und Proc. frontalis der Maxilla <b>Ansatz</b> über der Raphe palpebralis lateralis am Os zygomaticum	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rr. temporales</li> <li>Rr. zygomatici des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b>	Fester Schluss der Lidspalte
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pars palpebralis</li> </ul>	<b>Ursprung</b> Lig. palpebrale mediale <b>Ansatz</b> Lig. palpebrale laterale	<b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. facialis</li> <li>R. frontalis der A. temporalis superficialis</li> <li>A. infraorbitalis der A. maxillaris</li> <li>A. supraorbitalis, A. lacrimalis und A. supratrochlearis der A. ophthalmica</li> </ul>	Verschluss der Lipspalte, Beteiligung am Lidschlag und Stabilisierung des Unterlides zur Bildung des Tränensees Förderung des Tränenflusses, Abfluss der Tränenflüssigkeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pars lacrimalis (Horner-Muskel)</li> </ul>	<b>Ursprung</b> Crista lacrimalis des Os lacrimale <b>Ansatz</b> Canaliculi lacrimales in die Pars palpebralis		
<b>M. corrugator supercilii</b>	<b>Ursprung</b> Os frontale oberhalb der Sutura frontomaxillaris, Glabella, Arcus superciliaris <b>Ansatz</b> Haut oberhalb des mittleren Drittels der Augenbraue, Galea aponeurotica	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rr. temporales des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. supraorbitalis und A. supratrochlearis der A. ophthalmica</li> <li>R. frontalis der A. temporalis superficialis</li> </ul>	Verschieben der Augenbrauenhaut nach unten medial
<b>M. depressor supercilii</b>	<b>Ursprung</b> Os frontale <b>Ansatz</b> medialer Teil der Augenbraue	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>R. temporalis des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aa. supratrochleares und supraorbitales der A. ophthalmica</li> </ul>	Verschiebung der Haut über der Nasenwurzel zu einer queren Falte

Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
<b>Muskeln im Bereich der Nase</b>			
<b>M. procerus</b>	<b>Ursprung</b> Os nasale, Cartilago nasi lateralis <b>Ansatz</b> Haut der Glabella	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>R. zygomaticus des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. dorsalis nasi, A. supratrochlearis und Äste der A. ethmoidalis anterior der A. ophthalmica</li> </ul>	Verschiebung der Haut über der Glabella nach unten und Bildung einer Querfalte über der Nasenwurzel
<b>M. nasalis</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Pars transversa</b></li> <li><b>Pars alaris</b></li> </ul>	<b>Ursprung</b> Jugum alveolare des Eckzahnes bis in die Fossa canina der Maxilla <b>Ansatz</b> Aponeurose über dem Nasenrücken  <b>Ursprung</b> oberhalb des Jugum alveolare des seitlichen Schneidezahnes <b>Ansatz</b> Haut der Nasenöffnung und des Nasenseptums	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rr. zygomatici des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. angularis der A. facialis</li> </ul> <b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rr. zygomatici des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. dorsalis nasi und Äste der A. ethmoidalis anterior der A. ophthalmica</li> </ul>	Ziehen den Nasenflügel und die Nasenspitze nach unten, leichte Erweiterung des Nasenloches, Vertiefung des Nasenflügel furche
<b>M. depressor septi nasi</b>	<b>Ursprung</b> oberhalb des Proc. alveolaris des ersten Schneidezahnes <b>Ansatz</b> knorpeliger Teil des Nasenseptums	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rr. zygomatici und buccales des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. labialis superior der A. facialis</li> </ul>	Herabziehen der Nasenspitze und Erweiterung der Nasenlöcher
<b>M. levator labii superioris alaeque nasi</b>	<b>Ursprung</b> Proc. frontalis des Maxilla, Margo infraorbitalis <b>Ansatz</b> Oberlippe, Haut der Nasenflügel	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rr. zygomatici des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. infraorbitalis der A. maxillaris</li> <li>A. labialis superior und Äste der A. angularis der A. facialis</li> </ul>	Anheben von Nasenflügel und Oberlippe, Erweiterung der Nasenöffnung

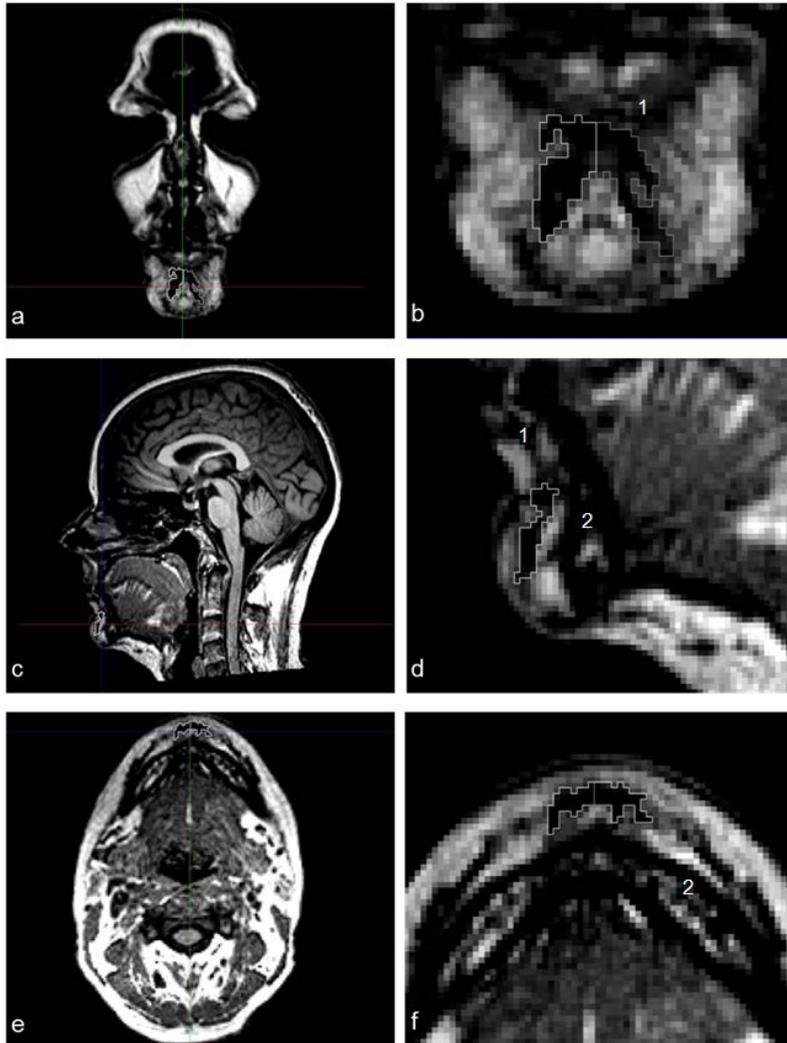
Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
<b>Muskeln im Bereich des Mundes</b>			
<b>M. orbicularis oris</b>	<b>Ursprung</b> Jugum alveolare des oberen und des unteren Eckzahnes <b>Ansatz</b> Haut der Ober- und Unterlippe	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rr. zygomatici des N. facialis im Bereich der Oberlippe</li> <li>Rr. buccales des N. facialis im Bereich des Mundwinkels</li> <li>R. marginalis mandibulae des N. facialis im Bereich der Unterlippe</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aa. labiales superior und inferior der A. facialis</li> </ul> <b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rr. buccales des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Äste der A. facialis und der A. temporalis superficialis</li> <li>A. buccalis und A. alveolaris superior posterior der A. maxillaris</li> </ul>	<b>Gesamter Muskel:</b> Verengen und Schließen der Mundöffnung, Erzeugen der Lippenspannung <b>Alleinige Kontraktion der Pars marginalis:</b> Einziehen des Lippenrotanteils nach innen <b>Alleinige Kontraktion des Pars labialis:</b> Vorwölben der Lippen
<b>M. buccinator</b>	<b>Ursprung</b> Proc. alveolaris maxillae im Bereich der Molaren, Crista buccinatoria im Bereich der Unterkiefermolaren <b>Ansatz</b> Modiolus anguli oris, über dem M. orbicularis oris in der Ober- und Unterlippe	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rr. buccales des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Äste der A. facialis und der A. temporalis superficialis</li> <li>A. buccalis und A. alveolaris superior posterior der A. maxillaris</li> </ul>	Beteiligung am Kauakt, indem er die Speise aus dem Mundvorhof zwischen die Zahnreihen und in die Mundhöhle schiebt. Erzeugung der Wangen- und Lippenspannung.
<b>M. zygomaticus major</b>	<b>Ursprung</b> Os zygomaticum vor der Sutura zygomaticotemporalis <b>Ansatz</b> Haut des Mundwinkels und der Oberlippe	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rr. zygomatici des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. zygomaticoorbitalis der A. temporalis superficialis</li> <li>Äste der A. facialis</li> </ul>	Anheben des Mundwinkels nach außen-oben, Vertiefung der Nasolabialfurche und der Lidfurche
<b>M. zygomaticus minor</b>	<b>Ursprung</b> Os zygomaticum medial vom M. zygomaticus major <b>Ansatz</b> Haut des Sulcus nasolabialis	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rr. zygomatici des N. facialis</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. zygomaticoorbitalis der A. temporalis superficialis</li> <li>Äste der A. facialis</li> </ul>	Anheben des Mundwinkels nach außen-oben

Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
<b>M. risorius</b>	<b>Ursprung</b> Facia masseterica <b>Ansatz</b> Haut der Oberlippe, Schleimhaut des Vestibulum oris, Modiolus anguli oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. buccales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ Äste der A. facialis	Zug des Mundwinkels nach lateral, Vertiefung der Nasolabialfurche, Erzeugung des Wangengrübchens
<b>M. levator labii superioris</b>	<b>Ursprung</b> Margo infraorbitalis der Maxilla oberhalb des Foramen infraorbitale <b>Ansatz</b> Haut der Oberlippe und des Nasenflügels, M. orbicularis oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris ▪ A. labialis superior und Äste der A. angularis der A. facialis	Anheben der Oberlippe, Erzeugung einer Falte oberhalb und seitlich der Nasenflügel
<b>M. levator anguli oris</b> (M. caninus)	<b>Ursprung</b> Fossa canina unterhalb des Foramen infraorbitale <b>Ansatz</b> Haut und Schleimhaut des Mundwinkelbereiches, Modiolus anguli oris, M. orbicularis oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. zygomatici des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris ▪ Äste der A. angularis und A. labialis superior der A. facialis	Anheben des Mundwinkels nach kranial-medial
<b>M. depressor anguli oris</b> (M. triangularis)	<b>Ursprung</b> Basis mandibulae vom Tuberculum mentale bis zum Jugum alveolare des ersten Molaren <b>Ansatz</b> Haut des Mundwinkels, Modiolus anguli oris	<b>Innervation</b> ▪ Rr. buccales des N. facialis ▪ variabel: R. marginalis mandibulae <b>Blutversorgung</b> ▪ Äste der A. facialis ▪ A. labialis inferior der A. facialis <b>Innervation</b> ▪ R. marginalis mandibulae des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. labialis inferior der A. facialis	Zug des Mundwinkels nach unten  Zug der Unterlippe nach unten-lateral, Vorwölbung des Lippenrotos
<b>M. depressor labii inferioris</b> (M. quadratus inferioris)	<b>Ursprung</b> Basis mandibulae unterhalb des Foramen mentale (Verbindung zum Platysma) <b>Ansatz</b> Haut und Schleimhaut der Unterlippe, Haut des Kinnwulstes, M. orbicularis oris	<b>Innervation</b> ▪ R. marginalis mandibulae des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. labialis inferior der A. facialis	Zug der Unterlippe nach unten-lateral, Vorwölbung des Lippenrotos
<b>M. mentalis</b>	<b>Ursprung</b> Jugum alveolare des seitlichen Schneidezahnes der Mandibula	<b>Innervation</b> ▪ R. marginalis mandibulae des N. facialis	Verschieben der Haut des Kinns nach oben

Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
	<b>Ansatz</b> Haut des Kinns	<b>Blutversorgung</b> ▪ A. labialis inferior der A. facialis	
<b>Muskeln im Bereich des äußeren Ohres</b>			
<b>M. auricularis anterior</b>	<b>Ursprung</b> Fascia temporalis, Galea aponeurotica <b>Ansatz</b> Spina helices der Ohrmuschel	<b>Innervation</b> ▪ Rr. temporales des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. temporalis superficialis	geringgradiger Zug der Ohrmuschel nach vorn
<b>M. auricularis superior</b>	<b>Ursprung</b> Galea aponeurotica <b>Ansatz</b> Hinterfläche der Ohrmuschel im Bereich der Eminentia scaphae und der Eminentia fossae triangularis, Spina helices	<b>Innervation</b> ▪ Rr. temporalis und R. auricularis des N. auricularis posterior des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. temporalis superficialis ▪ A. auricularis posterior	geringgradiger Zug der Ohrmuschel nach oben
<b>M. auricularis posterior</b>	<b>Ursprung</b> Proc. mastoideus, Linea nuchalis superior <b>Ansatz</b> Eminentia conchae der Ohrmuschel	<b>Innervation</b> ▪ R. auricularis des N. auricularis posterior des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ A. auricularis posterior ▪ R. auricularis der A. occipitalis	geringgradiger Zug der Ohrmuschel nach hinten
<b>Muskeln des Halses</b>			
<b>Platysma</b>	<b>Ursprung</b> Basis mandibulae <b>Ansatz</b> Haut der oberen Brustregion	<b>Innervation</b> ▪ R. colli des N. facialis <b>Blutversorgung</b> ▪ R. superficialis der A. transversa colli ▪ A. submentaliss der A. facialis	<b>Gesichtsteil:</b> Herabziehen der Mundwinkel nach lateral <b>Halsteil:</b> Verschieben der Haut zur Mandibula Spannen von Haut und Unterhautgewebe

## 5 Segmentierung der mimischen Muskulatur

### 5.1 M.mentalis



**Abb. 1) a** Übersichtsbild MRT coronar **b** M. mentalis in coronarer Ebene **c** Übersichtsbild MRT sagittal **d** M. mentalis in sagittaler Ebene **e** Übersichtsbild MRT axial **f** M. mentalis in axialer Ebene  
1 M. orbicularis oris  
2 Mandibula

#### Lage des Muskels

**Coronar:** Segmentierung wird ventral in der Schicht begonnen, in der das Kinn gerade noch zu erkennen ist. Nun wird in die Tiefe gescrollt. Von der Mitte aus verbreitert sich der M. mentalis beidseits in einem Streifen von mediokraniel nach laterokaudal.

**Sagittal:** Segmentierung mittig beginnen. M. mentalis verläuft als schmaler Streifen von kranial am M. orbicularis oris nach kaudal Höhe Zungenrund. In dieser Ebene erfolgt die Abgrenzung nach dorsal.

**Axial:** Auf Kinnhöhe sind ventral unter der Haut zwei Muskelbäuche beidseits der Mittellinie sichtbar.

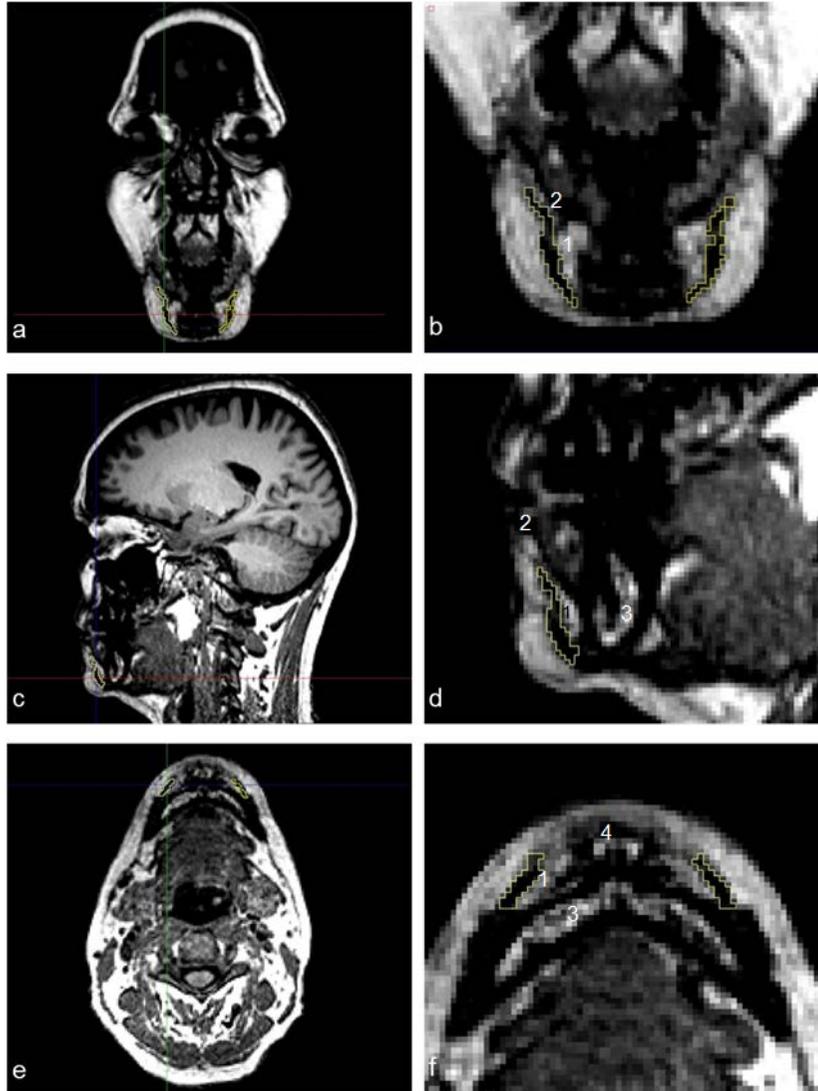
#### Leitstrukturen

Kranial inseriert er in den M. orbicularis oris. Er hat also mit diesem direkten Kontakt. Dorsal liegt das Vestibulum oris.

