

Aus der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik
Westdeutsche Kieferklinik
Zentrum für Zahn-, Mund und Kieferheilkunde
Heinrich-Heine Universität Düsseldorf
Direktorin: Univ.-Prof. Dr. P. Gierthmühlen

**Einfluss diagonal positionierter okklusaler Veränderungen auf die
elektromyographische Aktivität des M. masseter und M. temporalis anterior
unter Verwendung einer 0,4 mm dicken Polykarbonatfolie**

Dissertation

Zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Kristina Nöh

2017

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan:

Erstgutachter: Prof. Dr. Alfons Hugger

Zweitgutachter: Prof. Dr. Benedikt Wilmes

Meinen Eltern in Liebe und Dankbarkeit gewidmet

I. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Studie wurde die Wirkung diagonal positionierter okklusaler Veränderungen auf die elektromyographische Aktivität des M. masseter und des M. temporalis anterior unter submaximalen Aufbissbedingungen an zwanzig funktionsgesunden vollbezahnten Probanden untersucht. In zwei aufeinanderfolgenden Untersuchungssitzungen, die im Zeitabstand von zwei Wochen stattfanden, erfolgte die noninvasive Bestimmung der Muskelaktivität der bilateralen Kaumuskeln M. masseter und M. temporalis anterior mittels Oberflächenelektromyographie. Individuell für die einzelnen Probanden angerfertigte Polykarbonatfolien in einer Schichtdicke von 0,4 mm wurden in festgelegter Reihenfolge auf die Unterkieferzähne aufgesetzt, um unterschiedliche Aufbissbedingungen zu simulieren: Fünfzehn Aufbissvarianten ergaben sich durch diagonale Kombination der Folien im Bereich der zweiten Molaren, der ersten Molaren, der zweiten Prämolaren, der ersten Prämolaren, der Eckzähne und der Frontzähne. Unter visueller Feedbackkontrolle wurden die Aufbisse für je zwei Sekunden bei submaximalen Kraftbedingungen (10 % und 35 % der maximalen voluntären Kontraktion) dreimal hintereinander durchgeführt. Um die Auswirkungen zu prüfen, wurden die Aktivitätsverhältnisse der Kaumuskeln berechnet und statistisch mittels zweifaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung analysiert. Zur Beurteilung der Reliabilität wurden die Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC-Werte) herangezogen und die muskelbezogenen Mittelwerte der Differenzwerte beider Hauptuntersuchungen für jede Aufbissposition errechnet. Für die Aktivitätsverhältnisse des M. masseter und des M. temporalis anterior ergaben sich bei den unterschiedlichen Aufbissbedingungen keine signifikanten Unterschiede. Es zeigten sich jedoch größere Schwankungen der Werte beim M. temporalis, vor allem bei 10 % MVC. Der M. masseter lieferte dagegen nahezu konstante Aktivitätsverhältnisse bei unterschiedlichen Aufbisspositionen. Insgesamt konnte geschlussfolgert werden, dass der M. masseter auf die untersuchten unterschiedlichen Aufbissituationen mit recht ähnlichen Aktivitätsverhältnissen reagiert, wohingegen der M. temporalis insbesondere bei geringen Aufbissaktivitäten größere Schwankungen erkennen lässt, die im Sinne einer Feinadaptation zu interpretieren sind.

I. SUMMARY

In the present study, the effect of diagonally positioned occlusal changes in the electromyographic activity of the M. masseter and M. temporalis anterior was examined under submaximal biting conditions on twenty functional healthy and fully dentate subjects. In two consecutive study sessions that took place at intervals of two weeks, the non-invasive determination of the muscular activity of the bilateral M. masseter and M. temporalis anterior chewing muscles was done using surface electromyography. Finished occlusal stops made of polycarbonate in a thickness of 0,4 mm were individually produced for each subject and were placed in a fixed order on the lower teeth to simulate different biting conditions: Fifteen biting conditions resulted from a diagonal combination of the occlusal stops in the second molars, the first molars, the second premolars, the first premolars, canines and incisors. Under a visual feedback control, the subjects performed submaximum bite forces for two seconds (10 % and 35 % of maximum voluntary contraction), which was repeated for three times. To examine the impact, the activity ratios of the chewing muscles were calculated and analysed statistically by two-factor analysis of variance (ANOVA) with repeated measuring. To assess the reliability, intraclass correlation coefficient (ICC values) were used, and the muscle-related mean values were calculated for the difference values of the two main tests for each biting conditions. No significant differences resulted for the activity ratios of the M. masseter and M. temporalis anterior in the different biting conditions. However, it was shown that there were strong fluctuations in the values of the M. temporalis, especially at 10 % MVC. In contrast, the M. masseter showed almost constant activity ratios at different biting conditions. Overall, it could be concluded that the M. masseter reacts to the different studied biting situations with very similar activity ratios, whereas the M. temporalis reveals greater variations, particularly during biting at 10 % MVC, which are to be interpreted in terms of a fine adaptation.

II. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ANOVA Analysis of Variance/Varianzanalyse

APC Antero-Posterior-Coefficient

CMD Craniomandibuläre Dysfunktion

CMMR common mode rejection ratio

dB Dezibel

E Eckzahn

EMG Elektromyographie

F Frontzahn

H1 1. Hauptuntersuchung

H2 2. Hauptuntersuchung

Hz Hertz

ICC Intraklassenkorrelationskoeffizient

ISEK International Society of Electrophysiology and Kinesiology

MAP Myoarthropathie

M. Musculus/Muskel

Mm. Musculi/Muskeln

MVC Maximale voluntäre Kontraktion

M1 1. Molar

M2 2. Molar

N Nervus (Nerv)

P1 1. Prämolare

P2 2. Prämolare

POC Percentage Overlapping Coefficient

SENIAM surface electromyography for the non-invasive assessment of muscles

TC Torque Coefficient

TMD Temporomandibular dysfunction/Temporomandibuläre Dysfunktion

III. Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Kaumuskulatur.....	1
1.2	Okklusion.....	3
1.3	Funktionsstörungen des Kausystems	6
1.4	Elektromyographie.....	8
2	Ziel der Arbeit	11
3	Material und Methoden	12
3.1	Probandengruppe	12
3.2	Verwendete Geräte und Materialien	13
3.3	Versuchsdurchführung.....	15
3.4	Datenverarbeitung	18
3.5	Statistische Methoden	20
4	Ergebnisse	22
4.1	Muskelaktivitäten bei Bezugszahn 2. Molar	22
4.2	Muskelaktivitäten bei Bezugszahn 1. Molar	25
4.3	Muskelaktivitäten bei Bezugszahn 2. Prämolare.....	27
4.4	Muskelaktivitäten bei Bezugszahn 1. Prämolare.....	29
4.5	Muskelaktivitäten bei Bezugszahn Eckzahn	31
4.6	Vergleich der Muskelaktivitäten bei maximal diagonalen Aufbisslagen	33
4.7	Vergleich von M. masseter und M. temporalis	35
4.8	Reliabilitätsanalyse	40
4.9	Darstellung der mittleren Messwerte (in μV) der 1. und 2. Hauptuntersuchung ..	41
5	Diskussion	48
5.1	Diskussion der Methoden und der verwendeten Materialien	48
5.1.1	Probandengruppe.....	48
5.1.2	Design der Interferenzen	49
5.1.3	Reproduzierbarkeit	50
5.2	Studien zu Veränderung der statischen Okklusion.....	51
5.3	Studien über den Zusammenhang zwischen experimentell erzeugten Interferenzen und dem Auftreten von kranio-mandibulären Dysfunktionen	58
5.4	Interpretation	62
6	Schlussfolgerung	65
7	Literaturverzeichnis	66

1 EINLEITUNG

1.1 KAUMUSKULATUR

Die am Kauvorgang beteiligten Strukturen, welche die Kiefer, die Kiefergelenke, das Gebiss und den neuromuskulären Bewegungsapparat beinhalten, fasst man unter dem Begriff „stomatognathes System“ zusammen. Dieses stellt eine funktionelle Einheit dar, „deren Einzelteile bei oralen Aktivitäten wie Kauen, Schlucken und Sprechen zusammenarbeiten“. Durch das eng abgestimmte Zusammenspiel dieser Strukturen wird ein funktioneller Biss ohne Störungen ermöglicht (Samandari und Mai, 2009). Die Kaumuskulatur bildet dabei den aktiven Teil des Kauapparats, indem sie die Bewegungen des Unterkiefers steuert und Kräfte auf die Zähne und das Kiefergelenk überträgt. Zur Kaumuskulatur werden im Wesentlichen all jene Muskeln gezählt, die am Unterkiefer ansetzen und ihn gegen den Oberkiefer bewegen, also Öffnungs- und Schließbewegungen ermöglichen. Es handelt sich dabei um sieben paarige Einzelmuskeln: Den M. temporalis, M. masseter, M. pterygoideus medialis, M. pterygoideus lateralis, M. digastricus venter anterior, M. mylohyoideus und M. geniohyoideus.

Die Kaumuskulatur zählt zur Gruppe der Skelettmuskulatur. Hinsichtlich ihres Aufbaus und ihrer speziellen Anatomie gehören die Kaumuskeln zu den mächtigsten und komplexesten Muskeln des menschlichen Körpers (Grunheid et al., 2011). Der Muskel selbst besteht aus einer Vielzahl von Muskelzellen, welche eine längliche Form und am Rande gelegene Zellkerne aufweisen. Die Muskelzelle der Skelettmuskulatur wird auch als Muskelfaser bezeichnet. Sie entwickelt sich durch Verschmelzung einzelliger Myoblasten und wird von einer Zellmembran, dem Sarkolemm, umgeben. Der Faserdurchmesser der Kaumuskeln liegt bei 10-50 μm und ist somit erheblich kleiner als bei der Rumpf- und Extremitätenmuskulatur (Schindler und Türp, 2006). Umgeben ist die Muskelfaser von einer dünnen Bindegewebsschicht, die man als Endomysium bezeichnet. Durch die Zusammenlagerung mehrerer Muskelfasern bilden sich Muskelbündel, sogenannte Faszikel, die ebenfalls bindegewebig vom Perimysium umhüllt werden. Der Muskel besteht letztendlich aus einer Einheit mehrerer Muskelbündel und ist in seiner Gesamtheit vom Epimysium umschlossen. Diese äußere Bindegewebsschicht setzt sich in Form von Bändern und Sehnen fort. Im Inneren der Muskelfaser sind hauptsächlich Proteinfilamente enthalten, die sich zu Myofibrillen zusammenlagern. Sie verlaufen parallel zur Muskellängsachse und bestehen aus Sarkomeren, welche die kleinste

kontraktile Einheit des Muskels darstellen. Sie sind aus dicken und dünnen Myofilamenten aufgebaut. Aufgrund der regelmäßigen Aneinanderreihung der Proteinfäden lässt sich im Lichtmikroskop die typische Querstreifung der Skelettmuskulatur erkennen. Die dicken Filamente enthalten zum größten Teil Myosin, wohingegen sich die dünnen Filamente hauptsächlich aus Aktin zusammensetzen. Durch das Verschieben der Myofilamente gegeneinander wird das Sarkomer verkürzt, was sich in der Muskelfibrille, der Muskelfaser und dem Muskelbündel fortsetzt, sodass schließlich der gesamte Muskel kontrahiert. Die Myofibrillen sind demnach für die aktive Kraftentwicklung des Muskels verantwortlich und bilden den kontraktilem Apparat. Untersuchungen der Kaumuskulatur zeigen, dass es beim Menschen mindestens vier Myosinarten (sogenannte Isoforme) mit unterschiedlicher Zusammensetzung der schweren Myosinketten gibt. Muskelfasern, in denen mehrere Isoforme gleichzeitig exprimiert werden, bezeichnet man als Hybridfasern. Die Isoforme sind für das Kontraktionsverhalten des Muskels im Wesentlichen verantwortlich und ermöglichen eine variable Spannweite an Kontraktionsgeschwindigkeiten (Schindler und Türp, 2006). Es lassen sich drei Kategorien von Muskelfaser-Typen unterscheiden: Typ 1-Fasern, Typ 2-Fasern und ein intermediärer Typ, der sich in die Subgruppen 2a, 2b und 2c gliedern lässt. Das Kriterium für die Klassifikation ist der Gehalt an spezifischen Enzymen für Kontraktionsgeschwindigkeit sowie die Zusammensetzung der Myosinstrukturen.

Die Kaumuskulatur wird sensorisch und motorisch durch die Äste des N. trigeminus versorgt. Den Verbund von Motoneuron und die von diesem Neuron innervierten Muskelfasern bezeichnet man als motorische Einheit. Es handelt sich dabei um die kleinste funktionelle Einheit zur Kontrolle der willkürlichen und unwillkürlichen Muskelkontraktion. Die Anzahl und Größe der Fasern variiert je nach Muskel. Sie hängt hauptsächlich von den feinmotorischen Qualitäten des jeweiligen Muskels ab. So besitzt eine motorische Einheit der Augenmuskulatur weniger als 10 Fasern, während sie bei der Extremitätenmuskulatur mehr als 1000 Muskelfasern enthalten kann. Für den M. masseter werden 936, für den M. temporalis 640 Fasern pro motorischer Einheit angegeben (Schindler und Türp, 2006). Motorische Einheiten der Kaumuskulatur nehmen sehr kleine Regionen in einzelnen Faszikeln ein, nur sehr wenige projizieren über den gesamten Muskelquerschnitt. Die Fasern sind dicht gepackt und enthalten Neurone desselben histochemischen Fasertyps. Im Gegensatz dazu steht die Muskulatur der Gliedmaßen, für die ein Mosaikmuster charakteristisch ist. Die diskrete Partitionierung der Kaumuskulatur spricht für eine heterogene Aktivierbarkeit, was bedeutet, dass unterschiedliche Muskelregionen innerhalb eines Muskels differenziert aktiviert werden können, um eine optimale Anpassung an die zu leistende motorische Aufgabe zu

gewährleisten. Die Kraftentwicklung der Kaumuskulatur wird im Wesentlichen durch die Rekrutierung und De-Rekrutierung von motorischen Einheiten gesteuert (Schindler und Türp, 2006). Nach klassischer Theorie geschieht dies durch das „Größenprinzip“, welches besagt, dass Motoneurone abhängig von ihrer Größe aktiviert werden. Bei der Kaumuskulatur eines erwachsenen Menschen hat man jedoch festgestellt, dass die Motoneurone nicht nur in starrer Reihenfolge nach aufsteigender Größe, sondern vielmehr in Abhängigkeit von der motorischen Aufgabe durch Änderung der Reizschwelle der motorischen Einheit differenziert aktiviert werden. Ein weiterer Mechanismus zur Kraftentwicklung in der Kaumuskulatur ist die Erhöhung der Erregungsfrequenz der Muskelfasern. Während in der Muskulatur der Extremitäten eine Erhöhung der Frequenz für komplette Neuronenverbände erfolgt, kann in der Kaumuskulatur die Frequenz regional unterschiedlich moduliert werden, was ebenfalls für die besondere Partitionierung der Kaumuskulatur spricht.

1.2 OKKLUSION

Die Okklusion, welche als jeglicher antagonistischer Kontakt der Zähne des Unterkiefers mit den Zähnen des Oberkiefers definiert ist, stellt eine weitere zentrale Komponente des Kauorgans dar. So werden grundlegende Prozesse wie Kauen, Schlucken und Sprechen nicht nur durch die jeweilige Position der Zähne im Zahnbogen beeinflusst, sondern auch durch die gegenseitige Kontaktsituation der Zähne zueinander (Okeson, 2013). Zu direkten Zahnkontakten kommt es unter normalen Umständen jedoch nur einige Minuten am Tag, da sich der Unterkiefer zumeist in einer unbewussten Abstandshaltung vom Oberkiefer, der Ruheschwebelage, befindet (Türp et al, 2006). Während die Kauflächen der Zähne beim Sprechen und während des Kauens nur wenig miteinander in Kontakt treten, kommt es am Ende des Kauzyklus und nach dem Schlucken zu Okklusionskontakten. Neben der Nahrungsaufnahme und -verarbeitung kommen der Okklusion weitere Funktionen zu: So sichert sie die vertikale Distanz zwischen Ober- und Unterkiefer, gewährleistet eine optimale Muskelfunktion und schützt somit vor einer Überbelastung des Kauorgans, vermittelt über Propriozeptoren Informationen über die Beschaffenheit des Nahrungsbolus (Tastfunktion) und dient der Stressverarbeitung (Zähneknirschen, -pressen).

Man unterscheidet eine statische von einer dynamischen Okklusion. Die statische Okklusion bezeichnet Zahnkontakte, die beim Zusammenbeißen der Zähne ohne Bewegung des Unterkiefers auftreten. Zwar bezeichnet man die Zahnkontakte in

statischer Okklusion als Kontaktpunkte, jedoch kommt es eher zu Kontaktflächen, die - abhängig von der Zahnmorphologie - unterschiedlich groß sind. Die dynamische Okklusion hingegen beschreibt Zahnkontakte bei Unterkieferbewegungen (Türp et al., 2006).

Ferner ist die maximale, die zentrische und die habituelle Okklusion zu nennen. Bei der maximalen Okklusion greifen die Höcker und Zahngruben der Ober- und Unterkieferzähne vollständig ineinander (= maximale Interkuspitation), sodass sich die Zähne bei leichtem bzw. festem Zusammenbeißen in maximalem Vielpunktkontakt befinden. Diese Kontaktsituation kann mit der habituellen Okklusion, der gewohnheitsmäßig eingenommenen statischen Okklusion, übereinstimmen. Dies trifft jedoch nicht immer zu (Türp et al., 2006). Bei stabiler Verzahnung und größtenteils vorhandenen Stützzonen wird die maximale Interkuspitation ausschließlich durch die Okklusion bestimmt (Utz et al., 2010). Die zentrische Okklusion beschreibt die maximale Okklusion in zentrischer Kondylenposition in der sich die Gelenkköpfe bei Schlussbiss in kranioventraler, nicht seitenverschobener Position bei einer physiologischen Kondylus-Diskus-Beziehung und physiologischer Belastung der beteiligten Strukturen befinden (Marxkors, 2007; Ahlers et al., 2005).

Aus transversaler und sagittaler Sicht weist die Okklusion charakteristische Merkmale auf. In der transversalen Ebene lassen sich unterschiedliche Breiten der Zahnbögen erkennen. Der Zahnbogen des Oberkiefers ist breiter als der des Unterkiefers, sodass die bukkalen Höcker der Oberkieferseitenzähne bei Regelverzahnung über die der unteren Seitenzähne greifen. Treffen die Höcker direkt aufeinander, ist eine Kopfbissituation vorhanden. Ein Kreuzbiss ist dadurch charakterisiert, dass sich die bukkalen Höcker der Unterkieferseitenzähne weiter vestibulär als die Höcker der Oberkieferseitenzähne befinden. Die Zähne des Ober- und Unterkiefers stehen nicht senkrecht in ihrem Zahnfach, sondern weisen eine Achsenneigung auf (= Inklinatation). Im Oberkiefer besteht eine leichte Inklinatation nach bukkal, während die Unterkieferzähne nach lingual inkliniert sind. Im Unterkiefer tritt dieser Effekt durch die Lingualneigung der Zahnkronen, der sogenannten Kronenflucht, verstärkt auf. Durch die Kippung der Unterkieferzähne nach lingual lässt sich in transversaler Ansicht bei Verbindung der Unterkieferhöcker eine Kurve, die als transversale Okklusionskurve oder Wilson-Kurve bezeichnet wird, erkennen (Lehmann et al., 2015). Betrachtet man die Beziehung der Zahnbögen von sagittal, so zeigt sich, dass jeder Zahn mit zwei antagonistischen Zähnen in Kontakt steht. Lediglich die unteren mittleren Schneidezähne und die dritten oberen Molaren okkludieren mit nur einem antagonistischen Zahn. Diese Zahn-zu-zwei-Zahn-Beziehung begünstigt die Verteilung von Kräften von einzelnen Zähnen über den gesamten Zahnbogen und erhöht

die okklusale Stabilität, da bei singulärem Zahnverlust immer noch Zahnkontakt mit einem antagonistischem Zahn gegeben ist (Okeson, 2013). Noch heute wird zur Klassifikation der Verzahnungssituation eine Einteilung verwendet, die auf den amerikanischen Kieferorthopäden E.-H. Angle zurückgeht. Dieser befasste sich mit Gebissanomalien, die er in seinem Werk „Behandlung der Okklusionsanomalien der Zähne“ genauer definierte (Angle, 1908). Die Kategorisierung basierte darauf, dass der Oberkiefer in der Sagittalen in seiner Position nicht veränderbar ist und folglich der erste obere Molar immer korrekt steht. Ausgehend von einer konstanten Position der ersten oberen Molaren (16, 26) erfolgte seine Einteilung der Gebissanomalien in drei Klassen (Kahl-Nieke, 1995): Bei Klasse I auch als Neutralokklusion oder Euginathie bezeichnet, steht der erste untere Molar eine Prämolarenbreite mesialwärts des ersten oberen Molaren. Der mesiopalatinale Höcker des ersten oberen Molaren greift dabei in die zentrale Querfissur des ersten unteren Molaren. Befindet sich der erste untere Molar weiter distal, liegt eine Distalokklusion bzw. Angle Klasse II vor, steht er weiter mesial, spricht man von einer Mesialokklusion oder Angle Klasse III (Angle, 1968). Verbindet man in der Ansicht von vestibulär die bukkalen Höckerspitzen der Unterkieferzähne miteinander, ergibt sich eine schwache, nach unten konvexe Kurve, die im Bereich des ersten Molaren ihren tiefsten Punkt findet und bis hin zum Kiefergelenk wieder aufsteigt. Diese Kurve wurde von Graf Spee im Jahr 1890 zuerst beschrieben und wird als „Spee-Kurve“ bezeichnet (Bigenzahn, 2003).