#### Fehlinterpretationen

Das dorsal liegende Vestibulum oris stellt sich im MRT ebenfalls dunkel dar und muss vom M. mentalis abgegrenzt werden.

## 5.2 M. depressor anguli oris



**Abb. 2)** *a* Übersichtsbild MRT coronar *b* M. depressor anguli oris in coronarer Ebene *c* Übersichtsbild MRT sagittal *d* M. depressor anguli oris in sagittaler Ebene *e* Übersichtsbild MRT axial *f* M. depressor anguli oris in axialer Ebene

- 1 Mandibula
- 2 M. orbicularis oris
- 3 Pars alveolaris mandibulae
- 4 M. mentalis

### Lage des Muskels

**Coronar:** Segmentierung in den tiefen Lagen des M. mentalis beginnen. Laterokaudal der Mm. mentales beginnt sich der M. depressor anguli oris in einem schmalen Streifen entlang der Mandibulaaußenkante nach dorsal zu erstrecken. Die kaudale Begrenzung ist auf Höhe der Basis mandibulae zu machen, da der Muskel an dieser entspringt. Nach kranial kann er bis Höhe Mundwinkel reichen.

**Sagittal:** Von der Mittellinie aus beginnend nach lateral scrollen. Muskel beginnt ventrokaudal und erstreckt sich nach dorsokranial entlang der Mandibula.

**Axial:** Der Muskel stellt sich als schmaler Schlauch lateral der Mandibula dar.

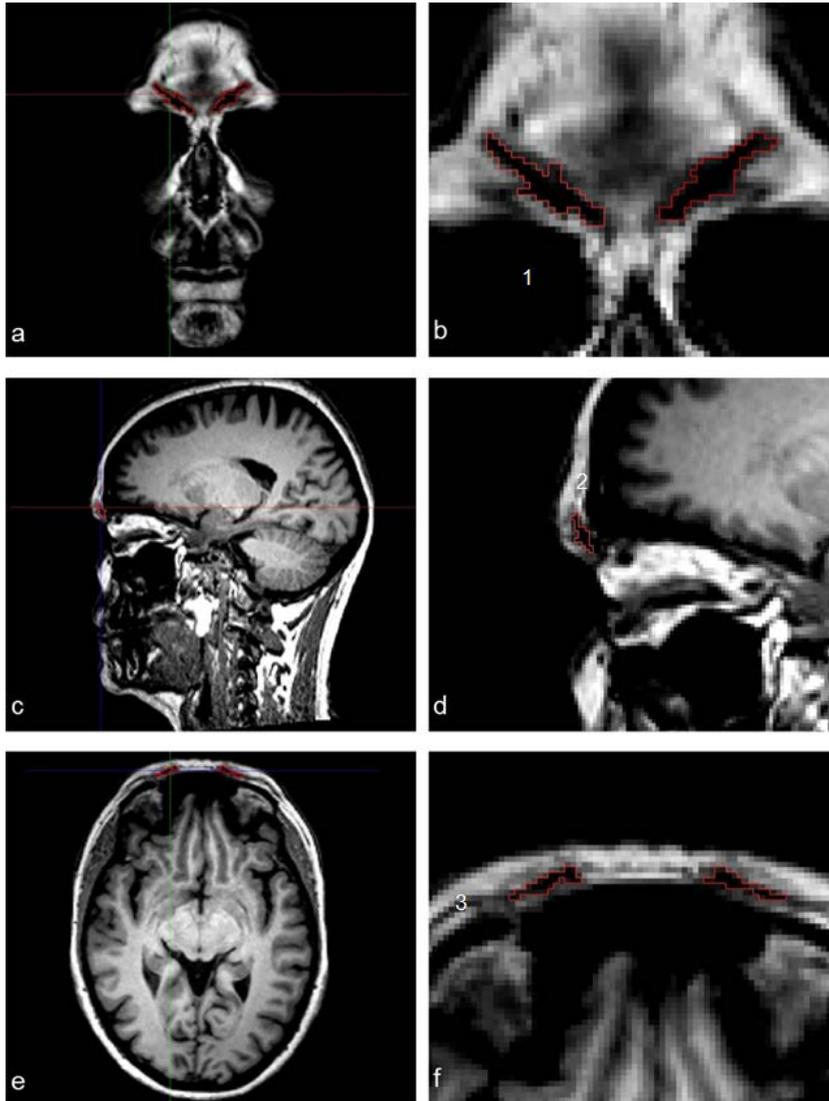
### Leitstrukturen

Der Muskel ist direkt der Mandibula angelagert. Kranial inseriert der Muskel in den Modiolus, kann also Kontakt zu anderen mimischen Muskeln haben, wie z.B. den M. orbicularis oris.

### Fehlinterpretationen

Nach dorsal geht der Muskel in das Platysma über, welches unbedingt abzugrenzen ist. Die Trennung erfolgt anhand anatomischer Kenntnisse etwa auf Höhe des Mundwinkels.

### 5.3 M. corrugator supercilii



**Abb. 3)** **a** Übersichtsbild MRT coronar; **b** *M. corrugator supercilii* in coronarer Ebene; **c** Übersichtsbild MRT sagittal; **d** *M. corrugator supercilii* in sagittaler Ebene **e** Übersichtsbild MRT axial; **f** *M. corrugator supercilii* in axialer Ebene

- 1 Orbita
- 2 *M. frontalis*
- 3 *M. orbicularis oculi*

#### Lage des Muskels

**Coronar:** Kranial der Orbita erstreckt sich der Muskel in einem Streifen von mediokaudal nach laterokranial.

**Sagittal:** Segmentierung mittig der Orbita beginnen und in beide Richtungen Korrekturen vornehmen.

**Axial:** Ausbreitung nach dorsal korrigieren → Muskel liegt ventral der Kalotte auf

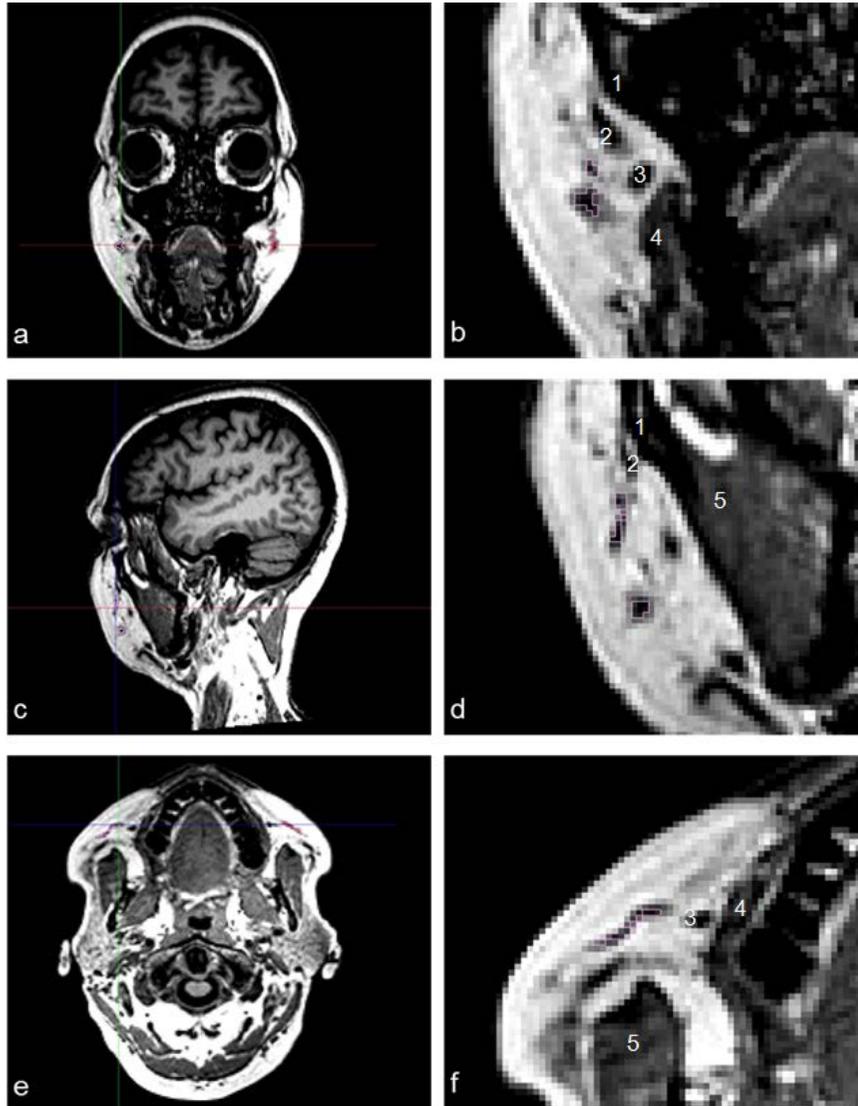
#### Leitstrukturen

Der Muskel liegt kranial der Orbita der Kalotte auf.