Vergleicht man die Zahnbeziehungen im anterioren Bereich des Zahnbogens mit der Position der Zähne in der Seitenzahnregion, wird deutlich, dass Front- und Seitenzähne unterschiedliche Funktionen beim Kauvorgang erfüllen. Wie im Seitenzahnbereich stehen die Frontzähne des Oberkiefers bei Regelverzahnung labial zu denen des Unterkiefers. Durch die Überlappung der unteren Frontzähne entsteht eine sagittale Frontzahnstufe und ein vertikaler Überbiss. Bei Regelverzahnung überdecken die Schneidekanten der oberen Frontzähne diejenigen der Unterkieferfrontzähne um 3-4 mm (Lehmann et al., 2015). Anders als im posterioren Bereich sind die Zahnachsen der Frontzähne sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer nach labial geneigt und die Zahnkontakte sind in der Interkuspitationsposition deutlich schwächer ausgeprägt. Die Art und Weise wie die Frontzähne okkludieren, befähigt sie demnach nicht zu der Bewältigung großer okklusaler Kräfte. Neben ihren mechanischen Qualitäten (Abbeißen der Nahrung) übernehmen sie auch eine sensorische, phonetische und ästhetische Funktion (Türp et al., 2006). Des Weiteren spielen sie eine wichtige Rolle bei der Führung des Unterkiefers bei Vorschub- und Seitwärtsbewegungen (= Frontzahnführung, Eckzahnführung) (Okeson, 2013).

Okklusionskontakte treten physiologisch in der statischen und dynamischen Okklusion beim Kauen, Schlucken und selten beim Sprechvorgang auf. Diese funktionellen Okklusionskontakte, die mit einer normalen und zweckmäßigen Unterkieferfunktion einhergehen, sind von parafunktionellen Kontakten zu unterscheiden. Jene treten bei bewussten oder unbewussten Parafunktionen, das heißt bei pathologischen Nebenfunktionen im kranio-mandibulären System, auf. Dazu zählen unter anderem Verhaltensweisen wie das Kieferpressen, Zähneknirschen, Lippen- oder Wangenbeißen. Okklusionskontakte können zudem im Hinblick auf die Qualität in Interkuspitationskontakte, Deflexionskontakte und Führungskontakte eingeteilt werden. Erstgenannte ergeben sich bei maximaler beziehungsweise habitueller Interkuspitation. Durch Zahnverlust, zahnmedizinische Restaurationen oder kieferorthopädische Maßnahmen können sogenannte Deflexionskontakte entstehen, die ein störungsfreies Gleiten des Unterkiefers behindern oder ihn in eine bestimmte Position zwingen. Inwieweit die Okklusion Funktionsstörungen des Kauorgans verursachen oder aufrechterhalten kann, wird seit Jahrzehnten kontrovers diskutiert. In der Vergangenheit galt die Okklusion als ein wesentlicher ätiologischer Faktor. Inzwischen liegen jedoch auch Hinweise aus neueren epidemiologischen Studien vor, die belegen, dass die Okklusion als ursächlicher Faktor eine weitaus geringere Rolle spielt, als bislang vermutet wurde (Gesch et al., 2004).

1.3 FUNKTIONSTÖRUNGEN DES KAUSYSTEMS

Bei funktionellen Störungen des Kausystems liegen Störungen in der Aufrechterhaltung des Gleichgewichtszustandes (Homöostase) und der Ökonomie des stomatognathen Systems vor. Sie werden durch strukturelle oder funktionelle Abweichungen von der Normfunktion verursacht (z. B. durch Trauma oder Parafunktionen) und können von kurz- oder langfristiger Natur sein. Solche Störungen, die in erster Linie die Kaumuskulatur, die Kiefergelenke und/oder die Okklusion betreffen, werden in der Zahnheilkunde unter dem Begriff „kranio-mandibuläre Dysfunktionen“ (CMD) zusammengefasst. Der Begriff „Myoarthropathie“, im englischen Sprachgebrauch „temporomandibular disorders“, stellt eine Untergruppe der kranio-mandibulären Dysfunktion dar und umfasst Beschwerden und Befunde, die die Kiefergelenke und damit in Verbindung stehende Strukturen sowie die Kaumuskulatur, jedoch nicht die Okklusion betreffen (Hugger et al., 2016).

Das Beschwerdebild der kranio-mandibulären Dysfunktion wird durch eine Reihe klinischer Symptome charakterisiert, welche sich durch Schmerzen und/oder Dysfunktion äußern.

Die Schmerzen betreffen dabei das Kiefergelenk und die Kaumuskulatur, wobei sie sich auch in Form von Zahnschmerzen als Folge von Parafunktionen darstellen können. Zusätzlich können auch Schmerzen in primär nicht betroffenen Strukturen auftreten, zum Beispiel in Form von Kopf-, Gesichts- oder Ohrenscherzen, Ohrgeräuschen oder einem verminderten Hörvermögen. Eine Dysfunktion kann auch mit einer limitierten Unterkieferbeweglichkeit, Hypermobilität oder Koordinationsstörungen - wie zum Beispiel Deviationen und Deflektionen bei Öffnungsbewegungen - einhergehen (Hugger et al., 2016; Laskin, 1969). Der Verlauf kann chronisch oder rezidivierend sein, wobei die Symptome oft stark schwanken und über einen längeren Zeitraum bestehen können (Attallah et al., 2014). Patienten, die unter CMD leiden, können ein oder mehrere Symptome aufweisen. Das Auftreten behandlungsbedürftiger, schmerzhafter kranio-mandibulärer Dysfunktionen wird mit etwa 5-6 % angegeben, wobei Frauen weit häufiger betroffen sind als Männer (Palla, 2003; Türp und Hugger, 2000). Der Altersgipfel liegt zwischen dem 20. und 45. Lebensjahr (Le Resche, 1997).

Die Ursachen und Pathogenese des Beschwerdebildes sind noch weitgehend ungeklärt, man geht jedoch von einer multifaktoriellen Ätiologie aus. Nach aktueller wissenschaftlicher Auffassung gibt es weder einen alleinigen ätiologischen Faktor noch eine monokausale Theorie, welche für die Entstehung schmerzhafter Myoarthropathien verantwortlich sind (Greene, 2001). Unterschiedliche Faktoren spielen in der Symptomausprägung von Myoarthropathien offenbar unterschiedliche Rollen (Suviven et al., 2005). Neben einer genetischen Prädisposition scheinen auch biomechanische, (mikro- und makro-) trauma-bezogene, systemische, hormonelle und psychische/psychosoziale Aspekte von Relevanz zu sein (Palla, 2003). Parafunktionen, welche bewusst oder unbewusst ablaufen und zu einer Überbelastung des Kauorgans führen, stellen einen wesentlichen biomechanischen Risikofaktor dar. Zu den Parafunktionen zählen das Zähneknirschen bzw. -pressen (Bruxismus), Kauen an Fingernägeln, Kaugummikauen sowie ähnliche Angewohnheiten (van der Meulen et al., 2006). Weitere biomechanische Risikofaktoren sind Muskelverspannungen der Kiefermuskulatur und Okklusionsabweichungen. Die unterschiedlichen Faktoren können prädisponierende, initiierende und perpetuierende Eigenschaften im Krankheitsverlauf aufweisen bzw. gewinnen.

Im Hinblick auf das mehrfaktorielle, komplexe Krankheitsgeschehen sollte eine interdisziplinäre und multimodale Therapie, welche nicht nur auf Schmerzlinderung abzielt, sondern insbesondere bei chronifizierten Fällen auch die psychosozialen Beeinträchtigungen berücksichtigt, angestrebt werden (Dworkin, 1996; Rudy und Turk, 1995). Eine ausführliche Patientenaufklärung über potentielle Ursachen und

Therapiemaßnahmen ist dabei unabdingbar. Im Rahmen einer klinischen Funktionsanalyse sollten zunächst die vorliegenden pathophysiologischen Zustände erfasst werden, um anschließend eine geeignete zahnmedizinische oder gegebenenfalls medizinische Therapie zu wählen. Ein häufig eingesetztes Mittel bei der Therapie von Kiefermuskelschmerzen sind Okklusionsschienen. Dabei handelt es sich meist um Stabilisierungsschienen (sog. „Michiganschienen“) (Türp, 2002). Da die Okklusionsschienen reversibel ein- und ausgegliedert werden können und ein weites Indikationsspektrum besitzen, werden sie heutzutage standardmäßig in der Primärtherapie von Funktionsstörungen eingesetzt (Hellmann und Schindler, 2015). Der Großteil der Patienten erfährt nach Eingliederung einer Stabilisierungsschiene eine Schmerzlinderung. Der genaue Wirkmechanismus ist bisher noch nicht gänzlich geklärt, jedoch wurde beschrieben, dass es nach Inkorporation von Michiganschienen zu einer Veränderung des intramuskulären Aktivierungsmuster der Kieferschließer und einer damit verbundenen Entlastung motorischer Einheiten kommt (Schindler, 1999, 2000). Aktuelle Studien belegen, dass bereits kleine Veränderungen der vertikalen Dimension zu einer differenzierten Rekrutierung motorischer Einheiten des M. masseter führen. Die feinmotorischen Qualitäten der Kaumuskulatur könnten zum einen für funktionelle Adaptation verantwortlich sein, zum anderen eine Erklärung für die Therapieerfolge bei der Behandlung von CMD mittels Okklusionsschienen liefern (Terebesi et al., 2015, Schindler et al., 2014). Irreversible Einschleifmaßnahmen zur Korrektur der Okklusion sind nur dann indiziert, wenn nach Funktionsanalyse und vorangegangener Initialtherapie mittels Okklusionsschienen nachzuweisen ist, dass die Okklusion der einzige ätiologische Faktor ist und subtraktive Maßnahmen zu einer Besserung des Beschwerdebildes führen können (Ahlers et al, 2015).

1.4 ELEKTROMYOGRAFIE

Im Rahmen der klinischen Funktionsanalyse hat sich die Elektromyographie (EMG), ein Untersuchungsverfahren zur Messung des Vorgangs der elektrischen Erregungsausbreitung in der Muskulatur, als adäquates Instrument etabliert. (Freiwald, 2007). In der Zahnmedizin eignet sich diese Methode dazu, die Muskelaktivität der Kaumuskulatur darzustellen und auszuwerten. Die Oberflächenelektromyographie liefert valide und reliable Informationen über die Funktion des Kausystems (Hugger et al, 2008), daher eignet sie sich auch zur Diagnostik der kranio-mandibulären Dysfunktion. Des Weiteren kommt sie häufig in der Neurologie zur Anwendung, um muskuläre und neurologische Erkrankungen zu diagnostizieren.

Die Entstehung elektrischer Signale findet ihren Ursprung an der Muskelfasermembran, auf der sich aufgrund eines Ionenungleichgewichts ein Ruhemembranpotential formt. Die Reizung eines Motoneurons führt zu Öffnungs- und Schließvorgängen spannungsabhängiger Ionenkanäle mit einer daraus resultierenden Änderung des Ruhemembranpotentials. Sofern es sich um einen überschwelligeren Reiz handelt, kommt es infolge der De- und Repolarisationsvorgänge zur Ausbildung von Aktionspotentialen, welche sich entlang der Muskelfasermembran ausbreiten. Da der menschliche Organismus ein guter Volumenleiter ist, können diese Potentialänderungen mithilfe von zwei Elektroden extrazellulär abgeleitet werden. Amplitude und Form des gemessenen Signals hängen dabei von den Leiteigenschaften des Gewebes, vom Interelektrodenabstand und von der Distanz zum Signalursprung ab (Freiwald, 2007). Elektrische Störungen werden durch den Einsatz von Differenzialverstärkern eliminiert, die die Potenzialdifferenz zwischen beiden Signalen erfassen. Die noninvasive Oberflächenelektromyographie bietet neben der relativ leichten Handhabung auch den Vorteil des atraumatischen Vorgehens. Diese Methode eignet sich jedoch nur zur Untersuchung oberflächlich gelegener Muskeln. So kommt sie beispielsweise bei Ableitungen des M. Masseter und des M. temporalis zum Einsatz, da die beiden Muskeln recht oberflächlich gelegen sind (Hugger et al., 2008). Für die Erfassung von Signalen der tiefer gelegenen, von anderen Strukturen überlagerten Muskeln ist die Verwendung von Nadel- oder Drahtelektroden erforderlich, die in den Muskel eingestochen werden (Basmajian, 1980). Des Weiteren lassen sich die monopolare und die bipolare Ableitung unterscheiden. Bei der monopolarer Messung wird eine Elektrode (= Messelektrode oder differente Elektrode) direkt auf der erregten Struktur angebracht, die andere Elektrode (= Referenzelektrode) befindet sich in einem Areal, welches nicht von der Erregung eingenommen wird. Werden mehrere Einzelelektroden mit monopolarer Ableitung auf einer signalgebenden Struktur angebracht, so bezeichnet man dies als „Mapping“ (Schumann et al., 1992). Die bipolare Aufzeichnung, welche in der zahnärztlichen Praxis die übliche Form der Ableitung darstellt, erfolgt mithilfe eines Elektrodenpaares, das im Faserlängsverlauf des Muskels auf der darüber gelegenen Haut fixiert wird. Die Potentialmessung erfolgt wie bei der monopolarer Messung gegen eine Referenzelektrode. Im Vergleich zur monopolarer Ableitung ist diese Methode weniger anfällig für externe Störsignale (Freiwald, 2007).

Für den Einsatz von Oberflächenelektromyographie in der zahnärztlichen Praxis werden Anwendungshinweise gegeben, welche auf den SENIAM-Empfehlungen (surface electromyography for the non-invasive assessment of muscles) und der Stellungnahme

der ISEK (International Society of Electrophysiology and Kinesiology) basieren. Als Hautelektroden kommen in der Regel bipolare Einwegelektroden zum Einsatz, deren Leitfläche mit einem silber-/silberchloridhaltigen Gel beschichtet ist. Der Durchmesser der Leitfläche sollte 1 cm nicht überschreiten, um die Selektivität der Messung zu erhöhen und das Übersprechen benachbarter Muskeln (crosstalk) zu vermeiden. Die Empfehlung für den Elektrodenabstand lautet 2 cm (Hermens et al., 2000). Bei der Anbringung der Elektroden sollte darauf geachtet werden, dass sie entlang des Muskelfaserverlaufs positioniert werden, damit Signale von identischen Muskelfasern erfasst werden (Hermens et al., 2000). Um Messwerte unterschiedlicher Personen, Untersuchungssitzungen, Muskeln oder Studien miteinander vergleichen zu können, bietet es sich an, die Amplitudenwerte auf einen Referenzwert zu normalisieren (Hugger et al., 2008). Hierbei werden die Mikrovolt-Werte in Prozentwerte umgerechnet. Ein häufig angewandtes Verfahren ist die MVC (maximum voluntary contraction)-Normalisierung, bei der die maximale, willkürliche isometrische Muskelkontraktion als Referenzwert gewählt wird. Es liegen Studien vor, in denen intra- und interindividuelle Schwankungen der Signale beobachtet werden konnten, die eine geringe Reproduzierbarkeit der Messungen nach sich zogen (Cecere et al., 1996). Als Ursachen wurden unter anderem strukturelle und physiologische Unterschiede der Muskulatur angesehen (Burden, 2010). In vielen Untersuchungen wurde jedoch eine hohe Reproduzierbarkeit der EMG-Messdaten eruiert. Untersucht wurden Parameter wie Ruheaktivität, EMG-Aktivität bei submaximaler und maximaler voluntärer Kontraktion und Muskelaktivierung beim Kauvorgang (Castroflorio et al., 2006; Castroflorio et al., 2005; Ferrario und Sforza, 1996; Piancino et al., 2005). Sofern die Untersuchung unter standardisierten Rahmenbedingungen erfolgt und methodische Gesichtspunkte berücksichtigt werden, kann die Oberflächen-elektromyographie wertvolle Informationen zum Funktionszustand des Kausystems liefern und somit die Diagnose- und Therapiefindung unterstützen.

In der Vergangenheit wurde in mehreren Studien der Zusammenhang zwischen okklusalen Veränderungen und EMG-Aktivität untersucht. Nach Arbeiten von MacDonald und Hannam (1984) zeigten sich bei bestimmten Aufbisserrhöhungen spezifische elektromyographische Veränderungen. Es wurde getestet, inwiefern die EMG-Aktivität des M. masseter und des M. temporalis durch unterschiedlich positionierte Aufbissveränderungen, die unter anderem auch von diagonaler Konfiguration waren, beeinflusst wird. In der Studie konnte festgestellt werden, dass Veränderungen der Lokalisation und der Größe des Kontaktpunktes sowie die Richtung der Kraftausübung mit einer Veränderung der EMG-Aktivität assoziiert sind.

2 ZIEL DER ARBEIT

Ausgehend von den Feststellungen von MacDonald und Hannam sollte in der vorliegenden Arbeit untersucht werden, wie sich der M. masseter und der M. temporalis anterior hinsichtlich ihrer Aktivität an diagonal positionierte okklusale Erhöhungen unter submaximalen Aufbiss mit 10 % MVC und 35 % MVC anpassen.

Es sollte geprüft werden, ob sich bei unterschiedlichen Aufbisspositionen Aktivitätsunterschiede darstellen und ob diese signifikant voneinander abweichen. In diesem Zusammenhang sollte auch die Reliabilität der in zwei identischen Untersuchungssitzungen ermittelten Aktivitätswerte getestet werden. Die Durchführung der Studie steht im Kontext mit anderen Arbeiten, wobei Frau Winkler die Auswirkung diagonal positionierter, 0,8 mm dicker Interferenzen untersuchte, Frau Koch den Einfluss einseitig und beidseitig transversaler, 0,4 mm hoher okklusaler Veränderungen behandelte und Frau Ostermann die Reaktionen auf einseitig und beidseitig positionierte Erhöhungen mit 0,8 mm Schichtdicke analysierte (Ostermann, 2017). Die Hypothese der vorliegenden Arbeit war, dass der M. masseter und der M. temporalis anterior ihre Muskelaktivität auf unterschiedliche Art und Weise an okklusale Interferenzen anpassen und dass die Veränderungen der elektromyographischen Aktivität reproduzierbar sind.

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 PROBANDENGRUPPE

An der Studie nahmen insgesamt 20 gesunde Probanden (davon 10 männlich und 10 weiblich) im Alter zwischen 20 und 40 Jahren freiwillig teil. Das Durchschnittsalter betrug 25,3 Jahre. Die Probandengruppe bestand vorwiegend aus Studierenden der Zahnmedizin im klinischen Studienabschnitt. Voraussetzungen für die Teilnahme waren Vollbezahnung ohne Lückenbildung und Schmerzfreiheit im Kausystem. Das Fehlen einer kraniomandibulären Dysfunktion (CMD) wurde auf Basis der Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (Dworkin und LeResche, 1992) geprüft. Zu den Ausschlusskriterien zählten zudem: Erkrankungen mit Beteiligung des zentralen oder peripheren Nervensystems, Schwangerschaft, Herzschrittmacher und Tiefenhirnstimulatoren, Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises sowie Fibromyalgie, Allergie auf Dentalkunststoff, sedierende Medikation, Vigilanzstörungen anderer Genese, Drogen-, Medikamenten- oder Alkoholabusus, schwere psychische/psychiatrische Erkrankungen (wie endogene Depression, schizophrene Störungen, schwere Zwangs- bzw. Angststörungen), Alter über 40 oder unter 20 Jahre, fehlende Deutschkenntnisse, Schmerzen dentogener oder parodontaler Ursache, vorherige oder zukünftig geplante Kiefergelenkoperationen, Behandlung mit Aufbissbehelfen oder andere Formen der Myoarthropathie (MAP)-Behandlung in den letzten vier Wochen, aktuelle Hals-Nasen-Ohren (HNO)-Erkrankungen, faziale oder zervikale Traumata in den letzten vier Wochen, Daueraufbissschienträger, fehlende Vollbezahnung (festsitzender Zahnersatz wie Kronen oder Brücken erlaubt) sowie bei Männern das Tragen eines Vollbarts.

Alle Probanden wurden zu Beginn in Form einer Probandeninformation ausführlich über Sinn, Ziel und Methoden der Studie aufgeklärt. Im Rahmen eines Untersuchungsgesprächs wurde anhand eines Fragebogens das Fehlen der Ausschlusskriterien überprüft und das schriftliche Einverständnis zur freiwilligen Teilnahme eingeholt. Die Durchführung der Studie erfolgte gemäß den Empfehlungen des Weltärzteverbandes (revidierte Deklaration von Helsinki) und wurde von der Ethikkommission befürwortet (Studiennummer 3935).

3.2 VERWENDETE GERÄTE UND MATERIALIEN

Die noninvasive Bestimmung der beidseitigen Muskelaktivität im Bereich des M. masseter und M. temporalis anterior erfolgte mittels Oberflächenelektromyographie. Zur Anwendung kamen selbstklebende, gelbeschichtete bipolare silber-/silberchloridhaltige (Ag/AgCl) Einwegelektroden (Dual Electrodes, Fa. Noraxon, Scottsdale/USA) mit einem Durchmesser von 14 mm und einem Interelektrodenabstand von 20 mm (s. Abb. 2). Um den Hautleitwiderstand zu minimieren, wurde die Gesichtshaut vor Anbringung der Elektroden mit abrasiven Reinigungspads vorbehandelt und mit Alkohol entfettet. Männliche Probanden wurden gebeten, sich zuvor zu rasieren.

Die Muskeln wurden unter maximaler voluntärer Kontraktion palpirt, um die geplante Position der Elektroden zu ermitteln. Die Positionierung der Elektroden erfolgte mittig auf dem Muskelbauch des M. masseter (längs des Muskelfaserverlaufs) und auf entsprechende Anteile des M. temporalis anterior (s. Abb. 1). Bei der Anbringung der Elektroden auf dem M. temporalis wurde darauf geachtet, nicht den Haaransatz zu tangieren und eine gewisse Distanz zum Auge zu wahren, damit das Messsignal nicht durch die Aktivität der Augenmuskulatur interferiert wurde. Eine Referenzelektrode befand sich im Bereich des rechten Processus mastoideus. Um in den nachfolgenden Untersuchungssitzungen eine identische Elektrodenpositionierung zu gewährleisten, wurde eine Schablone aus einer transparenten Kunststoffolie angefertigt. Als Referenzlinie für die Folie diente die Tragus-Canthus-Linie. Die Folie wurde auf beiden Gesichtshälften parallel zur Referenzlinie ausgerichtet und die Mittelpunkte der Elektroden farblich markiert. Mithilfe der Markierungen konnte in den darauffolgenden Sitzungen die exakte Position der Elektroden reproduziert werden.

Die EMG-Messsignale wurden mit einem EDV-gestützten Messsystem (Fa. Zebris Medical, Isny/Allgäu) aufgezeichnet. Die elektromyografischen Signale wurden durch einen Differenzialverstärker (Eingangsimpedanz: 146 k Ω , Eingangsrauschen: 0.28 μ V pp, CMRR: 110 dB) verstärkt (Spannungsverstärkung: 1000, Bandweite: 7.5-1000 Hz). Die analogen Signale wurden mit einer Auflösung von 12 bit und einer Messfrequenz von 1000 Hz digital umgesetzt.

Bei jedem Probanden wurde eine Abformung der Unterkieferzahnreihen mit konventionellem Dentalalginat vorgenommen, um über die im Labor angefertigten Hartgipsmodelle Folien aus Polykarbonat ziehen zu können. Dieses Material findet im Dentalbereich häufig Anwendung bei der Herstellung von Aufbissbehelfen, provisorischen Kronen oder Brücken. Die Tiefziehfolien mit einer effektiven Schichtdicke von 0,4 mm

wurden anschließend zahnbezogen zugeschnitten, sodass sie reversibel auf die einzelnen Zähne des Probanden adaptiert werden konnten.



Abbildung 1: Standardisierte Platzierung bipolarer Oberflächenelektroden im Bereich des M. masseter und des M. temporalis



Abbildung 2: Hier verwendete bipolare Oberflächenelektroden der Firma Noraxon

3.3 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Für jeden Probanden wurden jeweils drei Untersuchungssitzungen angesetzt. Die Sitzungen gliederten sich in eine Voruntersuchung und zwei Hauptuntersuchungen. Es wurde angestrebt, die beiden Hauptuntersuchungen in einem Zeitabstand von mindestens 14 Tagen durchzuführen. Eingangs wurde bei jedem Probanden eine **Voruntersuchung** durchgeführt, bei der neben der zahnmedizinischen Anamnese ein funktionsdiagnostischer Befund (extraoraler, intraoraler Befund, Okklusion) erhoben wurde. Ferner wurden elektromyographische und kinematische Untersuchungen durchgeführt, um die Ausschlusskriterien zu prüfen. Im Rahmen der Voruntersuchung wurde auch die Abformung der Zahnreihen durchgeführt. In den beiden **Hauptuntersuchungen** wurden die zahnbezogen zugeschnittenen Polykarbonatfolien reversibel auf den Zähnen des Unterkiefers adaptiert und somit experimentelle okklusale Erhöhungen erzeugt. Anschließend wurden EMG-kontrollierte Aufbissaktivitäten bei 15 standardisierten, beidseitig diagonalen Aufbissituationen durchgeführt (s. Tabelle 1). Die Referenzseite (rechts oder links) wurde zuvor randomisiert ermittelt. Der Aufbiss wurde im Sinne eines Biofeedbacks auf 10 % MVC sowie 35 % MVC (bezogen auf M. masseter beidseits) standardisiert. Dazu wurde der Proband beim Aufbiss gebeten, eine auf dem Computerbildschirm befindliche horizontale Linie, die den Schwellenwert 10 % bzw. 35 % MVC symbolisierte, mit der individuellen Aufbissaktivität gerade eben zu überschreiben.

Nach einem festgelegten Ablaufplan wurden die Folien reversibel auf die Zähne aufgesetzt und der Proband gebeten, jeweils dreimal leicht und dreimal fest aufzubeißen und die Kraft für 2 Sekunden zu halten. Für jede Aufbissituation erfolgte die Reihenfolge des leichten und festen Aufbisses randomisiert. Zwischen den einzelnen Aufbissaktivitäten erhielt der Proband die Gelegenheit, sich für etwa zwei Minuten zu entspannen. Die Intensität des erforderlichen Aufbisses wurde visuell auf einem Bildschirm vorgegeben, sodass der Proband die Kraftentfaltung kontrollieren und bei Bedarf nachjustieren konnte. Gleichzeitig erfolgte die Aufzeichnung der elektromyographischen Aktivität des M. masseter und M. temporalis anterior für den leichten Aufbiss (10 % MVC) und den festen Aufbiss (35 % MVC). Die Messungen wurden in aufrechter Sitzposition mit einer entspannten Körperhaltung und unter ruhigen Bedingungen durchgeführt. Alle Einzelmessungen im Rahmen der ersten Hauptuntersuchung wurden in der zweiten Hauptuntersuchung nach frühestens 14 Tagen mit identischen Aufbissituationen und identischem Ablauf wiederholt. In Tabelle 1 sind alle diagonalen Folienkombinationen aufgeführt.

Aufgabennummer	Kodierung	Beschreibung
1	M2-M1	2. Molar der Referenzseite und 1. Molar der Gegenseite
2	M2-P2	2. Molar der Referenzseite und 2. Prämolare der Gegenseite
3	M2-P1	2. Molar der Referenzseite und 1. Prämolare der Gegenseite
4	M2-E	2. Molar der Referenzseite und Eckzahn der Gegenseite
5	M2-F	2. Molar der Referenzseite und Schneidezähne der Gegenseite
6	M1-P2	1. Molar der Referenzseite und 2. Prämolare der Gegenseite
7	M1-P1	1. Molar der Referenzseite und 1. Prämolare der Gegenseite
8	M1-E	1. Molar der Referenzseite und Eckzahn der Gegenseite
9	M1-F	1. Molar der Referenzseite und Schneidezähne der Gegenseite
10	P2-P1	2. Prämolare der Referenzseite und 1. Prämolare der Gegenseite
11	P2-E	2. Prämolare der Referenzseite und Eckzahn der Gegenseite
12	P2-F	2. Prämolare der Referenzseite und Schneidezähne der Gegenseite
13	P1-E	1. Prämolare der Referenzseite und Eckzahn der Gegenseite
14	P1-F	1. Prämolare der Referenzseite und Schneidezähne der Gegenseite
15	E-F	Eckzahn der Referenzseite und Schneidezähne der Gegenseite

Tabelle 1: Diagonale Folienkombinationen in der ersten und zweiten Hauptuntersuchung

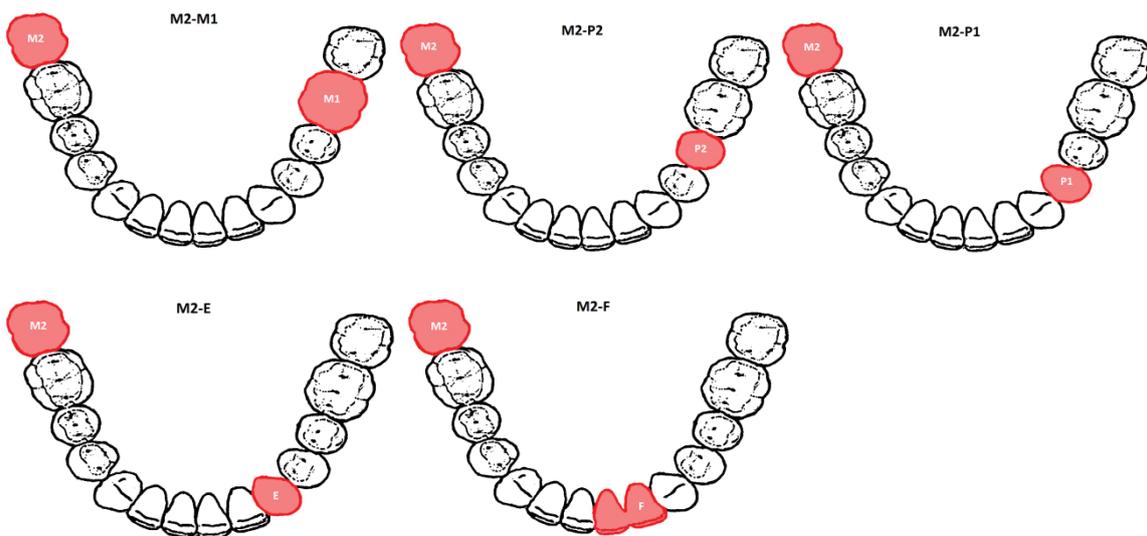


Abbildung 4: Diagonale Folienkombinationen mit Referenzzahn 2. Molar (entsprechend Aufgabennummer 1-5)

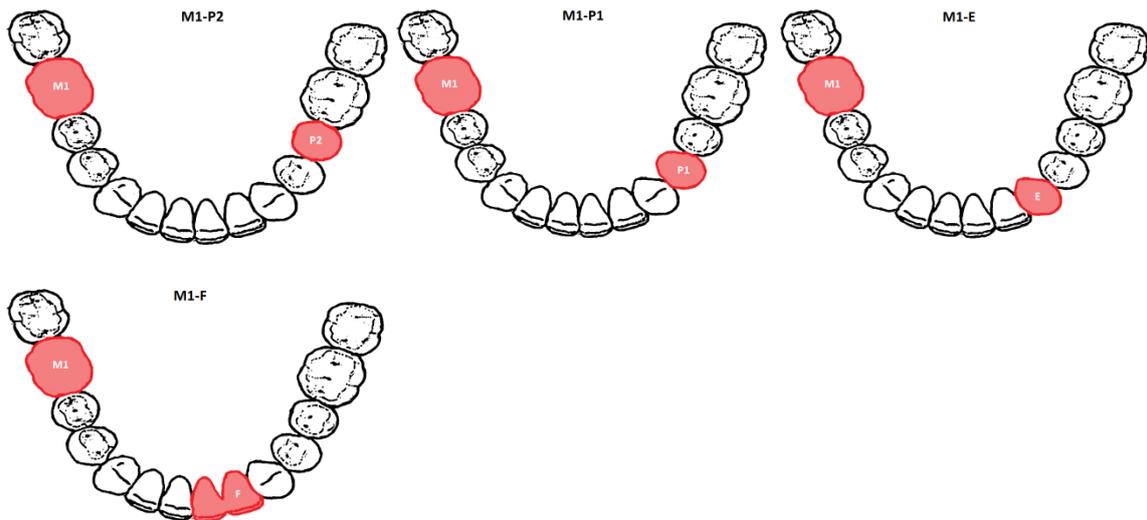


Abbildung 5: Diagonale Folienkombinationen mit Referenzzahn 1. Molar (entsprechend Aufgabennummer 6-9)

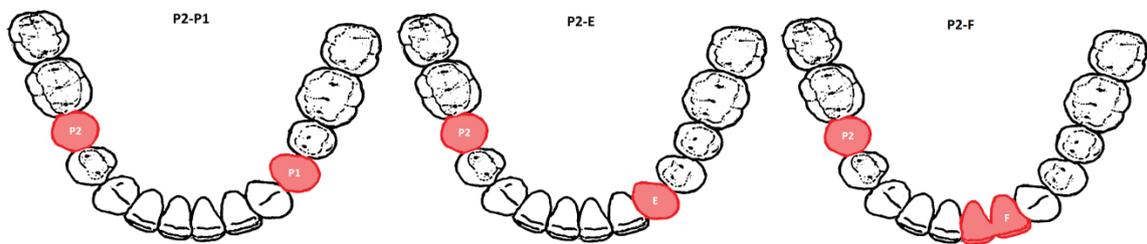


Abbildung 6: Diagonale Folienkombinationen mit Referenzzahn 2. Prämolare (entsprechend Aufgabennummer 10-12)

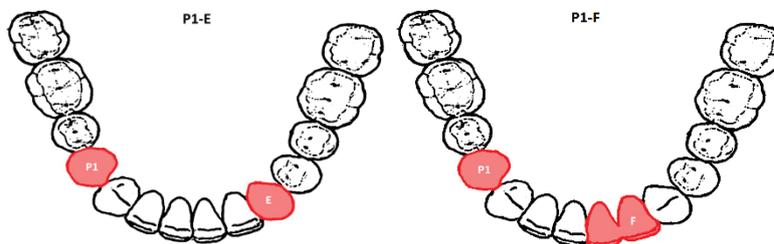


Abbildung 7: Diagonale Folienkombinationen mit Referenzzahn 1. Prämolare (entsprechend Aufgabennummer 13-14)

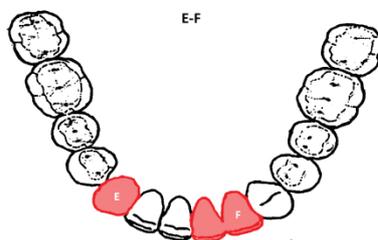


Abbildung 8: Diagonale Folienkombinationen mit Referenzzahn Eckzahn (entsprechend Aufgabennummer 15)

3.4 DATENVERARBEITUNG

Die Auswertung der elektromyographisch ermittelten Messwerte erfolgte mit dem Programm WinJaw (Version 10.6.85, Fa. Zebris Medical, Isny/Allgäu), das die Muskelaktivität der Muskeln einzeln graphisch darstellt und für eine Zeitsequenz von zwei Sekunden die jeweiligen Messwerte (in μV) als Mittelwerte ausgibt. Alle muskelbezogenen Messwerte sowie entsprechende Angaben zu den Parametern Geschlecht, Alter, Referenzseite, Aufbisslage (M2, M1, P2, P1, E, F) und Aufbissverteilung, welche diagonal konfiguriert war, wurden mittels Excel für Windows in tabellarischer Form erfasst. Da die Aufzeichnung der Messwerte zu jeder Aufbissituation und zu jeder Aufbissintensität (leichter Aufbiss/fester Aufbiss) dreimal hintereinander erfolgte, wurde eine Mittelwertberechnung aus den muskelbezogenen Einzelwerten vorgenommen (Einzelwerte wiederum Mittelwerte aus allen Messwerten über ein Zeitfenster von zwei Sekunden). Die Muskelaktivitätswerte des M. masseter rechts und links sowie des M. temporalis anterior rechts und links wurden durch Quotientenbildung zusammengefasst, um Messungen mit unterschiedlichen Referenzseiten vergleichbar zu machen. Der Quotient wurde durch Division der Muskelaktivität der Referenzseite durch die Muskelaktivität der Gegenseite gebildet.