#### Fehlinterpretationen

Der *M. corrugator supercilii* muss in der Coronarebene anhand des Faserverlaufes vom *M. orbicularis oculi* abgegrenzt werden.

#### 5.4 M. zygomaticus major



**Abb. 4)** *a* Übersichtsbild MRT coronar; *b* *M. zygomaticus major* in coronarer Ebene; *c* Übersichtsbild MRT sagittal; *d* *M. zygomaticus major* in sagittaler Ebene; *e* Übersichtsbild MRT axial; *f* *M. zygomaticus major* in axialer Ebene

- 1 *Os zygomaticum*
- 2 *M. zygomaticus minor*
- 3 *A. facialis*
- 4 *M. buccinator*
- 5 *M. masseter*

#### Lage des Muskels

**Coronar:** Die ventralsten Lagen des *M. masseter* aufsuchen. Kranial des Muskels liegt das *Os zygomaticum*. Von da aus setzt sich nach laterokaudal hin ein Muskelzug ab. Dieser ist Teil des *M. zygomaticus major*. Der Muskel verläuft in einem Bogen nach mediokaudal zum *Modiolus* und inseriert dort, oft auch zweibäuchig.

**Sagittal:** Der Muskelstrang verläuft ventral des *M. masseter*.

**Axial:** Er zieht von kranial vom *Os zygomaticum* nach kaudal zum *Modiolus*

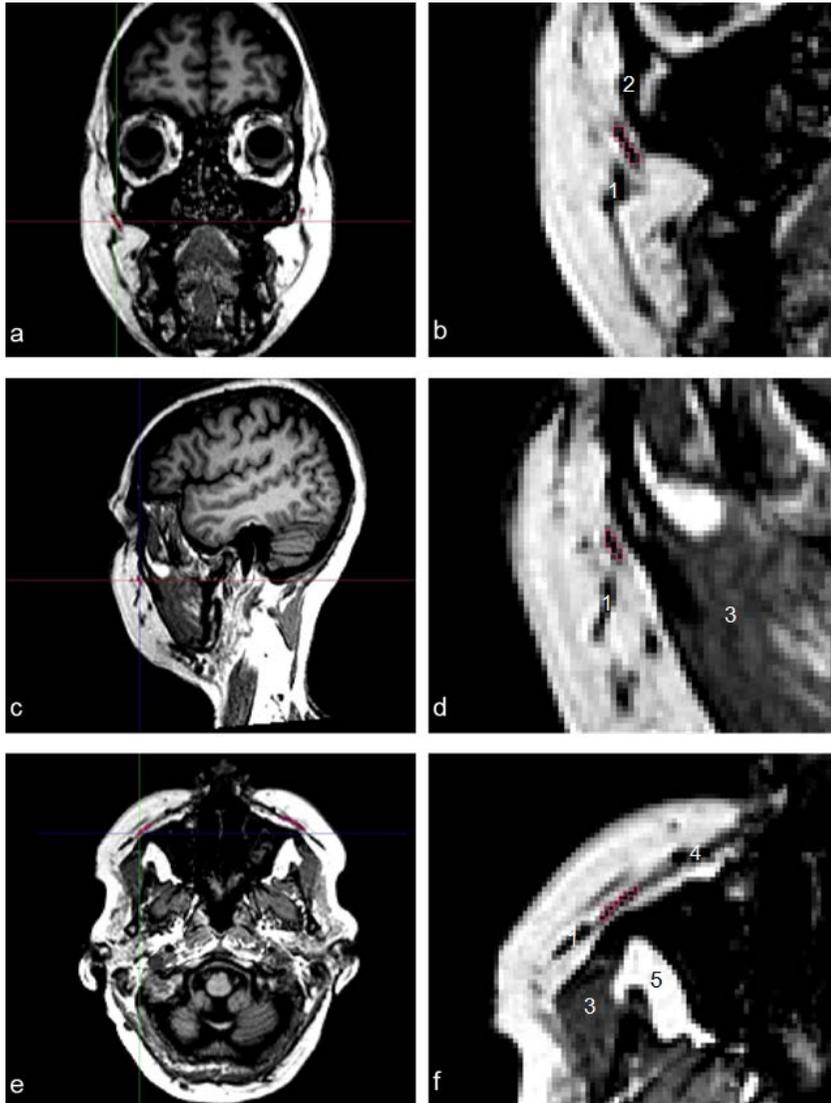
#### Leitstrukturen

Ursprung am *Os zygomaticum*, inseriert in die Haut Höhe Mundwinkel

#### Fehlinterpretationen

Der Muskel darf nicht mit der *A. facialis* verwechselt werden, welche zum Augeninnenwinkel zieht. Sie zieht jedoch in der entgegengesetzten Richtung, also von laterokaudal nach mediokraniel, was spätestens in der 3D Ansicht auffallen sollte.

## 5.5 M. zygomaticus minor



**Abb. 5)** *a* Übersichtsbild MRT coronar; *b* M. zygomaticus minor in coronarer Ebene; *c* Übersichtsbild MRT sagittal; *d* M. zygomaticus minor in sagittaler Ebene; *e* Übersichtsbild MRT transversal; *f* M. zygomaticus minor in transversaler Ebene

- 1 M. zygomaticus major
- 2 Os zygomaticum
- 3 M. masseter
- 4 M. levator labii superioris
- 5 Mandibula

### Lage des Muskels

**Coronar:** Der Muskel ist nicht in jedem MRT auffindbar. Er befindet sich kranial des M. zygomaticus major und zeigt einen ähnlichen Verlauf.

**Sagittal:** Der Muskelstrang verläuft ventral des M. masseter und kranial des M. zygomaticus major und ist im Vergleich kleiner als dieser.

**Axial:** Er zieht von kranial vom Os zygomaticum punktförmig nach kaudal, reicht aber nicht so tief wie M. zygomaticus major.

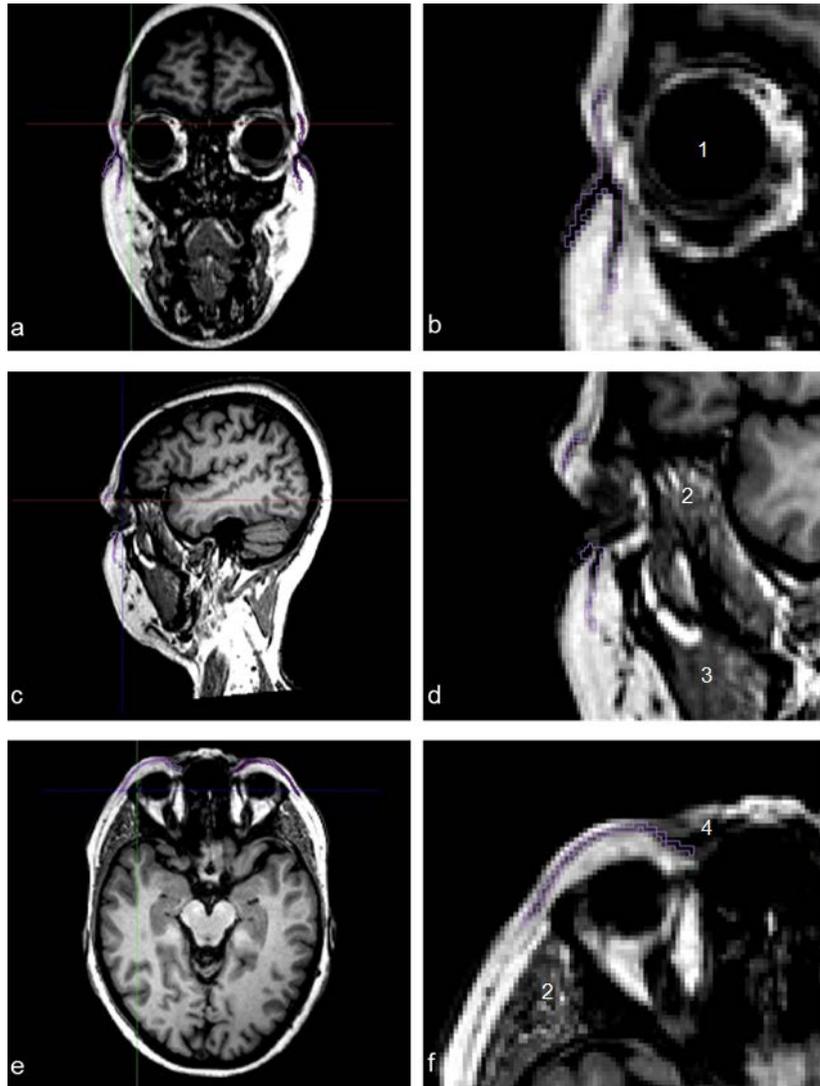
### Leitstrukturen

Ursprung am Os zygomaticum, medial des M. zygomaticus major, inseriert kranial des M. zygomaticus major an Haut des Sulcus nasolabialis

### Fehlinterpretationen

Abgrenzung zu M. zygomaticus major vornehmen. Der M. zygomaticus minor entspringt medialer und verläuft nicht so weit nach kaudal.