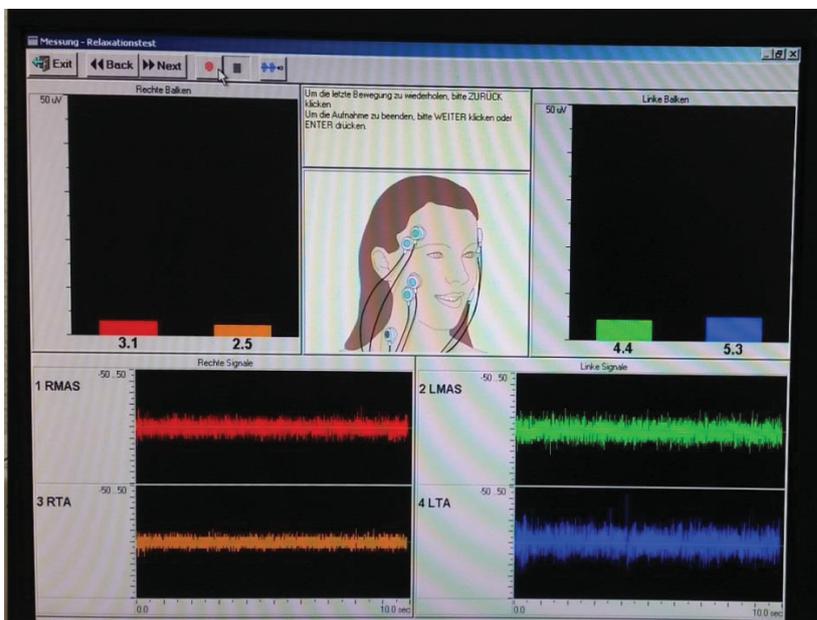


Abbildung 9: Aufzeichnung der Ruheaktivität (in μV) des rechten und linken M. masseter und M. temporalis über ein Zeitfenster von rund 10 Sekunden mit Angaben der Ruheaktivität zu Beginn der Aufzeichnung anhand farbiger Säulen (WinJaw, Fa. Zebris)

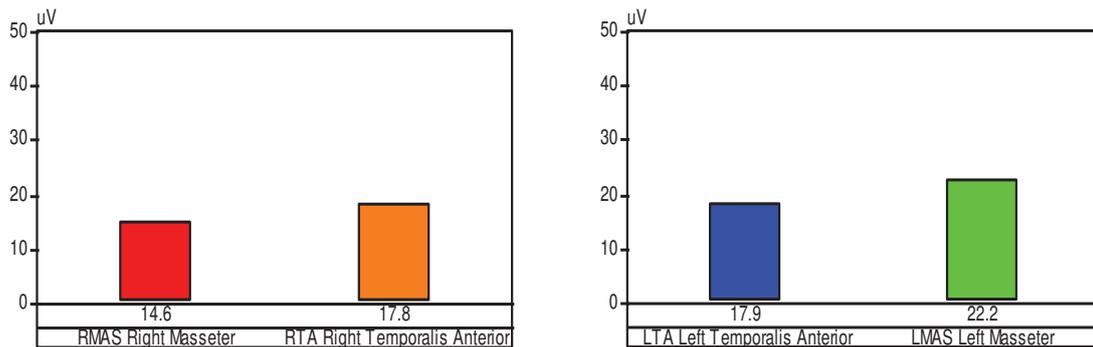


Abbildung 10: Mittlere EMG-Aktivität (in μV) des M. masseter und M. temporalis beim Aufbiss mit 10 % MVC auf M2-M1 (= Aufbiss auf den 2. Molar sowie den 1. Molar der Gegenseite)

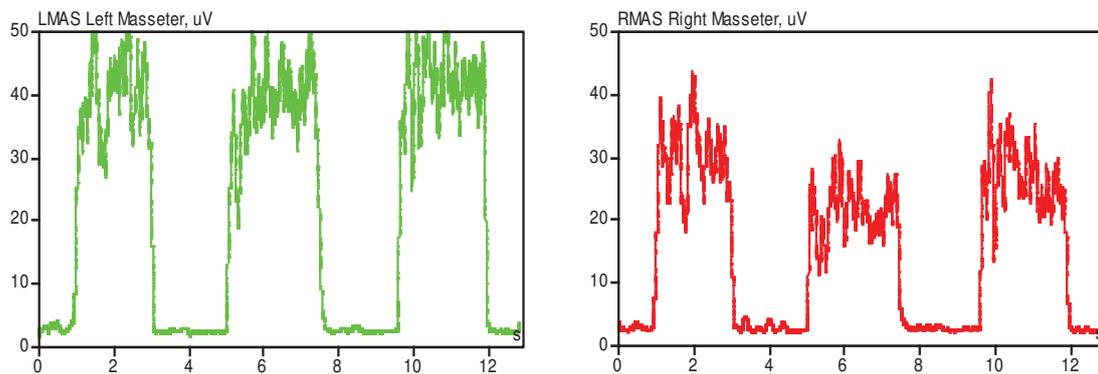


Abbildung 11: EMG-Aktivitätsverlauf (in μV) des rechten M. masseter (rote Linie) und linken M. masseter (grüne Linie) bei dreimaligem Aufbiss mit 10 % MVC auf M2-M1 (= Aufbiss auf den 2. Molar sowie den 1. Molar der Gegenseite)

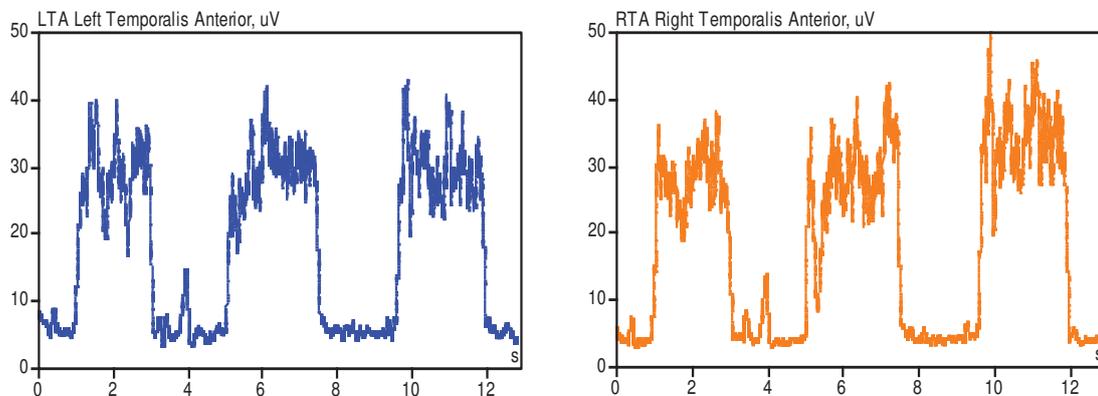


Abbildung 12: EMG-Aktivitätsverlauf (in μV) des rechten M. temporalis (gelbe Linie) und linken M. temporalis (blaue Linie) bei dreimaligem Aufbiss mit 10 % MVC auf M2-M1 (= 2. Molar sowie 1. Molar der Gegenseite)

3.5 STATISTISCHE METHODEN

Die statistische Auswertung wurde im Sinne eines explorativen Ansatzes mit dem Softwareprogramm Sigmaplot 12 (Systat Software, Inc.) und mit dem Programm SPSS Statistics 22 (SPSS Inc., Chicago, USA) durchgeführt. Nach Prüfung auf Normalverteilung und Gleichheit der Varianzen wurden zweifaktorielle Varianzanalysen (ANOVA) mit Messwiederholung für das Aktivitätsverhältnis des M. masseter (Masseter Referenzseite/Masseter Gegenseite) und des M. temporalis anterior (Temporalis Referenzseite/Temporalis Gegenseite) durchgeführt. Im ersten Teil der Analyse wurde als erster Faktor die Aufbissintensität (10 % MVC, 35 % MVC) und als zweiter Faktor die Aufbissverteilung (diagonal) gewählt. Dabei wurden jene Aufbisspositionen mit dem größten Diagonaleffekt betrachtet (M2-F, M1-F, P2-F, P1-F, E-F). Der zweite Teil der Analyse beinhaltete die Faktoren Aufbissintensität (10 % MVC, 35 % MVC) und Aufbissverteilung (diagonal). Hier wurden alle pro Referenzzahn möglichen diagonalen Aufbisslagen in jeweils einem Diagramm zusammengefasst. Ein signifikanter Unterschied lag ab einem p-Wert von $<0,05$ vor. Mithilfe des Programms SPSS Version 22 erfolgte außerdem die Reliabilitätsanalyse der Messwerte (mittlere Muskelaktivitäten des M. masseter und des M. temporalis) durch Berechnung des Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC = Intraclass-Correlation-Coefficient). Ergänzend wurden paarige Vergleiche entsprechender Messwerte der ersten und zweiten Hauptuntersuchung durch Anwendung des t-Testes durchgeführt. Der Intraklassenkorrelationskoeffizient ist „dann zu verwenden, wenn die Übereinstimmung von zwei Merkmalen nicht [...] nur bezüglich ihrer Richtung („je größer die eine, desto größer die andere“) gemessen werden soll, sondern auch bezüglich des mittleren Niveaus der beiden Merkmale“ (Krentz, 2008). Die Stärke des Zusammenhangs wird durch den Betrag des Korrelationskoeffizienten beschrieben. Liegt der Betrag nahe 1, so handelt es sich um einen starken Zusammenhang, während ein ICC-Wert nahe 0 auf eine schwache Korrelation hindeutet. (Krentz, 2008). Tabelle 2 zeigt die Klassifikation der ICC-Werte nach Cohen, die in der vorliegenden Arbeit zu Beurteilung der Reliabilität herangezogen wurde.

ICC-Wert	Bezeichnung
<0,2	Geringe Reliabilität
0,5-0,6	Mittlere Reliabilität
>0,8	Hohe Reliabilität

Tabelle 2: ICC-Klassifikation nach Cohen (Fleiss und Cohen, 1973)

Um die Verteilung der Messwerte graphisch darzustellen, wurden mithilfe des SPSS-Programms sogenannte Boxplot-Diagramme (auch Box-Whisker Plots genannt) erstellt. „Boxplots eignen sich insbesondere dafür, mehrere Variablen hinsichtlich der Lage und Verteilung ihrer Werte miteinander zu vergleichen“ (Brosius, 2011) und geben einen Überblick über den Wertebereich und das Streuungsmaß. Der Boxplot besteht aus einem Kasten, in dem 50 % der Messwerte eingeschlossen sind. Verlängert wird der Kasten durch zwei Linien, auch als „Whisker“ oder „Fühler“ bezeichnet. Diese werden jeweils durch einen horizontalen Strich abgeschlossen, welcher den Maximal- und Minimalwert markiert. Begrenzt wird der Kasten durch das untere (1.) und obere (3.) Quartil, in dem 25 % bzw. 50 % der Daten liegen. Die Länge der Box, das heißt der Abstand zwischen den Quartilen, entspricht dem Interquartilsabstand. Dieser stellt ein zum Median passendes Streuungsmaß dar (Krummenauer et al., 2007).

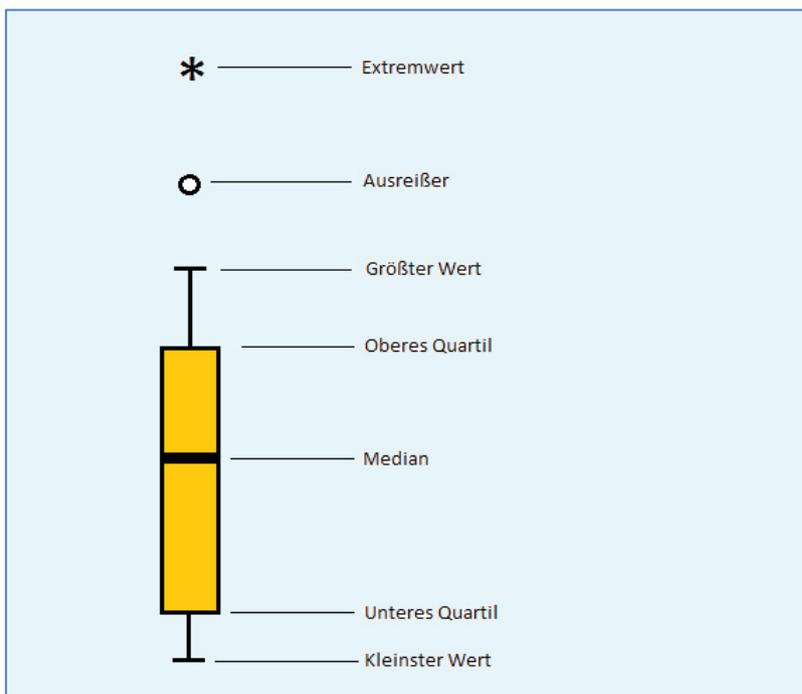


Abbildung 13: Schematische Darstellung eines Boxplots

4 ERGEBNISSE

Im folgenden Teil werden die durchgeführten deskriptiven Statistiken dargestellt und ausgewertet. Die unten aufgeführten Boxplots zeigen die Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter und des M. temporalis bei unterschiedlichen Aufbisslagen (Quotient gebildet durch Verhältnis der Muskelaktivität der Referenzseite zur Muskelaktivität der Gegenseite). Gegenübergestellt werden die Boxplots der 1. und 2. Hauptuntersuchung, jeweils separat für den M. masseter und den M. temporalis. In Kapitel 5.7 werden die Muskelaktivitätsquotienten beider Muskeln miteinander in Vergleich gestellt.

4.1 MUSKELAKTIVITÄTEN BEI BEZUGSZAHN 2. MOLAR

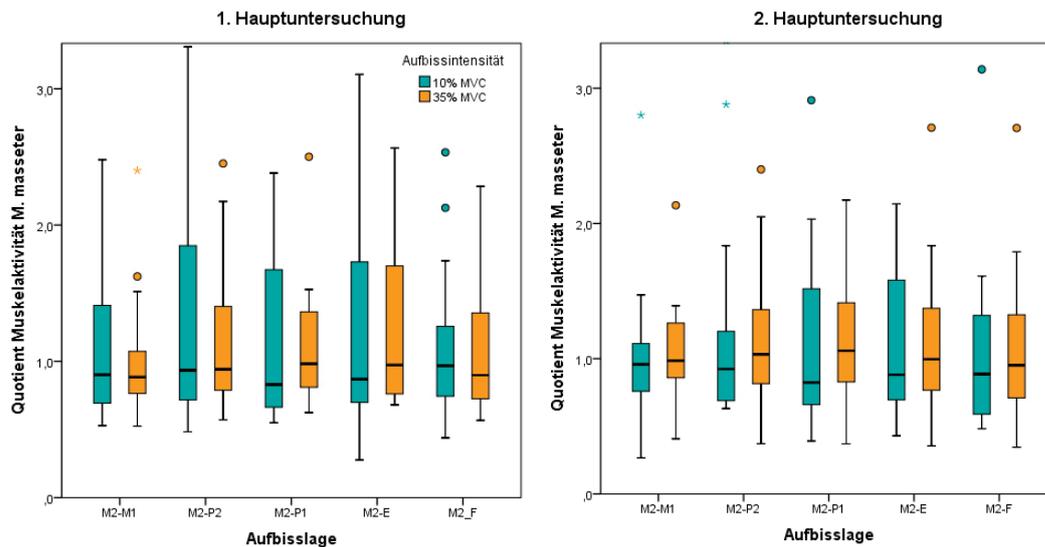


Abbildung 14: Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter bei diagonalem Aufbiss auf den 2. Molar

M2-M1: Aufbiss auf den 2. Molar der Referenzseite sowie 1. Molar der Gegenseite
M2-P2: Aufbiss auf den 2. Molar der Referenzseite sowie 2. Prämolare der Gegenseite
M2-P1: Aufbiss auf den 2. Molar der Referenzseite sowie 1. Prämolare der Gegenseite
M2-E: Aufbiss auf den 2. Molar der Referenzseite sowie Eckzahn der Gegenseite
M2-F: Aufbiss auf den 2. Molar der Referenzseite sowie Frontzähne der Gegenseite
MVC = maximale voluntäre Kontraktion

Abbildung 14 stellt die Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter bei diagonalen Aufbisslagen mit dem 2. Molar als Bezugszahn dar. In beiden Hauptuntersuchungen unterscheiden sich die Medianwerte von 10 % MVC und 35 % MVC nur geringfügig. Bei einer Aufbissintensität von 10 % MVC liegen die Werte in der 1. Hauptuntersuchung mit Ausnahme von M2-F unter 1, in der 2. Hauptuntersuchung liegen sie bei allen Aufbisslagen unter 1. Die Werte von 35 % MVC liegen bei M2-M1, M2-P2 und M2-F in der 1. Hauptuntersuchung unter 1, bei M2-P1 und M2-E etwa bei 1. In der 2.

Hauptuntersuchung betragen die Quotientenwerte bei 35 % MVC bei allen Aufbisslagen etwa 1. Es lässt sich feststellen, dass die Medianwerte von 35 % MVC in der 2. Hauptuntersuchung bei allen Aufbisslagen oberhalb der Medianwerte von 10 % MVC liegen. In der 1. Hauptuntersuchung trifft dies mit Ausnahme von M2-M1 und M2-F ebenfalls zu. Insgesamt lässt sich eine ausgeprägte Streuung der Werte beobachten. Bei 10 % MVC streuen die Werte dabei deutlich stärker als bei 35 % MVC. Eine Ausnahme besteht bei den Boxplots von M2-F in der 1. Hauptuntersuchung und M2-M1 in der 2. Hauptuntersuchung. Die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede der Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter für die Ausprägungsstufen der Faktoren Aufbissintensität und Aufbisslage.

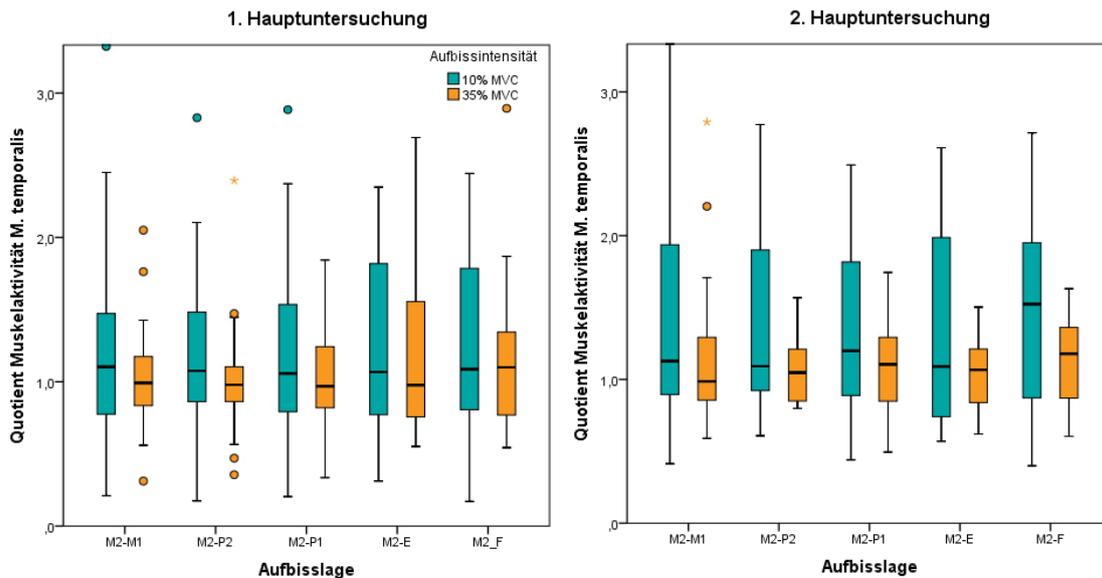


Abbildung 15: Muskelaktivitätsquotienten des M. temporalis bei diagonalem Aufbiss auf den 2. Molar

Erläuterungen zu den Abkürzungen der Abszisse siehe Legendentext zu Abb. 14

Abbildung 15 veranschaulicht analog zu Abbildung 5 die Quotienten der Muskelaktivität des M. temporalis bei diagonalen Aufbisslagen mit dem 2. Molar als Bezugszahn. Es ist ersichtlich, dass die Medianwerte von 10 % MVC und 35 % MVC nur geringfügig voneinander abweichen. Die Medianwerte von 10 % MVC liegen in beiden Hauptuntersuchungen etwas über 1, bei M2-F liegen sie in der 2. Hauptuntersuchung deutlich über 1. Bei 35 % MVC nehmen die Werte 1 an bzw. liegen leicht über 1. Mit Ausnahme von M2-F in der 1. Hauptuntersuchung liegen die Medianwerte von 10 % MVC oberhalb der Medianwerte von 35 % MVC. Die Diagramme zeigen eine starke Streuung der Werte. Diese ist bei 10 % MVC deutlich höher als bei 35 % MVC. Die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Muskelaktivitätsquotienten des M. temporalis für die Ausprägungsstufen der Faktoren Aufbissintensität und Aufbisslage.