## 5.6 M. orbicularis oculi



**Abb. 6)** *a* Übersichtsbild MRT coronar; *b* M. orbicularis oculi in coronarer Ebene; *c* Übersichtsbild MRT sagittal; *d* M. orbicularis oculi in sagittaler Ebene; *e* Übersichtsbild MRT axial; *f* M. orbicularis oculi in axialer Ebene

- 1 Bulbus oculi
- 2 M. temporalis
- 3 M. masseter
- 4 M. corrugator supercilii

### Lage des Muskels

**Axial:** Die Segmentierung unterhalb der Orbita beginnen. Vom Nasenflügel bis lateral der Orbita erstreckt sich ein schmaler Muskelzug, der sich nach kaudal verkürzt. Wird nach kranial gescrollt, eröffnet sich die Orbita, welche den Muskel in einen medialen und einen lateralen Teil unterteilt. Der mediale stellt sich oft kaum dar. Der laterale Anteil ist oft zweischichtig. Wird weiter nach kranial gescrollt, vereinen sich die beiden Anteile wieder oberhalb der Orbita → Ringmuskel

**Coronar:** In einer Ebene dorsal des Bulbus oculi beginnen. Lateral der Orbita und des M. temporalis erstreckt sich ein senkrechter, schmaler Muskelzug. Wird nach ventral gescrollt, nähert sich dieser der Orbita an und wird in einen kaudalen und einen kranialen Teil getrennt. Die kaudalen Anteile können bis auf Höhe des Nasenbodens reichen. Sie erscheinen inhomogen, da sie von Fettgewebe durchsetzt sind.

**Sagittal:** Segmentierung lateral der Nase beginnen. Wird weiter nach lateral gescrollt trennt sich Muskel in kaudalen und kranialen Teil auf, welche sich lateral der Orbita wieder vereinen

### Leitstrukturen

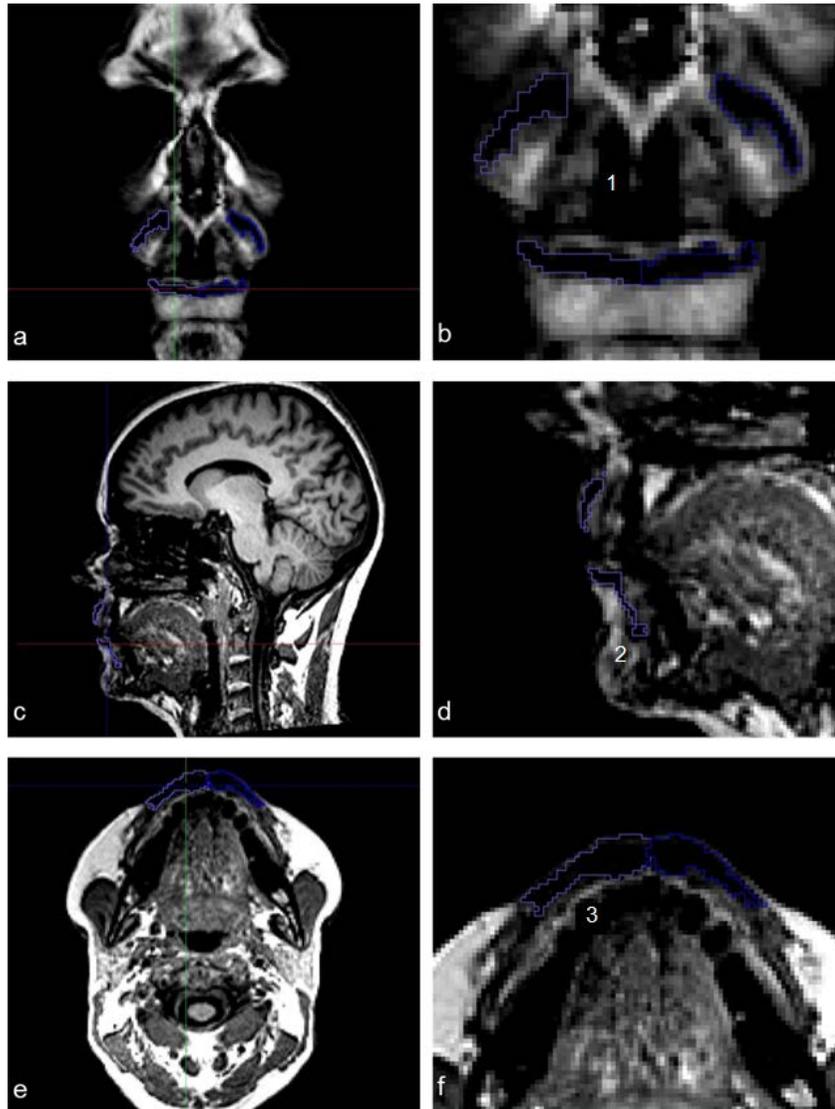
Ringmuskel um die Orbita

### Fehlinterpretationen

Das Muskelgewebe erscheint heller als bei anderen Muskeln.

Die Pars palpebralis kann im MRT nicht segmentiert werden, da sie direkt der Haut anliegt und somit nicht darstellbar ist. Die Segmentierung des M. orbicularis oculi ist somit immer unvollständig.

## 5.7 M. orbicularis oris



**Abb. 7)** *a* Übersichtsbild MRT coronar; *b* M. orbicularis oris in coronarer Ebene ; *c* Übersichtsbild MRT sagittal; *d* M. orbicularis oris in sagittaler Ebene; *e* Übersichtsbild MRT transversal; *f* M. orbicularis oris in transversaler Ebene

*1* Dens incisivus medialis dexter superior

*2* M. mentalis

*3* Dens caninus dexter inferior

### Lage des Muskels

**Axial:** Auf Höhe Nasenboden beginnen. Lateral der Nasenflügel werden die rundlichen Querschnitte des M. orbicularis oris sichtbar. Wird nach kaudal gescrollt, vereinigen sich diese zu einem Muskelstrang, der direkt unter der Haut liegt (Oberlippe). Weiter kaudal auf Höhe des Stomions ist kurzzeitig kein Muskelgewebe sichtbar, oder nur im Bereich der Mundwinkel. Wird weiter nach unten gescrollt, stellt sich der Muskeln wieder direkt unter der Haut dar (Unterlippe), unterhalb dieser liegt er etwas weiter in der Tiefe und geht dann über in den M. mentalis bzw. M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferior.

**Sagittal:** Segmentierung in dieser Ebene korrigieren. Mittig beginnen, ein Muskelstrang jeweils in Ober- und Unterlippe, die sich nach lateral vereinigen.

**Coronar:** Segmentierung in dieser Ebene korrigieren.

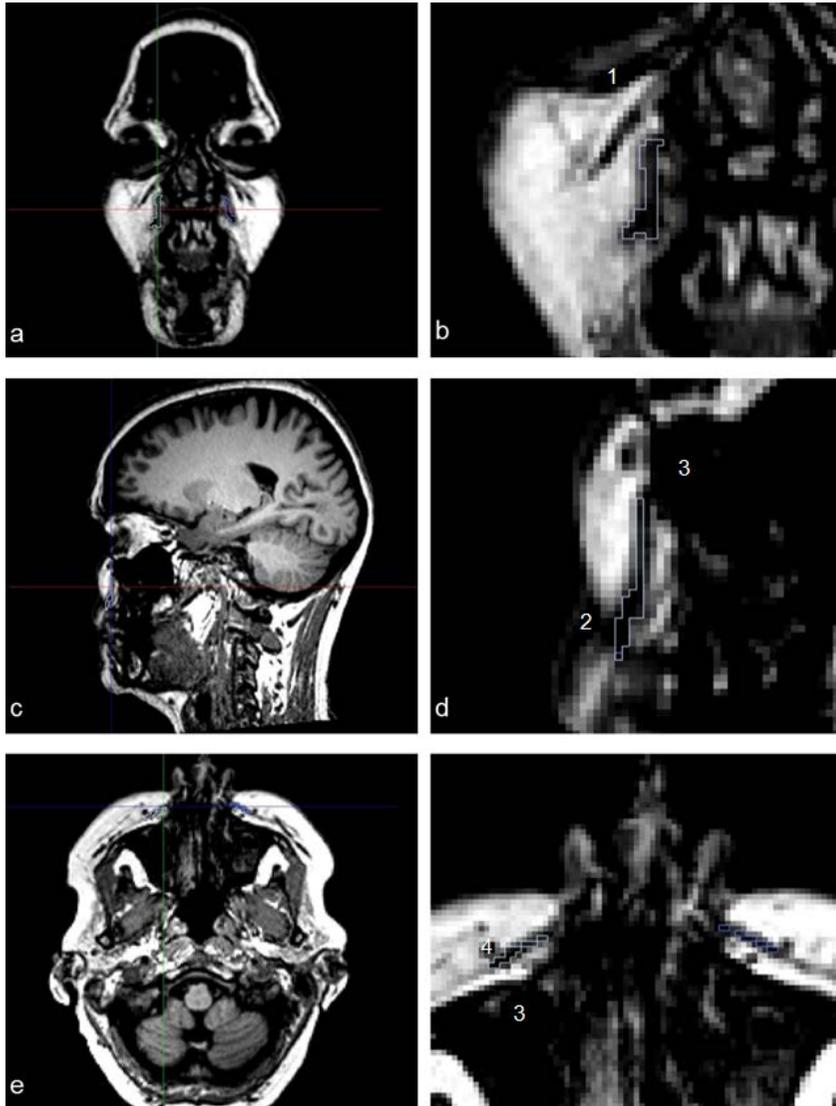
### Leitstrukturen

Ringmuskel um das Stomion. Von kaudal inserieren M. mentalis, M. depressor anguli oris und M. depressor labii sup.