4.2 MUSKELAKTIVITÄTEN BEI BEZUGSZAHN 1. MOLAR

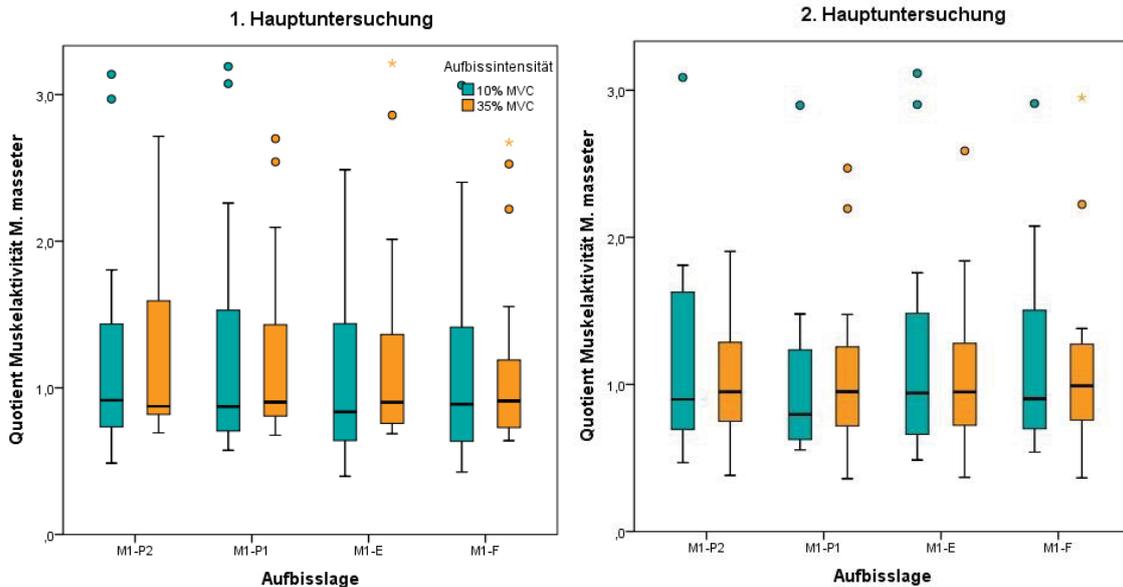


Abbildung 16: Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter bei diagonalem Aufbiss auf den 1. Molar

M1-P2: Aufbiss auf den 1. Molar der Referenzseite sowie den 2. Prämolaren der Gegenseite

M1-P1: Aufbiss auf den 1. Molar der Referenzseite sowie den 1. Prämolaren der Gegenseite

M1-E: Aufbiss auf den 1. Molar der Referenzseite sowie den Eckzahn der Gegenseite

M1-F: Aufbiss auf den 1. Molar der Referenzseite sowie Frontzähne der Gegenseite

MVC = maximale voluntäre Kontraktion

Abbildung 16 zeigt die Quotienten der Masseteraktivität bei diagonalen Aufbisslagen mit dem 1. Molar als Bezugszahn. In der 1. Hauptuntersuchung sind die Medianwerte von 10 % MVC und 35 % bei allen Aufbisslagen nahezu gleich hoch. Die Werte liegen knapp unter 1, wobei die Medianwerte von 35 % MVC leicht oberhalb der Medianwerte von 10 % MVC liegen. Die einzige Ausnahme besteht bei M1-P2, hier liegt der Medianwert von 35 % MVC leicht unterhalb des Medianwertes von 10 % MVC. In der 2. Hauptuntersuchung stellt sich eine ähnliche Werteverteilung dar. Auch hier weichen die Medianwerte nur geringfügig voneinander ab. Die Medianwerte von 35 % MVC liegen bei allen Aufbisslagen oberhalb der Medianwerte von 10 % MVC, lediglich bei M1-E befinden sich in der 2. Hauptuntersuchung die Medianwerte auf gleichem Niveau. Zu beobachten ist eine starke Streuung der Werte, die bei 10 % MVC etwas ausgeprägter ist als bei 35 % MVC. Lediglich in der 1. Hauptuntersuchung weist der Boxplot von 35 % MVC bei M1-P2 eine größere Streuung auf als der Boxplot von 10 % MVC. Die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter für die Ausprägungsstufen der Faktoren Aufbissaktivität und Aufbisslage.

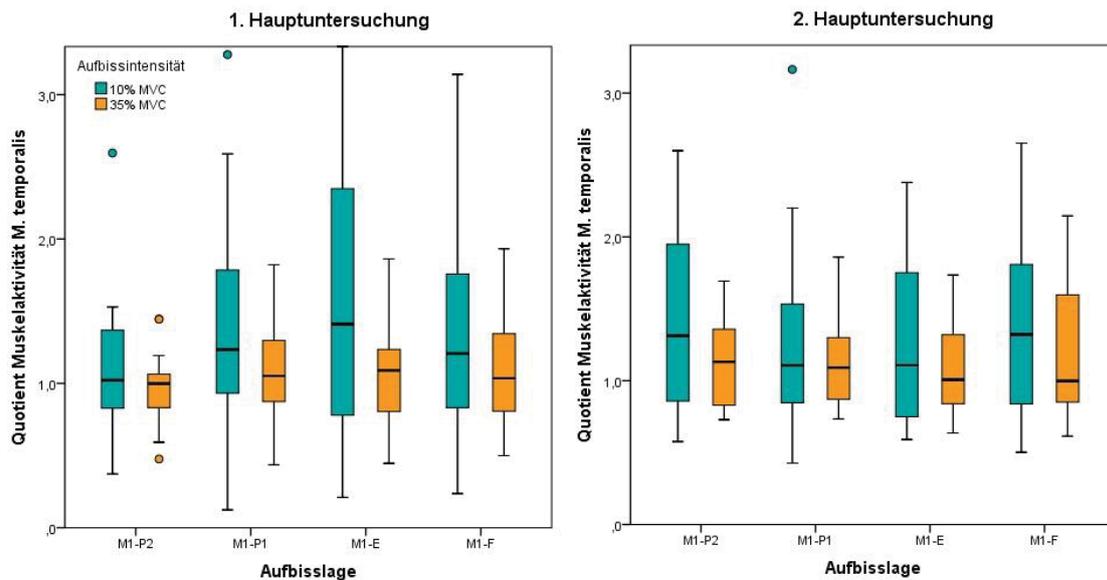


Abbildung 17: Muskelaktivitätsquotienten des M. temporalis bei diagonalem Aufbiss auf den 1. Molar
 Erläuterungen zu den Abkürzungen der Abszisse siehe Legendentext zu Abb. 16

In Abbildung 17 sind analog zum vorherigen Diagramm die Quotienten der Muskelaktivität des M. temporalis dargestellt (Bezugszahn 1. Molar). In beiden Hauptuntersuchungen weichen die Medianwerte von 10 % MVC bei unterschiedlichen Aufbisslagen stärker voneinander ab als die Medianwerte von 35 % MVC. Die Medianwerte von 10 % MVC liegen mit Ausnahme von M1-P2 in der 1. Hauptuntersuchung deutlich über 1, die Medianwerte von 35 % MVC leicht über oder nahezu bei 1. Bei M1-P2 in der 1. Hauptuntersuchung und M1-P1 in der 2. Hauptuntersuchung unterscheiden sich die Medianwerte bei unterschiedlicher Aufbissaktivität kaum. Bei allen übrigen Aufbisslagen liegen die Medianwerte von 10 % MVC oberhalb der Medianwerte von 35 % MVC. Die Diagramme lassen eine große Streuung der Werte erkennen, die mit erhöhter Aufbissintensität abnimmt. Der Boxplot von 10 % MVC weist bei M1-E in der 1. Hauptuntersuchung eine besonders starke Streuung auf. Die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Muskelaktivitätsquotienten des M. temporalis für die Ausprägungsstufen der Faktoren Aufbissaktivität und Aufbisslage.

4.3 MUSKELAKTIVITÄTEN BEI BEZUGSZAHN 2. PRÄMOLAR

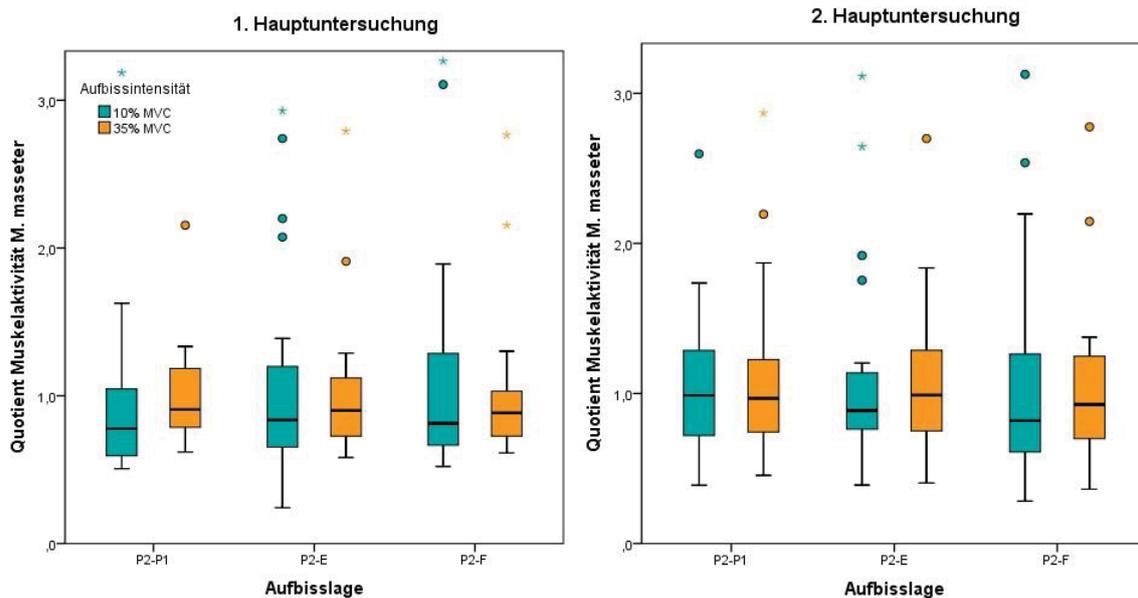


Abbildung 18: Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter bei diagonalem Aufbiss auf den 2. Prämolare

P2-P1: Aufbiss auf den 2. Prämolare der Referenzseite sowie den 1. Prämolare der Gegenseite

P2-E: Aufbiss auf den 2. Prämolare der Referenzseite sowie Eckzahn der Gegenseite

P2-F: Aufbiss auf den 2. Prämolare der Referenzseite sowie Frontzähne der Gegenseite

MVC = maximale voluntäre Kontraktion

Abbildung 18 veranschaulicht die Verteilung der Quotienten der Masseteraktivität bei diagonalen Aufbisslagen mit dem 2. Prämolare als Bezugszahn. Es ergeben sich bei beiden Hauptuntersuchungen für 10 % MVC und 35 % MVC nur geringfügige Schwankungen zwischen den Medianwerten. Bei leichtem Aufbiss liegen die Werte unter 1, mit Ausnahme von P2-P1 in der 2. Hauptuntersuchung. Bei festem Aufbiss liegen sie in der 1. Hauptuntersuchung knapp unter 1, in der 2. Hauptuntersuchung nahezu bei 1. Die Medianwerte von 35 % MVC liegen oberhalb der Medianwerte von 10 % MVC. Lediglich bei P2-P1 in der 2. Hauptuntersuchung verhält es sich umgekehrt. In beiden Hauptuntersuchungen ist eine deutliche Streuung der Werte erkennbar. Diese ist bei 10 % MVC etwas stärker ausgeprägt als bei 35 % MVC, ausgenommen von P2-E in der 2. Hauptuntersuchung. Die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter für die Ausprägungsstufen der Faktoren Aufbissaktivität und Aufbisslage.

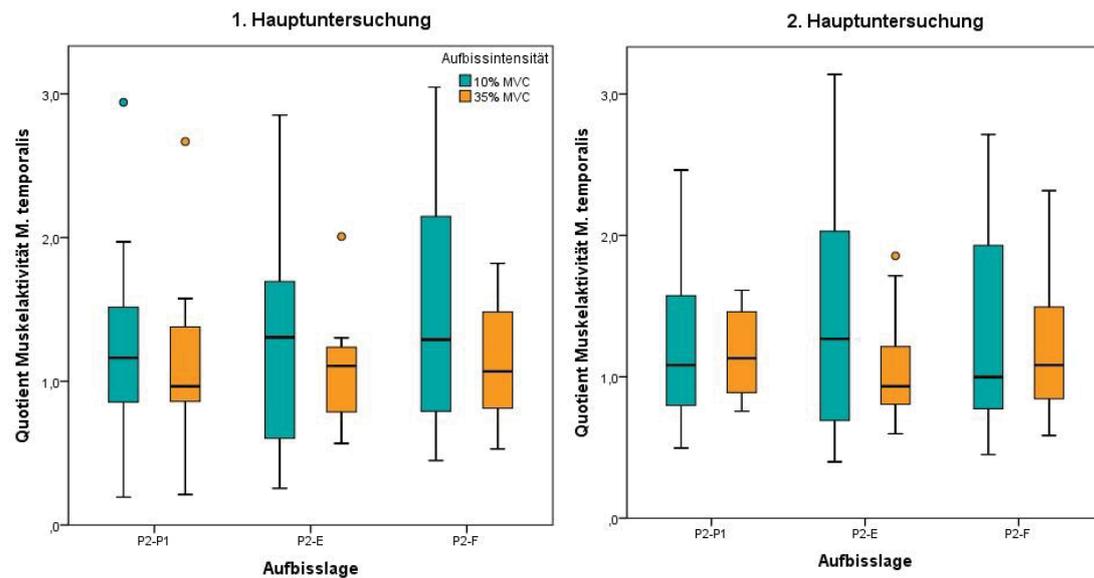


Abbildung 19: Muskelaktivitätsquotienten des M. temporalis bei diagonalem Aufbiss auf den 2. Prämolare
 Erläuterungen zu den Abkürzungen der Abszisse siehe Legendentext zu Abb. 18

In Abbildung 19 sind analog zu Abbildung 18 die Quotienten der Muskelaktivität des M. temporalis dargestellt (Bezugszahn 2. Prämolare). Die Medianwerte von 10 % MVC schwanken bei allen Aufbisslagen leicht und erreichen Werte über 1. Ähnliches gilt für die Werte von 35 % MVC, lediglich bei P2-P1 in der 1. Hauptuntersuchung und P2-E in der 2. Hauptuntersuchung nehmen die Werte etwa 1 an. Die Medianwerte von 10 % MVC liegen mit Ausnahme von P2-P1 und P2-F in der 2. Hauptuntersuchung oberhalb der Medianwerte von 35 % MVC. Zu beobachten ist auch hier eine ausgeprägte Streuung, welche bei 10 % MVC deutlich größer ist als bei 35 % MVC. Die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Muskelaktivitätsquotienten des M. temporalis für die Ausprägungsstufen der Faktoren Aufbissaktivität und Aufbisslage.

4.4 MUSKELAKTIVITÄTEN BEI BEZUGSZAHN 1. PRÄMOLAR

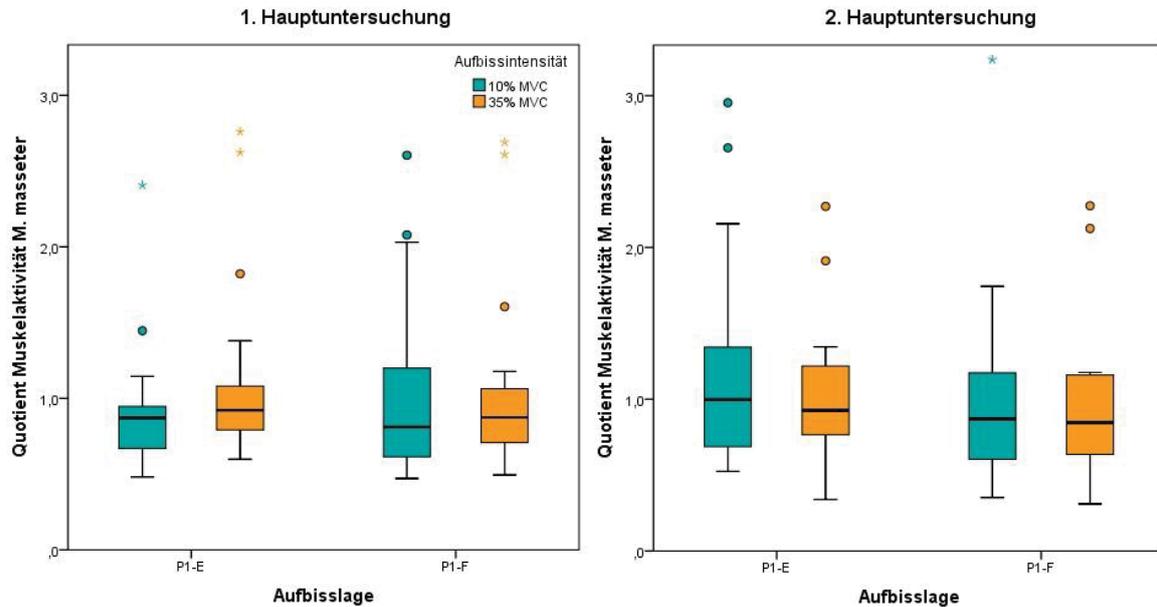


Abbildung 20: Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter bei diagonalem Aufbiss auf den 1. Prämolaren

P1-E: Aufbiss auf den 1. Prämolaren der Referenzseite sowie Eckzahn der Gegenseite

P1-F: Aufbiss auf den 1. Prämolaren der Referenzseite sowie Frontzähne der Gegenseite

MVC = maximale voluntäre Kontraktion

Abbildung 20 zeigt die Verteilung der Quotienten der Masseteraktivität bei diagonalen Aufbisslagen mit dem 1. Prämolaren als Bezugszahn. Es lässt sich feststellen, dass die Medianwerte von 10 % MVC und 35 % MVC bei allen Aufbisslagen nur geringfügig voneinander abweichen. Die Werte liegen knapp unter 1, ausgenommen von P1-E bei leichtem Aufbiss in der 2. Hauptuntersuchung. In der 1. Hauptuntersuchung liegen die Medianwerte von 35 % MVC oberhalb, in der 2. Hauptuntersuchung unterhalb der Medianwerte von 10 % MVC. Die Streuung der Werte ist bei 10 % MVC größer als bei 35 % MVC, ausgenommen von P1-E in der 1. Hauptuntersuchung. Die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter für die Ausprägungsstufen der Faktoren Aufbissaktivität und Aufbisslage.

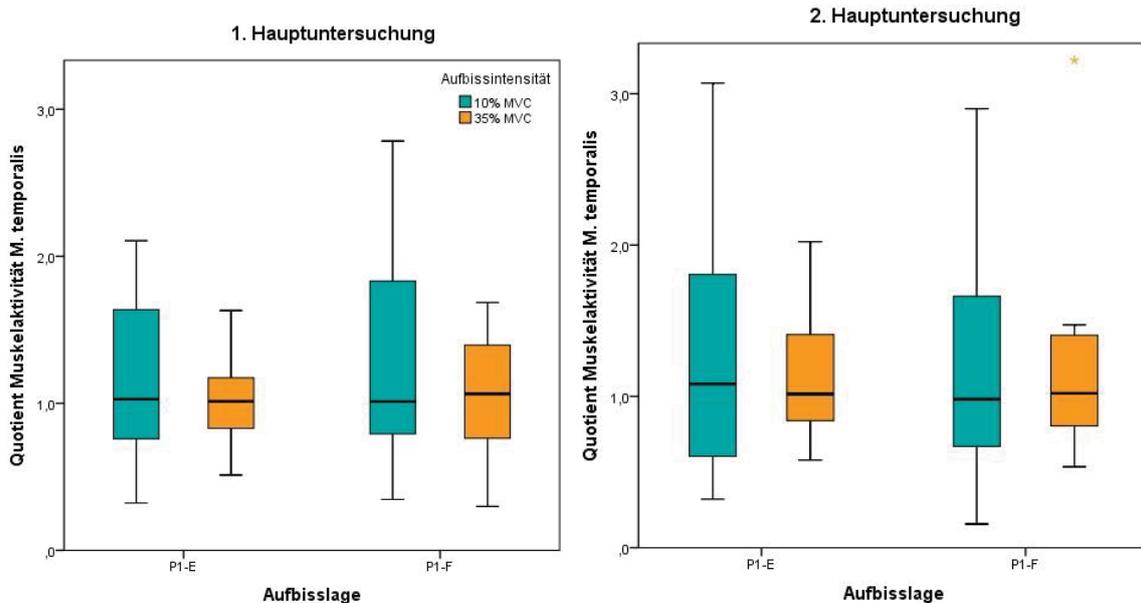


Abbildung 21: Muskelaktivitätsquotienten des M. temporalis bei diagonalem Aufbiss auf den 1. Prämolare
 Erläuterungen zu den Abkürzungen der Abszisse siehe Legendentext zu Abb. 20

Abbildung 21 veranschaulicht analog zu Abbildung 20 die Verteilung der Quotienten der Temporalisaktivität bei diagonalen Aufbisslagen (Bezugszahn 1. Prämolare). Zu beobachten ist, dass die Medianwerte von 10 % MVC und 35 % MVC bei allen Aufbisslagen nahezu konstant sind. Sie liegen alle etwa bei 1. In beiden Hauptuntersuchungen liegt der Medianwert von 35 % MVC bei P1-F nur knapp oberhalb des Medianwertes von 10 % MVC. Bei P1-E liegt der Medianwert von 35 % MVC in der 2. Hauptuntersuchung leicht unterhalb des Medianwertes von 10 % MVC, in der 1. Hauptuntersuchung liegen die Medianwerte etwa auf gleichem Niveau. Es zeigt sich auch in diesem Diagramm, dass die Streuung bei 10 % MVC deutlich größer ist als bei 35 % MVC. Die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Muskelaktivitätsquotienten des M. temporalis für die Ausprägungsstufen der Faktoren Aufbissaktivität und Aufbisslage.