### Fehlinterpretationen

Die dorsal liegenden Zähne stellen sich ebenfalls dunkel dar und dürfen nicht mit dem Muskeln verwechselt werden.

## 5.8 M. levator labii superioris



**Abb. 8)** *a* Übersichtsbild MRT coronar ; *b* M. levator labii superioris in coronarer Ebene; *c* Übersichtsbild MRT sagittal; *d* M. levator labii superioris in sagittaler Ebene; *e* Übersichtsbild MRT axial; *f* M. levator labii superioris in axialer Ebene

- 1 M. orbicularis oculi
- 2 M. orbicularis oris
- 3 Sinus maxillaris
- 4 A. facialis

### Lage des Muskels

**Coronar:** Segmentierung in der tiefsten Schicht des oberen Teiles des M. orbicularis oris beginnen. Wird von dort in die Tiefe gescrollt, setzt sich von da aus ein Muskelzug nach kranial ab der zur Maxilla zieht, etwa Höhe Foramen infraorbitale

**Axial:** Muskelzug, der kranial an der Vorderwand des Sinus maxillaris beginnt und kaudal am M. orbicularis oris inseriert.

**Sagittal:** Segmentierung in dieser Ebene korrigieren.

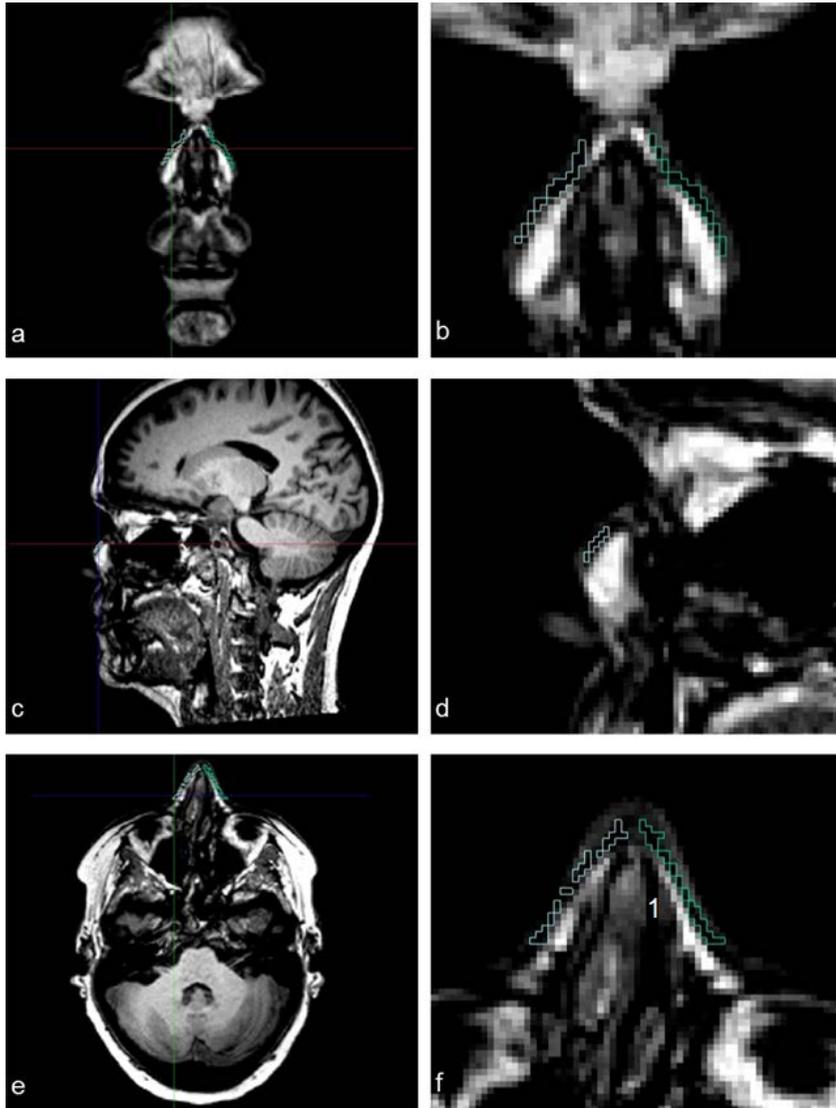
### Leitstrukturen

Ursprung an Vorderwand des Sinus maxillaris, inseriert in M. orbicularis oris

### Fehlinterpretationen

Der Muskel darf nicht mit der ähnlich verlaufenden A. facialis verwechselt werden, welche jedoch einen längeren Verlauf von der Basis mandibulae aus zeigt

## 5.9 M. nasalis



**Abb. 9)** **a** Übersichtsbild MRT coronar; **b** M. nasalis in coronarer Ebene; **c** Übersichtsbild MRT sagittal; **d** M. nasalis in sagittaler Ebene; **e** Übersichtsbild MRT transversal; **f** M. nasalis in transversaler Ebene

**1** Meatus nasalis

### Lage des Muskels

**Coronar:** Segmentierung an Nasenspitze beginnen. In die Tiefe scrollen, der Muskel liegt oberflächlich unter der Haut. An der Nasenspitze stellt er sich punktförmig dar und verbreitert sich dann nach dorsal entlang der Nasenflügel.

**Axial:** Segmentierung in dieser Ebene korrigieren.

**Sagittal:** Segmentierung in dieser Ebene korrigieren.

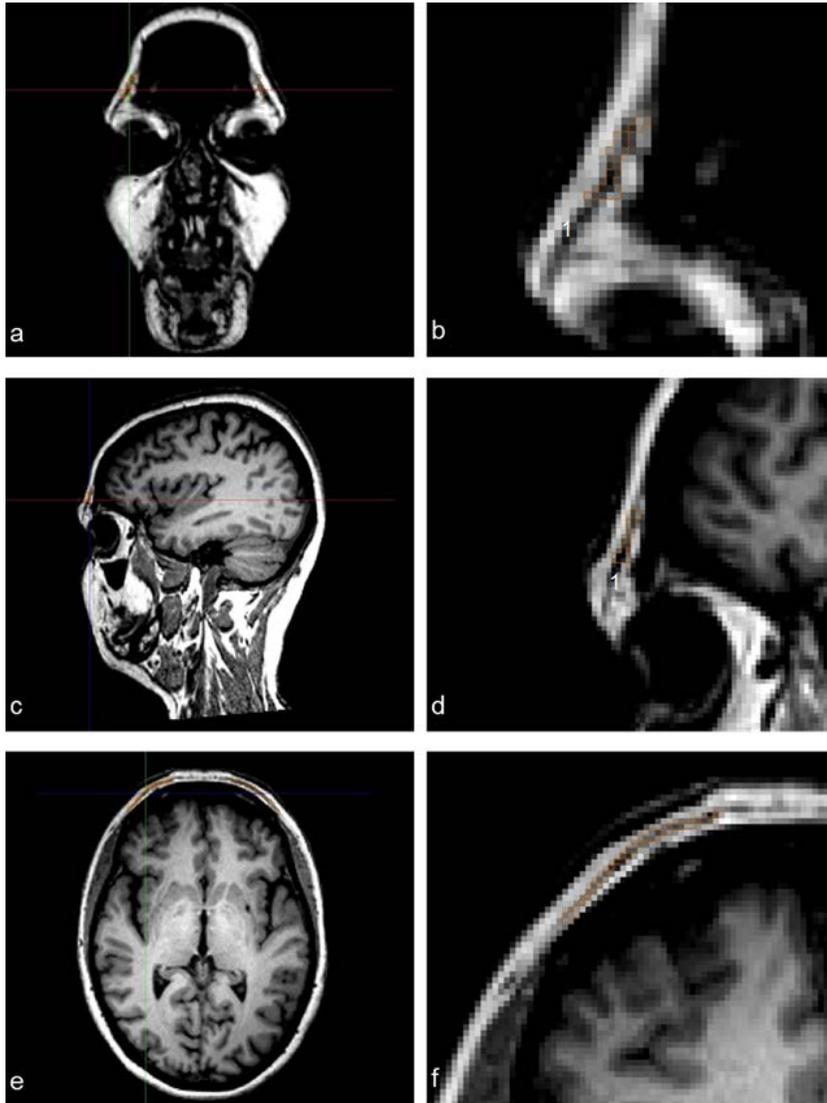
### Leitstrukturen

Nase

### Fehlinterpretationen

Die Nasengänge stellen sich ebenfalls schwarz dar und dürfen nicht mit dem Muskeln verwechselt werden.