4.5 MUSKELAKTIVITÄTEN BEI BEZUGSZAHN ECKZAHN

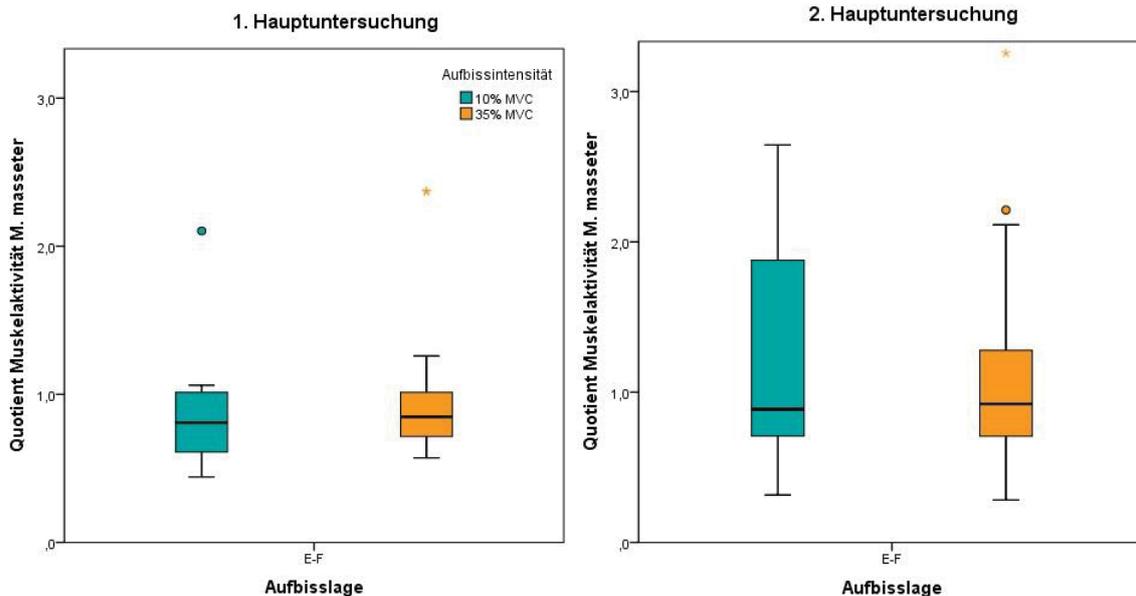


Abbildung 22: Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter bei diagonalem Aufbiss auf den Eckzahn

E-F: Aufbiss auf den Eckzahn der Referenzseite sowie Frontzähne der Gegenseite

MVC = maximale voluntäre Kontraktion

In Abbildung 22 sind die Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter bei diagonalem Aufbiss mit dem Eckzahn als Bezugszahn dargestellt. Es lässt sich feststellen, dass sich die Medianwerte von 10 % MVC und 35 % MVC in beiden Hauptuntersuchungen sehr gering voneinander unterscheiden. Beide Werte liegen etwa auf gleichem Niveau knapp unter 1. Die Streuung der Werte bei 10 % MVC ist in der 2. Hauptuntersuchung größer als bei 35 % MVC, in der 1. Hauptuntersuchung zeigen sich keine Unterschiede der Streuung bei leichtem und festem Aufbiss. Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Werte in der 2. Hauptuntersuchung wesentlich stärker streuen als in der 1. Hauptuntersuchung. Die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter für die Ausprägungsstufen der Faktoren Aufbissaktivität und Aufbisslage.

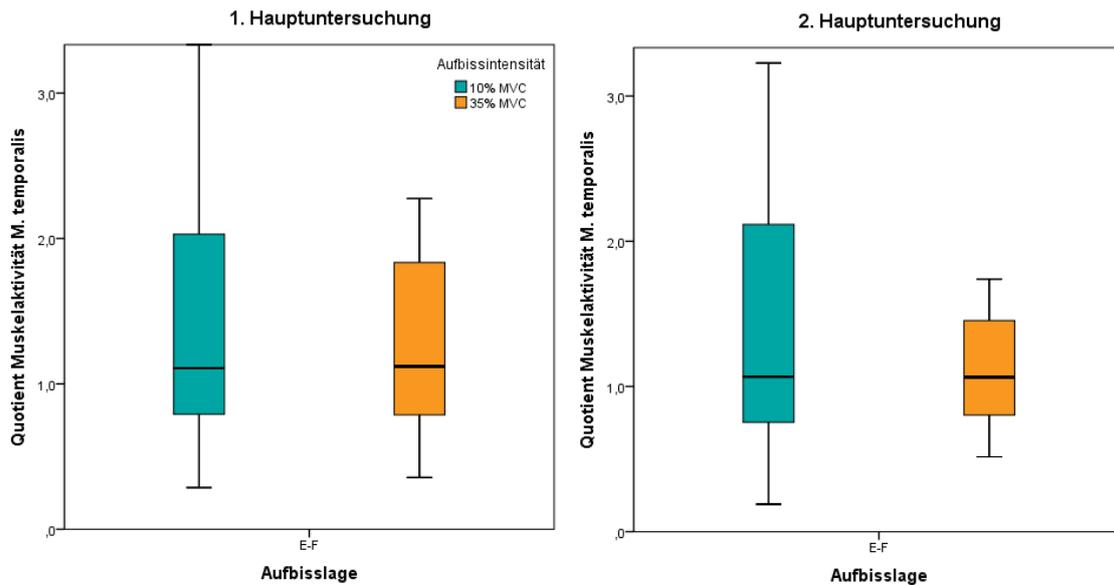


Abbildung 23: Muskelaktivitätsquotienten des M. temporalis bei diagonalem Aufbiss auf den Eckzahn
 Erläuterungen zu den Abkürzungen der Abszisse siehe Legendentext zu Abb.22

Abbildung 23 zeigt analog zu Abbildung 22 die Quotienten der Muskelaktivität des M. temporalis bei diagonalem Aufbiss mit dem Eckzahn als Bezugszahn. Die Medianwerte von 10 % MVC und 35 % MVC liegen in beiden Hauptuntersuchungen leicht über 1. Die Werte von 10 % MVC streuen stärker als die Werte von 35 % MVC, was in der 2. Hauptuntersuchung noch deutlicher ersichtlich ist. Die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Muskelaktivitätsquotienten des M. temporalis für die Ausprägungsstufen der Faktoren Aufbissaktivität und Aufbisslage.

4.6 VERGLEICH DER MUSKELAKTIVITÄTEN BEI MAXIMAL DIAGONALEN AUFBISSLAGEN

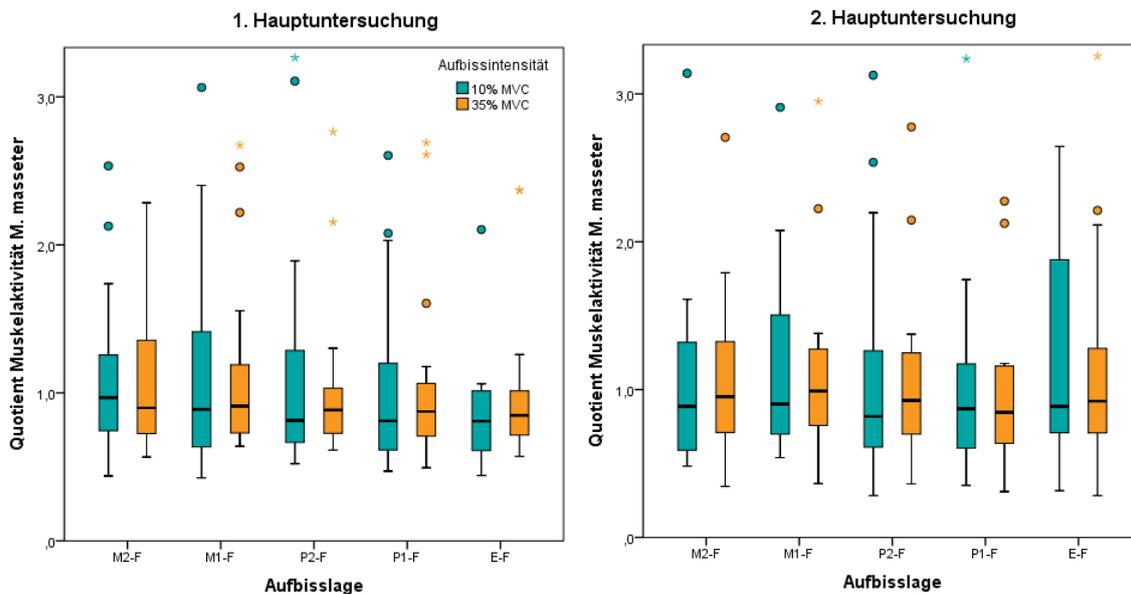


Abbildung 24: Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter bei maximal diagonalen Aufbisslagen in der 1. und 2. Hauptuntersuchung

M2-F: Aufbiss auf den 2. Molar der Referenzseite sowie Frontzähne der Gegenseite

M1-F: Aufbiss auf den 1. Molar der Referenzseite sowie Frontzähne der Gegenseite

P2-F: Aufbiss auf den 2. Prämolaren der Referenzseite sowie Frontzähne der Gegenseite

P1-F: Aufbiss auf den 1. Prämolaren der Referenzseite sowie Frontzähne der Gegenseite

E-F: Aufbiss auf den Eckzahn der Referenzseite sowie Frontzähne der Gegenseite

MVC = maximale voluntäre Kontraktion

Abbildung 24 gibt eine Übersicht über die Verteilung der Quotienten der Masseteraktivität bei den Aufbisslagen mit dem größten Diagonaleffekt. In der 1. Hauptuntersuchung zeigen sich nur geringfügige Abweichungen der Medianwerte bei allen Aufbisslagen. Die Werte von 10 % MVC und 35 % MVC liegen knapp unter 1, wobei die Medianwerte von 35 % MVC mit Ausnahme von M2-F oberhalb der Medianwerte von 10 % MVC liegen. Insgesamt ist die Streuung der Werte bei 10 % MVC größer als bei 35 % MVC, ausgenommen von M2-F. In der 2. Hauptuntersuchung weichen die Medianwerte ebenfalls nur leicht voneinander ab. Sie liegen im ähnlichen Wertebereich wie in der 1. Sitzung, wobei der Medianwert von 35 % MVC bei M1-F etwa bei 1 liegt. Die Medianwerte von 35 % MVC liegen bis auf P1-F knapp oberhalb der Medianwerte von 10 % MVC. Die Streuung der Werte ist auch hier bei leichtem Aufbiss größer als bei festem Aufbiss. Dieser Unterschied ist jedoch weniger deutlich als in der 1. Sitzung. Zudem ist zu beobachten, dass die Streuung der Werte von 10 % MVC bei E-F in der 1. Hauptuntersuchung am kleinsten und in der 2. Hauptuntersuchung am größten ist. Die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter für die Ausprägungsstufen der Faktoren Aufbissaktivität und Aufbisslage.

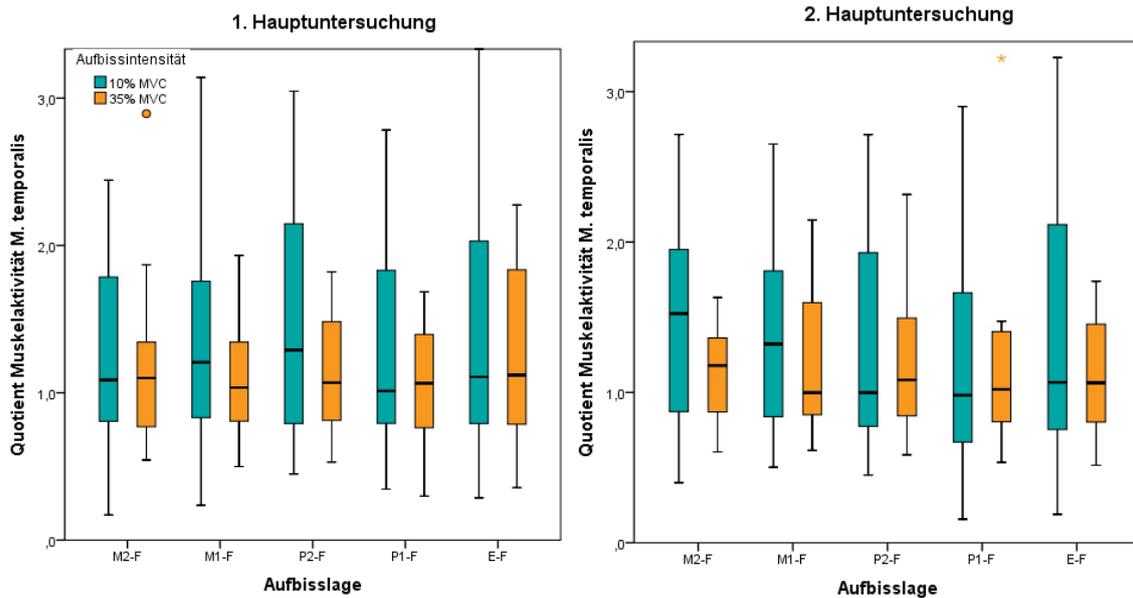


Abbildung 25: Muskelaktivitätsquotienten des M. temporalis bei maximal diagonalen Aufbisslagen in der 1. und 2. Hauptuntersuchung

Erläuterungen zu den Abkürzungen der Abszisse siehe Legendentext zu Abb. 24

Abbildung 25 veranschaulicht analog zu Abbildung 24 die Verteilung der Quotienten der Muskelaktivität des M. temporalis bei Aufbisslagen mit dem größten Diagonaleffekt. In der 1. Hauptuntersuchung zeigt sich, dass die Werte von 10 % MVC bei M1-F und P2-F deutlich über 1 liegen. Bei M2-F und E-F liegen sie nur knapp über 1, bei P1-F erreichen sie etwa 1. Die Werte von 35 % MVC liegen knapp über 1. Die Medianwerte von 10 % MVC liegen bei M1-F und P2-F oberhalb der Medianwerte von 35 % MVC, bei den übrigen Aufbisslagen liegen sie nur leicht unterhalb der Medianwerte von 10 % MVC bzw. auf gleichem Niveau. Es ist eine ausgeprägte Streuung der Werte zu beobachten, die bei leichtem Aufbiss größer ist als bei festem Aufbiss. In der 2. Hauptuntersuchung zeigt sich eine ähnliche Verteilung der Medianwerte wie in der 1. Hauptuntersuchung. Lediglich der Wert von 10 % MVC liegt bei M2-F deutlich höher und bei P2-F niedriger als in der 1. Hauptuntersuchung. Der Medianwert von 10 % MVC liegt bei M2-F somit oberhalb des Medianwertes von 35 % MVC und bei P2-F unterhalb des Medianwertes von 35 % MVC. Auch hier ist eine große Streuung der Werte zu beobachten. Sie ist bei 10 % MVC deutlich größer als bei 35 % MVC. Die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Muskelaktivitätsquotienten des M. temporalis für die Ausprägungsstufen der Faktoren Aufbissaktivität und Aufbisslage.

4.7 VERGLEICH VON M. MASSETER UND M. TEMPORALIS

Im folgenden Teil werden Boxplots so gegenübergestellt, dass die Muskelaktivität des M. masseter und des M. temporalis bei gleichen Aufbissituationen miteinander verglichen werden kann. Der Übersicht halber werden nur Boxplots der ersten Hauptuntersuchung dargestellt.

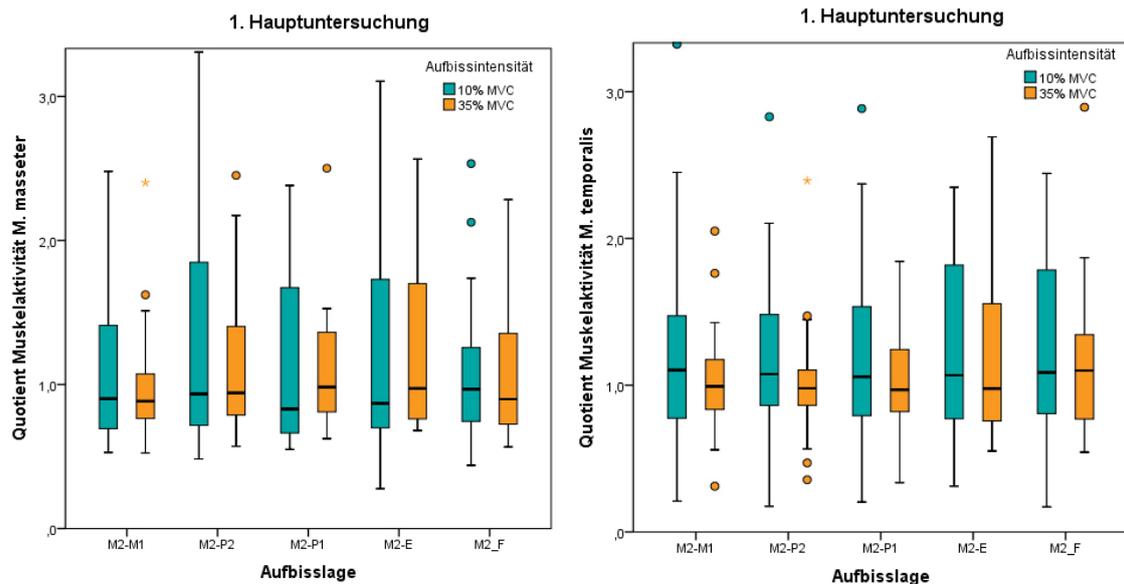


Abbildung 26: Vergleich der Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter (links) und M. temporalis (rechts) bei diagonalem Aufbiss auf den 2. Molar

Erläuterungen zu den Abkürzungen der Abszisse siehe Legendentext zu Abb. 14

Abbildung 26 zeigt die Quotienten der Muskelaktivität des M. temporalis und des M. masseter bei diagonalen Aufbissituationen (Bezugszahn 2. Molar) im Vergleich. Bei der Verteilung der Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter lässt sich feststellen, dass die Medianwerte von 35 % MVC mit Ausnahme von M2-M1 und M2-F oberhalb der Medianwerte von 10 % MVC liegen. Bei den Werten des M. temporalis verhält es sich genau umgekehrt, lediglich bei M2-F liegen die Medianwerte etwa auf gleichem Niveau. Bei beiden Muskeln ist eine große Streuung der Werte zu beobachten. Beim M. temporalis ist ein ausgeprägter Unterschied zwischen der Streuung bei 10 % MVC und 35 % MVC erkennbar. Diese ist bei leichtem Aufbiss deutlich größer als bei festem Aufbiss. Beim M. masseter ist die Streuung bei 10 % MVC ebenfalls größer als bei 35 % MVC, jedoch ist dieser Effekt verglichen mit dem M. temporalis weniger stark ausgeprägt.

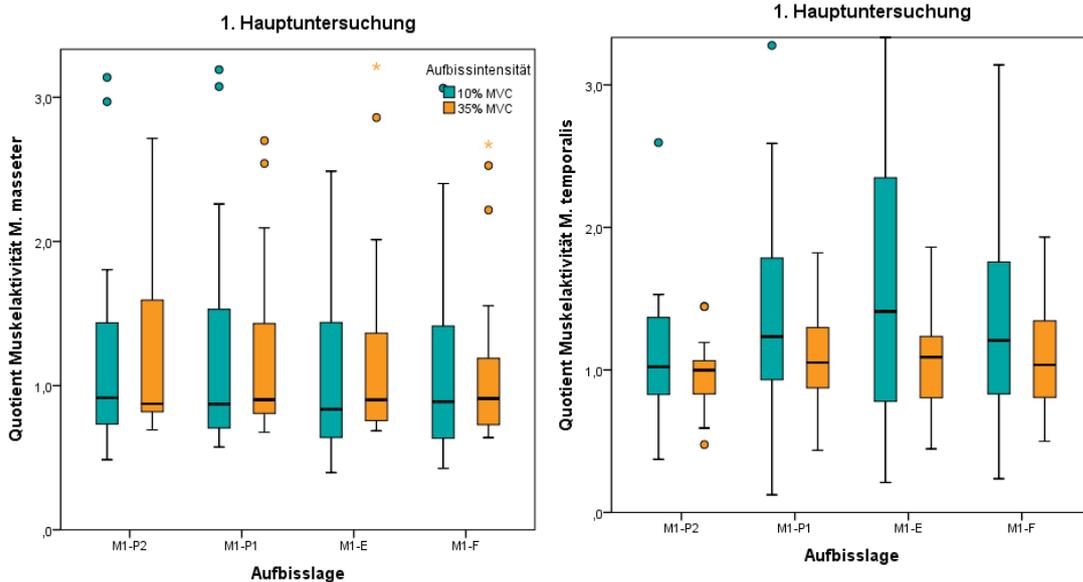


Abbildung 27: Vergleich der Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter (links) und M. temporalis (rechts) bei diagonalem Aufbiss auf den 1. Molar

Erläuterungen zu den Abkürzungen der Abszisse siehe Legendentext zu Abb. 16

In Abbildung 27 sind die Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter und des M. temporalis bei diagonalen Aufbisslagen mit dem 1. Molar als Bezugszahn im Vergleich dargestellt. Es ist zu beobachten, dass die Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter bei allen Aufbisslagen konstanter sind als die des M. temporalis. Beim M. masseter bei allen Aufbisslagen konstanter sind als die des M. temporalis. Beim M. temporalis zeigt sich zudem ein größerer Unterschied zwischen den Medianwerten von 10 % MVC und 35 % MVC. Die Medianwerte von 10 % MVC liegen oberhalb der Medianwerte von 35 % MVC (mit Ausnahme von M1-P2). Beim M. masseter ist nur ein minimaler Unterschied zwischen den Medianwerten erkennbar. Wie in Abbildung 15 ist auch hier festzustellen, dass beim M. masseter die Streuung der Werte bei 10 % MVC nur etwas stärker ist als bei 35 % MVC. Beim M. temporalis ist sie bei 10 % MVC deutlich größer als bei 35 % MVC.

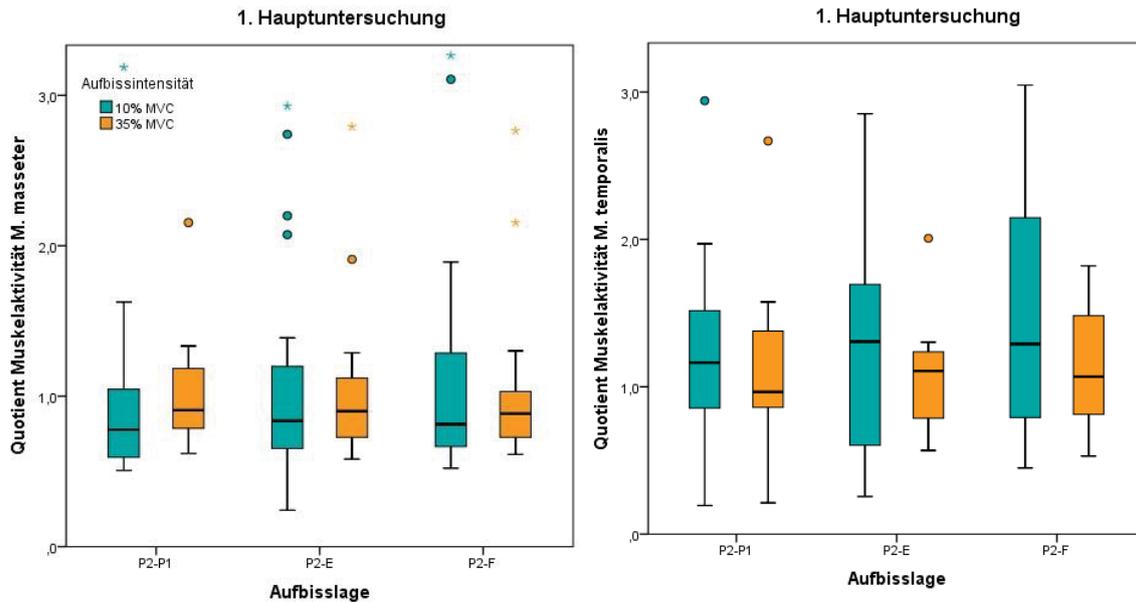


Abbildung 28: Vergleich der Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter (links) und M. temporalis (rechts) bei diagonalem Aufbiss auf den 2. Prämolare

Erläuterungen zu den Abkürzungen der Abszisse siehe Legendentext zu Abb. 18

Abbildung 28 stellt die Quotienten der Muskelaktivität des M. temporalis und des M. masseter bei diagonalen Aufbisslagen (Bezugszahn 2. Prämolare) gegenüber. Auch in dieser Darstellung wird ersichtlich, dass die Werte des M. masseter bei allen Aufbisslagen eine größere Konstanz aufweisen als die des M. temporalis. Beim M. masseter liegen die Medianwerte von 10 % MVC leicht unter 1, beim M. temporalis deutlich über 1. Die Werte von 35 % MVC unterscheiden sich nur geringfügig, sie liegen beim M. masseter leicht unter 1, beim M. temporalis knapp über 1. Die Medianwerte von 35 % MVC liegen beim M. masseter oberhalb der Medianwerte von 10 % MVC, beim M. temporalis verhält es sich umgekehrt. Bei beiden Muskeln ist zu beobachten, dass die Werte bei leichtem Aufbiss eine größere Streuung aufweisen als bei festem Aufbiss. Der Unterschied ist bei M. temporalis jedoch deutlicher als beim M. masseter.

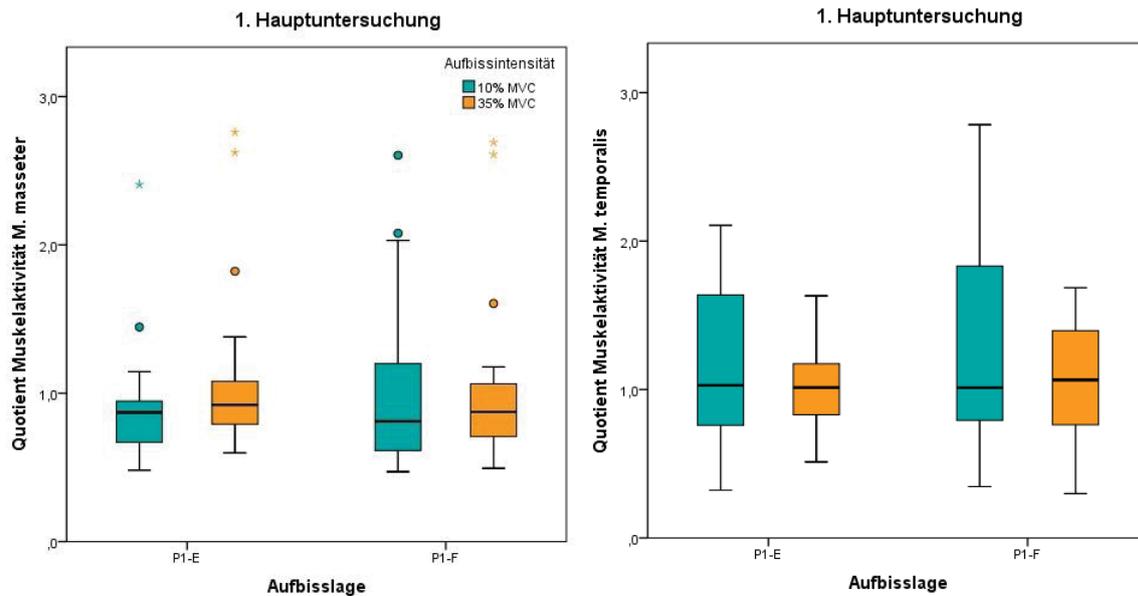


Abbildung 29: Vergleich der Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter (links) und M. temporalis (rechts) bei diagonalem Aufbiss auf den 1. Prämolare

Erläuterungen zu den Abkürzungen der Abszisse siehe Legendentext zu Abb. 20

In Abbildung 29 sind die Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter und des M. temporalis bei diagonalen Aufbisslagen mit dem 1. Prämolare als Bezugszahn im Vergleich dargestellt. Die Mediane des M. masseter und des M. temporalis unterscheiden sich nur geringfügig. Ein Unterschied lässt sich bei der Streuung der Werte von 10 % MVC feststellen: Die Streuung ist beim M. masseter bei leichtem und bei festem Aufbiss nahezu gleich, beim M. temporalis ist die Streuung bei 10 % MVC größer als bei 35 % MVC.

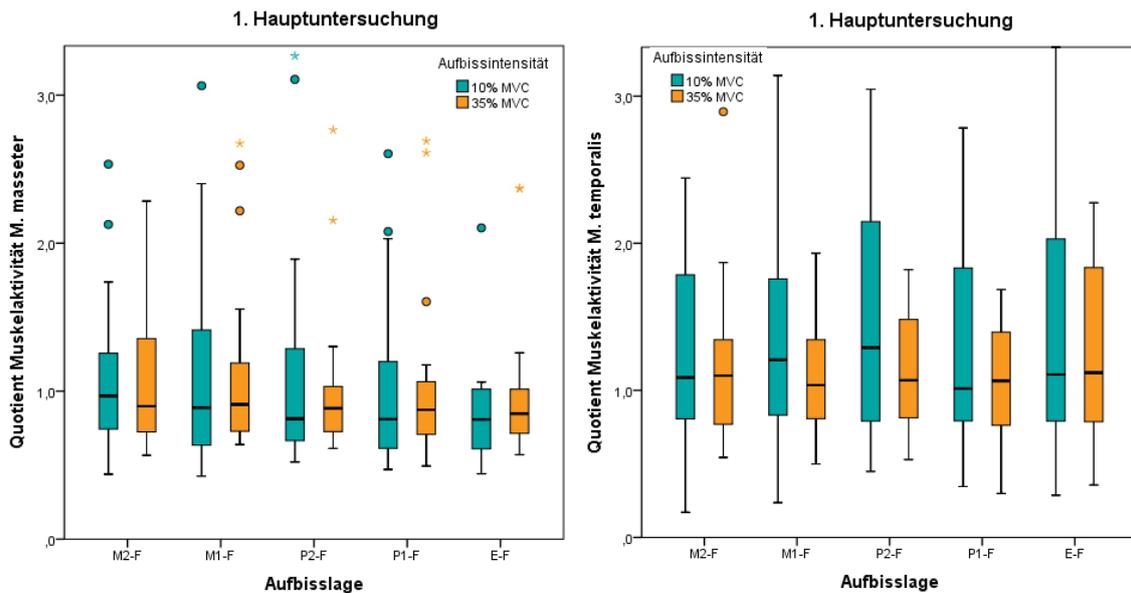


Abbildung 30: Vergleich der Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter (links) und M. temporalis (rechts) bei Aufbisslagen mit dem größten Diagonaleffekt

Erläuterungen zu den Abkürzungen der Abszisse siehe Legendentext zu Abb. 24

Abbildung 30 vergleicht die Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter und des M. temporalis bei Aufbisslagen mit dem größten Diagonaleffekt. Die Werte unterscheiden sich deutlich bei P2-F und M1-F. Hier liegen die Medianwerte von 10 % MVC beim M. masseter unter 1, beim M. temporalis über 1. Beim M. masseter liegen die Medianwerte von 10 % MVC mit Ausnahme von M2-F leicht unterhalb der Medianwerte von 35 % MVC. Beim M. temporalis liegen sie bei M1-F und P2-F deutlich oberhalb der Medianwerte von 35 % MVC, bei M2-F P1-F und E-F leicht unterhalb der Medianwerte von 35 % MVC. Im Hinblick auf die Streubreite der Werte lassen sich Unterschiede feststellen: Sie ist bei beiden Muskeln bei leichtem Aufbiss größer als bei festem Aufbiss, beim M. temporalis streuen jedoch alle Werte stärker.

4.8 RELIABILITÄTSANALYSE

Um die Reliabilität der Messwerte beider Hauptuntersuchungen zu prüfen, wurden die Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC-Werte) der Aktivitätsquotienten des M. masseter und des M. temporalis für alle Aufbisslagen jeweils für 10 % MVC und 35 % MVC ermittelt und in Tabelle 3 dargestellt.

Aufbisslage	MVC	M. masseter			M. temporalis		
		ICC	95% Konfidenzintervall		ICC	95% Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze		Untergrenze	Obergrenze
M2-M1	10 %	0,45	0,02	0,74	0,65	0,3	0,84
	35 %	0,06	-0,38	0,48	0,79	0,54	0,91
M2-P2	10 %	0,17	-0,28	0,56	0,37	-0,07	0,69
	35 %	0,12	-0,33	0,53	0,16	-0,29	0,55
M2-P1	10 %	0,31	-0,14	0,65	0,02	-0,42	0,45
	35 %	0,27	0,19	0,63	0,43	-0,001	0,73
M2-E	10 %	0,21	-0,25	0,59	0,02	-0,42	0,45
	35 %	0,25	-0,20	0,62	0,25	-0,21	0,61
M2-F	10 %	0,2	-0,26	0,58	0,01	-0,44	0,42
	35 %	0,35	-0,1	0,68	0,31	-0,14	0,66
M1-P2	10 %	0,09	-0,51	0,35	0,07	-0,49	0,38
	35 %	0,04	-0,4	0,47	0,12	-0,33	0,53
M1-P1	10 %	0,1	-0,51	0,35	0,07	-0,49	0,38
	35 %	0,18	0,28	0,57	0,02	-0,42	0,53
M1-E	10 %	0,36	-0,46	0,40	0,02	-0,45	0,42
	35 %	0,25	-0,21	0,61	0,08	-0,37	0,49
M1-F	10 %	0,2	-0,25	0,59	0,03	-0,46	0,41
	35 %	0,25	-0,20	0,62	0,03	-0,41	0,46
P2-P1	10 %	0,18	-0,28	0,57	0,69	0,36	0,86
	35 %	0,25	-0,20	0,62	0,58	0,20	0,81
P2-E	10 %	0,03	-0,41	0,45	0,13	-0,33	0,53
	35 %	0,35	-0,98	0,68	0,13	-0,33	0,53
P2-F	10 %	0,07	-0,37	0,49	0,002	-0,43	0,44
	35 %	0,26	-0,19	0,62	0,03	-0,41	0,45
P1-E	10 %	0,23	-0,60	0,22	0,27	-0,18	0,63
	35 %	0,25	-0,20	0,62	0,01	-0,44	-0,43
P1-F	10 %	0,01	-0,44	0,42	0,61	0,24	0,82
	35 %	0,15	-0,30	0,55	0,01	-0,43	0,44
E-F	10 %	0,64	0,08	,856	0,28	-0,42	0,78
	35 %	0,38	-0,13	0,82	0,26	0,41	0,45

Tabelle 3: ICC- (Intraclass Correlation Coefficient) Werte für diagonale Aufbisslagen,

M2 = 2. Molar, M1 = 1. Molar, P2 = 2. Prämolare, P1 = 1. Prämolare, E = Eckzahn, MVC = maximale voluntäre Kontraktion

Tabelle 3 zeigt die Intraklassenkoeffizienten für die Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter und des M. temporalis bei diagonalen Aufbisslagen in den beiden Hauptuntersuchungen. Beim M. masseter liegen die ICC-Werte bei 10 % MVC zwischen 0,01 und 0,45. Bei 35 % MVC reichen die Werte von 0,04 bis 0,35. Für den M. temporalis ergeben sich bei 10 % MVC Werte zwischen 0,002 und 0,69. Bei 35 % MVC liegen die ICC-Werte zwischen 0,02 und 0,79. Der Mittelwert aller ICC-Werte beträgt beim M. masseter bei 10 % MVC 0,22 und bei 35 % MVC 0,23. Beim M. temporalis beträgt der Mittelwert aller ICC-Werte bei 10 % MVC 0,22 und bei 35 % MVC 0,21. Gemäß der Klassifikation nach Cohen entspricht dies einer geringen Reliabilität.

4.9 DARSTELLUNG DER MITTLEREN MESSWERTE (IN μV) DER 1. UND 2. HAUPTUNTERSUCHUNG

Im Folgenden soll der Vergleich der Ergebnisse beider Hauptuntersuchungen spezifischer betrachtet werden. Dazu wurde zusätzlich auf signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der 1. und 2. Hauptuntersuchung getestet und ferner die Differenzwerte beider Hauptuntersuchungen errechnet.

Die als nächstes aufgeführten Tabellen zeigen getrennt für den M. masseter und M. temporalis und getrennt für die rechte und linke Seite die mittlere Muskelaktivität der 1. und 2. Hauptuntersuchung. Es wurden hier keine Aktivitätsquotienten, sondern die realen Werte in der Einheit μV verwendet. Zusätzlich erfolgte die Errechnung der Differenzwerte beider Hauptuntersuchungen, um die Reliabilität zu prüfen. Die Differenzberechnung ergab sich wie folgt:

$$\text{Messwert } (\mu\text{V}) \text{ 1. Hauptuntersuchung} - \text{Messwert } (\mu\text{V}) \text{ 2. Hauptuntersuchung} = \text{Messdifferenz}$$

Des Weiteren ist in den Tabellen die Standardabweichung, der Wertebereich der Messdifferenzen sowie Maximal- und Minimalwert aufgelistet. Der p-Wert gibt an, ob sich die mittleren Messwerte der ersten und zweiten Hauptuntersuchung signifikant unterscheiden. Vorhandene signifikante Unterschiede wurden rot markiert.