## 5.10 M. frontalis



*Abb. 10) a* Übersichtsbild MRT coronar; *b* M. frontalis in coronarer Ebene; *c* Übersichtsbild MRT sagittal; *d* M. frontalis in sagittaler Ebene; *e* Übersichtsbild MRT axial; *f* M. frontalis in axialer Ebene

*1* M. orbicularis oculi

### Lage des Muskels

Da der Muskel sehr dünn ist und der Galea aponeurotica direkt aufliegt, ist die Segmentierung im MRT kaum möglich. Teile des Muskels können in axialer Ebene kranial des M. orbicularis oculi aufgefunden werden.

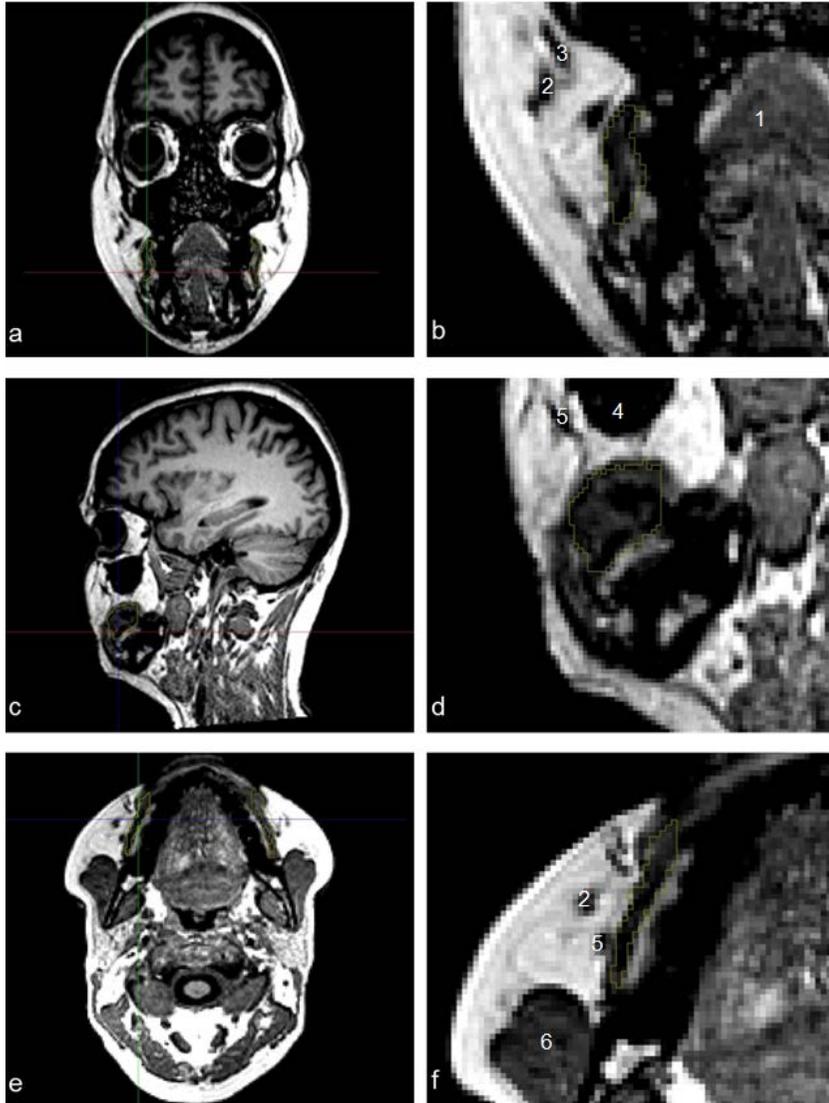
### Leitstrukturen

M. orbicularis oculi

### Fehlinterpretationen

Die Abgrenzung zum M. orbicularis oculi ist sehr schwer, da die Muskelfasern mit denen benachbarter Muskeln verflochten sind. Die Segmentierung ist an sich nicht vollständig möglich.

## 5.11 M. buccinator



**Abb. 11) a** Übersichtsbild MRT coronar; **b** M. buccinator in coronarer Ebene; **c** Übersichtsbild MRT sagittal; **d** M. buccinator in sagittaler Ebene; **e** Übersichtsbild MRT axial; **f** M. buccinator in axialer Ebene

- 1 Lingua
- 2 M. zygomaticus major
- 3 M. zygomaticus minor
- 4 Sinus maxillaris
- 5 A. facialis
- 6 M. masseter

### Lage des Muskels

**Coronar:** Der Muskel begrenzt nach lateral die Mundhöhle. Die Segmentierung sollte in den ventralen Schichten des M. masseter begonnen werden. Lateral der Mundhöhle liegt hier ein senkrechter, leicht geschwungener Muskelzug. Diesen nach ventral und dorsal verfolgen. Bei Unsicherheiten zunächst in den anderen Ebenen segmentieren.

**Axial:** Lateral der Mundhöhle stellt sich der Muskel in einem langen, schmalen Band dar. Nach ventral reicht er bis zum M. orbicularis oris, nach dorsal bis zu den Molaren.

**Sagittal:** Segmentierung in dieser Ebene korrigieren

### Leitstrukturen

Mundhöhle

### Fehlinterpretationen

Das umliegende Gewebe ist sehr inhomogen und daher ist der Muskel schwer zu segmentieren.

## 6 Anatomie der Kaumuskulatur

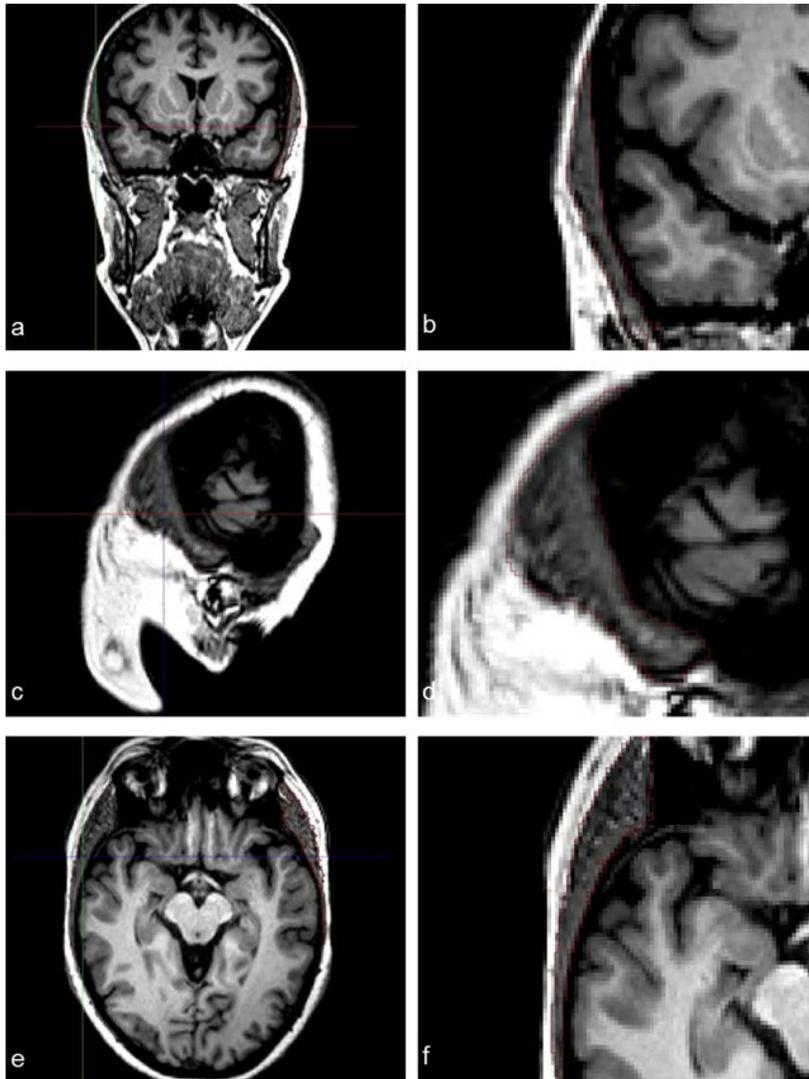
Tab. 2 Anatomie der Kauuskulatur (nach Zilles et al. 2010)

Muskel	Ursprung / Ansatz	Innervation / Blutversorgung	Funktion
<b>M. masseter</b>	<b>Ursprung</b> <b>Pars profunda:</b> Facies temporalis und Innenseite des Proc. temporalis des Os zygomaticum <b>Pars superficialis:</b> Facies lateralis und Proc. temporalis des Os zygomaticum <b>Ansatz</b> <b>Pars profunda:</b> Ramus mandibulae bis zur Basis des Proc. coronoideus und des Proc. condylaris <b>Pars superficialis:</b> Tuberositas masseterica an der außenfläche des Angulus mandibulae	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>N. massetericus des</li> <li>N. mandibularis aus dem N. trigeminus</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. masseterica der</li> <li>A. maxillaris</li> <li>A. facialis</li> <li>A. transversa faciei der A. temporalis superficialis</li> <li>A. buccales der</li> <li>A. maxillaris</li> </ul>	Kräftiges Heben (Adduktion) des Unterkiefers, Unterstützung der Protrusion des Unterkiefers
<b>M. temporalis</b>	<b>Ursprung</b> Linea temporalis inferior der Facies externa des Os parietale und der Facies temporalis des Os frontale, Pars squamosa des Os temporale, Facies temporalis des Os zygomaticum, Facies temporalis des Os sphenoidale bis zur Crista infratemporalis <b>Ansatz</b> Proc. coronoideus der Mandibula bis in das Trigonum retromolare	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nn. temporales profundi des N. mandibularis aus dem N. trigeminus</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aa. temporales profundae anterior und posterior der A. maxillaris</li> <li>A. temporalis media der A. temporalis superficialis</li> </ul>	<b>beidseitig:</b> kräftiges Heben (Adduktion) des Unterkiefers, Retrusion des Unterkiefers, Unterstützung der Protrusion (vorderer Anteil) <b>einseitig:</b> Stabilisierung des Caput mandibulae, Verlagerung des Caput mandibulae nach vorn und Drehung zur kontralateralen Seite
<b>M. pterygoideus medialis</b>	<b>Ursprung</b> <b>Pars medialis:</b> in der Fossa pterygoidea an der Facies medialis der Lamina lateralis proc. pterygoidei des Os sphenoidale <b>Pars lateralis:</b> Facies lateralis der Lamina lateralis processus pterygoidea des Os sphenoidale, Proc. pyramidalis ossis palatine, Tuber maxillae <b>Ansatz</b> Tuberositas pterygoidea an der Innenseite des Angulus mandibulae	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>N. pterygoideus medialis des N. mandibularis aus dem N. trigeminus</li> </ul> <b>Blutversorgung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. alveolaris superior</li> <li>A. alveolaris inferior</li> <li>A. buccalis der</li> <li>A. maxillaris</li> </ul>	<b>beidseitig:</b> Heben (Adduktion) und Protrusion des Unterkiefers <b>einseitig:</b> Mahlbewegung, Verlagerung des Caput mandibulare nach vorn und Drehung zur kontralateralen Seite
<b>M. pterygoideus lateralis</b>	<b>Ursprung</b> <b>Caput superius:</b> Facies temporalis und Crista infratemporalis des Ala major des Os sphenoidale <b>Caput inferius:</b>	<b>Innervation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>N. pterygoideus lateralis des N. mandibularis aus dem N. trigeminus</li> </ul> <b>Blutversorgung</b>	<b>Caput superius:</b> <b>beidseitig:</b> Fixierung des Caput mandibulae <b>einseitig:</b> Mahlbewegung, Stabilisierung

Facies lateralis der Lamina lateralis processus pterygoidea des Os sphenoidale <b>Ansatz</b> Caput superius: Fovea pterygoidea, Discus articularis Caput inferius: Fovea pterygoidea	<ul style="list-style-type: none"> <li>R. pterygoideus der A. maxillaris</li> </ul>	des ruhenden Caput mandibulae <b>Caput inferius:</b> <b>beidseitig:</b> Einleitung der Kieferöffnung <b>einseitig:</b> Mahlbewegung
--	---	--

## 7 Segmentierung der Kaumuskulatur

### 7.1 M. temporalis



*Abb. 12) a* Übersichtsbild MRT coronar; *b* M. temporalis in coronarer Ebene; *c* Übersichtsbild MRT sagittal; *d* M. temporalis in sagittaler Ebene; *e* Übersichtsbild MRT axial; *f* M. temporalis in axialer Ebene

#### Lage des Muskels

**Sagittal:** Segmentierung weit lateral beginnen und nach medial scrollen. Mittig vergrößert sich zunächst kreisförmig der M. temporalis und verläuft dann nach ventral in Richtung Processus coronoideus der Mandibula.

**Axial:** Segmentierung auf Höhe des Mesencephalons beginnen. Nach kranial verschmälert sich der Muskel zu einem schmalen Streifen lateral der Kalotte. Nach kaudal verbreitert er sich nach ventral und umfasst dann den Processus coronoideus der Mandibula von ventral und dorsal.

**Coronar:** In der dorsalsten Ebene des schon markierten Muskels beginnen und Segmentierung nach ventral hin korrigieren. Die Abgrenzung zu den Mm. pterygoidei erfolgt anhand des Faserverlaufes.

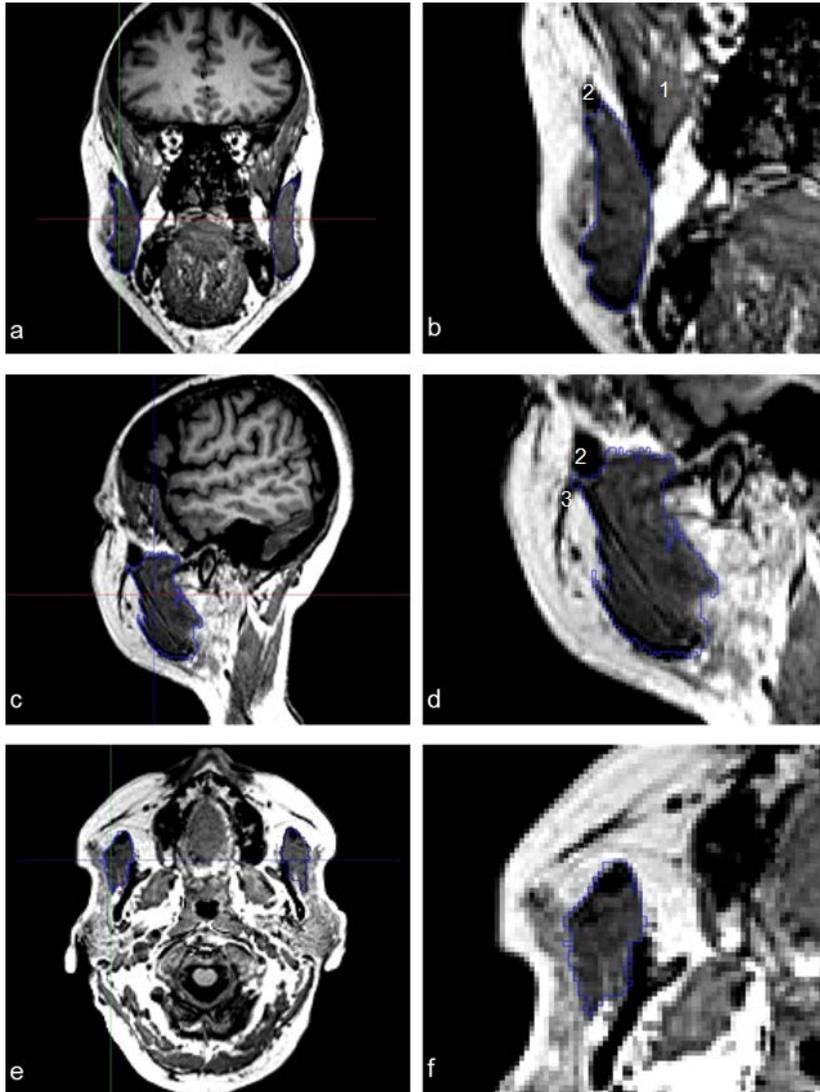
#### Leitstrukturen

Der M. temporalis ist neben dem M. masseter und der Zunge einer der drei großen Muskeln im vorderen Gesichtsbereich.

#### Fehlinterpretationen

Der Processus coronoideus, sowie eventuelle Bindegewebsstränge innerhalb des Muskels dürfen nicht mitsegmentiert werden.

## 7.2 M. masseter



**Abb. 13)** *a* Übersichtsbild MRT coronar; *b* M. masseter in coronarer Ebene; *c* Übersichtsbild MRT sagittal; *d* M. masseter in sagittaler Ebene; *e* Übersichtsbild MRT axial; *f* M. masseter in axialer Ebene

*1* M. temporalis  
*2* Os zygomaticum  
*3* M. zygomaticus major

### Lage des Muskels

**Sagittal:** Segmentierung lateral der Mandibula beginnen, dort wo Querschnitt des M. masseter am größten ist. Nach medial grenzt er an Mandibula, nach lateral endet er an Os zygomaticum.

**Axial:** Ovaler Muskelquerschnitt, lateral der Mandibula

**Coronar:** Segmentierung in dieser Ebene korrigieren. Ansatz und Ursprung sind gut sichtbar

### Leitstrukturen

Mandibulaußenseite, Os zygomaticum

### Fehlinterpretationen

-