AL	AI (% MVC), M	MA H1 (μV)	MA H2 (μV)	Diff (μV)	SA (μV)	B (μV)	Max (μV)	Min (μV)	p-Wert
M2-M1	10 % MVC, RM	45,27	45,66	-,39	19,14	87,50	48,70	-38,80	0,93
	35 % MVC, RM	134,29	129,13	5,16	51,16	202,97	106,07	-96,90	0,66
	10 % MVC, LM	43,96	44,76	-,8	18,34	77,77	31,67	-46,10	0,84
	35 % MVC, LM	131,15	129,63	1,52	53,85	203,83	109,80	-94,03	0,9
	10 % MVC, RT	43,04	59,52	-16,48	26,44	108,90	17,10	-91,80	0,01
	35 % MVC, RT	119,82	128,44	-8,62	32,13	125,07	56,20	-68,87	0,25
	10 % MVC, LT	39,24	43,77	-4,52	16,26	55,13	21,70	-33,43	0,23
	35 % MVC, LT	114,67	116,53	-1,88	33,1	133,40	72,50	-60,90	0,8
M2-P2	10 % MVC, RM	47,52	47,3	,22	19,29	78,30	43,93	-34,37	0,96
	35 % MVC, RM	134,47	128,75	5,72	39,09	141,90	90,87	-51,03	0,52
	10 % MVC, LM	44,2	49,39	-5,2	25,22	106,37	50,73	-55,63	0,37
	35 % MVC, LM	123,3	127,17	-3,8783	60,14	271,60	114,87	-156,73	0,78
	10 % MVC, RT	45,87	59,99	-14,12	29,2	112,17	20,37	-91,80	0,04
	35 % MVC, RT	120,68	131,28	-10,6	36,29	164,53	83,07	-81,47	0,21
	10 % MVC, LT	43,16	47,27	-4,11	24,48	85,17	32,47	-52,70	0,46
	35 % MVC, LT	117,8	123,16	-5,36	46,85	209,83	142,33	-67,50	0,62
M2-P1	10 % MVC, RM	45,41	43,84	1,57	16,32	60,00	36,10	-23,90	0,67
	35 % MVC, RM	131,94	129,89	2,05	42,68	159,87	107,73	-52,13	0,83
	10 % MVC, LM	43,2	47,03	-3,83	18,98	89,10	30,97	-58,13	0,38
	35 % MVC, LM	119,66	125,2	-5,53	55,79	247,43	113,27	-134,17	0,66
	10 % MVC, RT	47,23	55,12	-7,9	22,69	82,63	15,37	-67,27	0,14
	35 % MVC, RT	116,72	127,98	-11,26	40,05	183,10	94,63	-88,47	0,22
	10 % MVC, LT	42,84	42,83	,007	21,44	83,63	40,30	-43,33	0,99
	35 % MVC, LT	111,95	120,39	-8,44	37,88	117,37	49,70	-67,67	0,33
M2-E	10 % MVC, RM	45,96	46,19	-,23	20,27657	88,27	49,00	-39,27	0,96
	35 % MVC, RM	132,19	127,98	4,22	42,93	154,20	99,43	-54,77	0,67
	10 % MVC, LM	43,36	47,73	-4,38	24,26	112,57	34,07	-78,50	0,43
	35 % MVC, LM	117,84	128,8	-10,95	66,16	316,43	122,67	-193,77	0,47
	10 % MVC, RT	43,29	59,16	-15,88	26,52	19,53	-76,40	95,93	0,15
	35 % MVC, RT	111,69	127,36	-15,67	35,63	58,07	-88,30	146,37	0,06
	10 % MVC, LT	36,86	45,86	-9,01	37,66	48,23	-77,33	125,57	0,3
	35 % MVC, LT	99,93	124,28	-24,35	40,4	58,13	-87,70	145,83	0,01
M2-F	10 % MVC, RM	48,71	46,79	1,93	19,68	72,00	39,13	-32,87	0,67
	35 % MVC, RM	125,31	125,19	,3	49,14	208,60	133,00	-75,60	0,98
	10 % MVC, LM	47,45	48,33	-,89	24,5	105,57	53,83	-51,73	0,87
	35 % MVC, LM	120,74	127,92	-9,15	54,82	244,43	132,63	-111,80	0,49
	10 % MVC, RT	44,85	57,36	-12,51	30,83	132,33	59,90	-72,43	0,09
	35 % MVC, RT	117,02	130,03	-10,76	37,25	121,67	44,30	-77,37	0,24
	10 % MVC, LT	37,12	43,04	-5,92	40,40	131,90	43,97	-87,93	0,52
	35 % MVC, LT	108,55	119,15	-12,66	57,56	224,77	132,07	-92,70	0,36

Tabelle 4: Mittlere Messwerte (in μV) des rechten und linken M. masseter und des rechten und linken M. temporalis bei Aufbisslagen mit dem 2. Molar als Referenzzahn

RM = rechter M. masseter, LM = linker M. masseter, RT = rechter M. temporalis, LT = linker M. temporalis, AI = Ausbissintensität, MA H1 = mittlere Muskelaktivität in der 1. Hauptuntersuchung, MA H2 = mittlere Muskelaktivität in der 2. Hauptuntersuchung, SA = Standardabweichung, B = Wertebereich, Max = maximaler Wert der Messdifferenzen, Min = minimaler Wert der Messdifferenzen

Erläuterung zu Aufbisslagen siehe Abkürzungsverzeichnis

Tabelle 4 zeigt die ermittelten Unterschiede zwischen der 1. und der 2. Hauptuntersuchung beim diagonalen Aufbiss auf den 2. Molar. Beim Vergleich der Werte von 10 % MVC und 35 % MVC wird ersichtlich, dass die Spannbreite der Werteverteilung bei 35 % MVC deutlich größer ist als bei 10 % MVC. Beim M. masseter ist dieser Befund stärker ausgeprägt als beim M. temporalis. Gleiches gilt für die Standardabweichung. Die Mittelwerte der Messdifferenzen liegen beim M. masseter überwiegend im negativen Bereich. Es ergeben sich jedoch auch positive Werte, die bis auf zwei Ausnahmen (M2-P1 RM und M2-F RM) ausschließlich bei 35 % MVC zu finden sind. Beim Vergleich der Werte des M. masseter und M. temporalis fällt auf, dass die Aktivitätswerte des M. temporalis bei allen Aufbisslagen im negativen Bereich liegen und zudem deutlich negativer sind als die Mittelwerte des M. masseter.

AL	AI (% MVC), M	MA H1 (μV)	MA H2 (μV)	Diff (μV)	SA (μV)	B (μV)	Max (μV)	Min (μV)	p-Wert
M1-P2	10 % MVC, RM	45,6	46,07	-,47	25,05	95,90	52,33	-43,57	0,93
	35 % MVC, RM	130,51	126,88	3,62	45,14	176,97	116,07	-60,90	0,72
	10 % MVC, LM	44,31	48,15	-3,83	23,63	111,23	41,30	-69,93	0,48
	35 % MVC, LM	120,51	134,62	-14,11	69,52	319,77	102,97	-216,80	0,38
	10 % MVC, RT	55,97	62,18	-6,21	40,66	202,00	131,13	-70,87	0,5
	35 % MVC, RT	125,06	135,52	-10,45	45,27	217,90	123,70	-94,20	0,32
	10 % MVC, LT	46,21	51,11	-4,90	26,30	101,00	43,13	-57,87	0,42
	35 % MVC, LT	121,19	128,02	-6,82	47,43	215,43	140,03	-75,40	0,53
M1-P1	10 % MVC, RM	46,55	43,6	2,94	23,07	107,00	63,63	-43,37	0,57
	35 % MVC, RM	131,00	127,91	3,09	47,59	186,40	125,47	-60,93	0,77
	10 % MVC, LM	42,30	48,68	-6,38	26,64	124,97	48,40	-76,57	0,3
	35 % MVC, LM	120,07	133,02	-12,95	63,28	270,13	104,63	-165,50	0,37
	10 % MVC, RT	55,34	60,61	-5,27	36,68	169,07	101,30	-67,77	0,53
	35 % MVC, RT	127,3	133,46	-6,16	41,69	191,50	107,63	-83,87	0,52
	10 % MVC, LT	40,55	50,88	-10,32	20,92	91,97	21,20	-70,77	0,04
	35 % MVC, LT	115,99	127,62	-11,62	35,23	121,13	52,93	-68,20	0,16
M1-E	10 % MVC, RM	44,29	48,36	-4,07	25,39	121,07	55,20	-65,87	0,48
	35 % MVC, RM	132,52	127,84	4,67	44,61	186,77	116,17	-70,60	0,64
	10 % MVC, LM	46,49	50,82	-4,32	28,04	126,80	63,10	-63,70	0,5
	35 % MVC, LM	122,24	132,16	-9,91	66,46	302,80	127,00	-175,80	0,51
	10 % MVC, RT	48,79	64,23	-15,44	36,24	130,47	42,87	-87,60	0,07
	35 % MVC, RT	128,13	129,46	-1,33	47,54	204,67	126,43	-78,23	0,9
	10 % MVC, LT	36,13	53,02	-16,88	37,74	133,07	38,53	-94,53	0,06
	35 % MVC, LT	113,76	126,75	-12,99	48,17	178,40	94,03	-84,37	0,24
M1-F	10 % MVC, RM	46,05	46,47	-,41	21,05	78,73	51,70	-27,03	0,93
	35 % MVC, RM	123,47	125,4	-1,93	55,25	261,43	140,00	-121,43	0,88
	10 % MVC, LM	46,91	46,57	,33	18,93	88,60	50,60	-38,00	0,94
	35 % MVC, LM	121,16	124,45	-3,29	57,71	247,33	118,53	-128,80	0,8
	10 % MVC, RT	48,07	63,04	-14,96	26,79	96,90	22,27	-74,63	0,02
	35 % MVC, RT	116,88	130,21	-13,33	33,10	103,57	37,50	-66,07	0,8
	10 % MVC, LT	40,68	53,69	-13,00	40,66	158,70	61,03	-97,67	0,17
	35 % MVC, LT	110,09	122,67	-12,57	60,76	278,50	164,27	-114,23	0,37

Tabelle 5: Mittlere Messwerte (in μV) des rechten und linken M. masseter und des rechten und linken M. temporalis bei Aufbisslagen mit dem 1. Molar als Referenzzahn

RM = rechter M. masseter, LM = linker M. masseter, RT = rechter M. temporalis, LT = linker M. temporalis, AI = Ausbissintensität, MA H1 = mittlere Muskelaktivität in der 1. Hauptuntersuchung, MA H2 = mittlere Muskelaktivität in der 2. Hauptuntersuchung, SA = Standardabweichung, B = Wertebereich, Max = maximaler Wert der Messdifferenzen, Min = minimaler Wert der Messdifferenzen

Erläuterung zu Aufbisslagen siehe Abkürzungsverzeichnis

In Tabelle 5 sind die Messwerte für diagonale Aufbisslagen mit dem ersten Molar als Referenzzahn dargestellt. Es ist festzustellen, dass die Werte bei 35 % MVC breiter verteilt sind als bei 10 % MVC. Beim M. temporalis ist der Unterschied nicht so stark ausgeprägt wie beim M. masseter. Im Hinblick auf die mittleren Differenzwerte lässt sich feststellen, dass diese hauptsächlich im negativen Bereich angesiedelt sind. Positive Werte ergeben sich vereinzelt und dann lediglich beim M. masseter.

AL	AI (% MVC), M	MA H1 (μV)	MA H2 (μV)	Diff (μV)	SA (μV)	B (μV)	Max (μV)	Min (μV)	p-Wert
P2-P1	10 % MVC, RM	43,63	58,72	-3,66	22,65	118,03	65,30	-52,73	0,47
	35 % MVC, RM	134,5	142,09	-2,83	49,54	247,73	170,83	-76,90	0,8
	10 % MVC, LM	49,69	54,93	1,50	13,84	49,77	31,73	-18,03	0,63
	35 % MVC, LM	126,64	129,67	-10,12	58,48	250,17	111,53	-138,63	0,45
	10 % MVC, RT	52,05	58,72	-6,67	23,47	88,13	31,83	-56,30	0,22
	35 % MVC, RT	131,44	142,09	-10,65	36,84	129,83	55,40	-74,43	0,21
	10 % MVC, LT	45,85	54,93	-9,08	21,05	66,97	18,53	-48,43	0,69
	35 % MVC, LT	122,67	129,67	-7,00	38,76	188,20	113,83	-74,37	0,43
P2-E	10 % MVC, RM	46,92	51,95	-5,03	24,79	114,53	58,13	-56,40	0,38
	35 % MVC, RM	131,05	136,70	-5,65	52,04	225,07	141,73	-83,33	0,63
	10 % MVC, LM	51,15	54,53	-3,38	25,83	98,50	53,60	-44,90	0,57
	35 % MVC, LM	129,69	135,22	-5,53	57,82	227,00	105,30	-121,70	0,67
	10 % MVC, RT	47,31	67,12	-19,81	26,79	95,70	16,23	-79,47	0,04
	35 % MVC, RT	126,95	135,84	-8,89	44,96	180,93	107,67	-73,27	0,39
	10 % MVC, LT	41,04	57,28	-16,23	31,52	97,77	24,60	-73,17	0,03
	35 % MVC, LT	117,28	140,05	-22,76	67,59	317,10	163,70	-153,40	0,15
P2-F	10 % MVC, RM	47,03	47,32	-,28	22,60	97,03	68,73	-28,30	0,96
	35 % MVC, RM	127,07	132,3	-5,22	52,94	220,47	135,03	-85,43	0,66
	10 % MVC, LM	47,55	55,7	-8,14	27,39	130,43	44,03	-86,40	0,2
	35 % MVC, LM	127,64	137,26	-9,62	60,49	259,73	119,07	-140,67	0,47
	10 % MVC, RT	50,94	65,91	-14,97	21,86	82,57	27,7	-54,88	0,06
	35 % MVC, RT	122,38	142,5	-20,12	36,69	147,93	48,97	-98,97	0,24
	10 % MVC, LT	43,92	59,62	-15,7	41,48	138	39,9	-98,1	0,11
	35 % MVC, LT	112,42	136,20	-23,78	63,06	290,27	158,93	39,9	0,11

Tabelle 6: Mittlere Messwerte (in μV) des rechten und linken M. masseter und des rechten und linken M. temporalis bei Aufbisslagen mit dem 2. Prämolare als Referenzzahn

RM = rechter M. masseter, LM = linker M. masseter, RT = rechter M. temporalis, LT = linker M. temporalis, AI = Ausbissintensität, MA H1 = mittlere Muskelaktivität in der 1. Hauptuntersuchung, MA H2 = mittlere Muskelaktivität in der 2. Hauptuntersuchung, SA = Standardabweichung, B = Wertebereich, Max = maximaler Wert der Messdifferenzen, Min = minimaler Wert der Messdifferenzen

Erläuterung zu Aufbisslagen siehe Abkürzungsverzeichnis

Tabelle 6 zeigt die Messwerte für Aufbisslagen mit dem zweiten Prämolare als Referenzzahn. Auch hier ist bei 35 % MVC eine breitere Werteverteilung festzustellen. Die Mittelwerte befinden sich (mit Ausnahme von P2-P1, LM bei 10 % MVC) alle im negativen Bereich. Der Vergleich der Werte beider Muskeln zeigt, dass die Mittelwerte beim M. temporalis negativer sind als beim M. masseter.

AL	AI (% MVC), M	MA H1 (μV)	MA H2 (μV)	Diff (μV)	SA (μV)	B (μV)	Max (μV)	Min (μV)	p-Wert
P1-E	10 % MVC, RM	44,88	49,97	-5,08	25,67	112,03	61,70	-50,33	0,38
	35 % MVC, RM	130,48	133,98	-3,50	46,46	200,97	134,03	-66,93	0,74
	10 % MVC, LM	50,08	51,31	-1,23	23,22	105,60	58,93	-46,67	0,82
	35 % MVC, LM	128,35	141,8	-13,45	66,65	303,23	100,77	-202,47	0,38
	10 % MVC, RT	41,32	59,04	-17,72	30,04	90,53	19,43	-71,10	0,02
	35 % MVC, RT	121,06	134,72	-13,65	33,07	128,07	47,00	-81,07	0,08
	10 % MVC, LT	43,2	56,63	-13,43	43,27	188,93	84,10	-104,83	0,18
	35 % MVC, LT	117,23	136,15	-18,92	70,18	331,93	212,50	-119,43	0,24
P1-F	10 % MVC, RM	44,83	48,61	-3,78	29,08	140,77	58,70	-82,07	0,57
	35 % MVC, RM	126,62	127,31	-,69	58,13	265,03	189,63	-75,40	0,96
	10 % MVC, LM	50,07	55,03	-4,96	26,27	118,90	45,60	-73,30	0,41
	35 % MVC, LM	136,15	141,88	-5,73	63,92	264,13	126,47	-137,67	0,69
	10 % MVC, RT	43,57	56,1	-12,52	26,94	110,20	25,00	-85,20	0,05
	35 % MVC, RT	115,89	135,95	-20,06	29,93	109,83	31,70	-78,13	0,007
	10 % MVC, LT	41,34	58,54	-17,19	47,16	199,13	54,90	-144,23	0,12
	35 % MVC, LT	117,13	133,94	-16,80	72,49	324,33	193,30	-131,03	0,31

Tabelle 7: Mittlere Messwerte (in μV) des rechten und linken M. masseter und des rechten und linken M. temporalis bei Aufbisslagen mit dem 1. Prämolar als Referenzzahn

RM = rechter M. masseter, LM = linker M. masseter, RT = rechter M. temporalis, LT = linker M. temporalis, AI = Ausbissintensität, MA H1 = mittlere Muskelaktivität in der 1. Hauptuntersuchung, MA H2 = mittlere Muskelaktivität in der 2. Hauptuntersuchung, SA = Standardabweichung, B = Wertebereich, Max = maximaler Wert der Messdifferenzen, Min = minimaler Wert der Messdifferenzen

Erläuterung zu Aufbisslagen siehe Abkürzungsverzeichnis

In Tabelle 7 sind die Mittelwerte der Messdifferenzen für diagonale Aufbisse auf den ersten Prämolar aufgeführt. Beim Vergleich der Mittelwerte von 10 % MVC und 35 % MVC ist auch hier eine größere Spannweite bei den Werten von 35 % MVC zu erkennen. Alle Mittelwerte liegen sowohl beim M. masseter als auch beim M. temporalis im negativen Bereich, wobei die Werte des M. temporalis deutlich negativer sind.

AL	AI (% MVC), M	MA H1 (μV)	MA H2 (μV)	Diff (μV)	SA (μV)	B (μV)	Max (μV)	Min (μV)	p-Wert
E-F	10 % MVC, RM	45,41	48,60	-3,1917	20,81	104,23	53,87	-50,37	0,5
	35 % MVC, RM	125,61	124,89	,7217	56,08	257,90	175,23	-82,67	0,96
	10 % MVC, LM	45,62	48,52	-2,9067	24,94	108,80	55,80	-53,00	0,61
	35 % MVC, LM	130,29	132,13	-1,8417	58,71	240,03	117,37	-122,67	0,89
	10 % MVC, RT	38,98	55,02	-16,0400	25,26	85,93	16,53	-69,40	0,01
	35 % MVC, RT	112,06	126,46	-14,3967	31,11	130,07	46,77	-83,30	0,05
	10 % MVC, LT	35,94	55,56	-19,6250	39,93	173,43	55,60	-117,83	0,04
	35 % MVC, LT	102,07	125,8	-23,7317	59,03	268,93	147,13	-121,80	0,08

Tabelle 8: Mittlere Messwerte (in μV) des rechten und linken M. masseter und des rechten und linken M. temporalis bei Aufbisslagen mit dem 1. Eckzahn als Referenzzahn

RM = rechter M. masseter, LM = linker M. masseter, RT = rechter M. temporalis, LT = linker M. temporalis, AI = Ausbissintensität, MA H1 = mittlere Muskelaktivität in der 1. Hauptuntersuchung, MA H2 = mittlere Muskelaktivität in der 2. Hauptuntersuchung, SA = Standardabweichung, B = Wertebereich, Max = maximaler Wert der Messdifferenzen, Min = minimaler Wert der Messdifferenzen

Erläuterung zu Aufbisslagen siehe Abkürzungsverzeichnis

Tabelle 8 zeigt die Mittelwerte für die Aufbisslage Eckzahn-Front. Der Wertebereich ist bei 35 % MVC deutlich größer als bei 10 % MVC. Alle Werte liegen im negativen Bereich, einzige Ausnahme besteht beim rechten Masseter bei 35 % MVC, hier liegt der Mittelwert nahe 0. Es ist zu beobachten, dass die Mittelwerte des M. temporalis weiter im negativen Bereich liegen als die des M. masseter.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die mittleren Messwerte in der 2. Hauptuntersuchung bei allen Aufbisspositionen größer sind als in der 1. Hauptuntersuchung. Signifikante Unterschiede zwischen den Werten beider Hauptuntersuchungen sind kaum vorhanden und zeigen sich dann lediglich beim M. temporalis.

5 DISKUSSION

5.1 DISKUSSION DER METHODEN UND DER VERWENDETEN MATERIALIEN

In der vorliegenden Studie sollte - in Abgrenzung zu bisher durchgeführten Studien, die sich fast ausschließlich mit unilateralen und bilateralen Interferenzen befassen - die kurzfristige Wirkung diagonal positionierter okklusaler Veränderungen auf die Aktivität des M. masseter und des M. temporalis bei 20 funktionsgesunden Probanden (Durchschnittsalter 25,2 Jahre) in zwei aufeinanderfolgenden Untersuchungssitzungen analysiert werden. Im Hinblick auf das Studiendesign grenzt sich die Arbeit außerdem von anderen klinischen Studien ab, da submaximale Aufbissaktivitäten unter visueller Feedbackkontrolle durchgeführt wurden und somit kontrollierte Kräfte erzeugt werden konnten. Eine weitere Fragestellung der vorliegenden Studie war, ob die Ergebnisse der elektromyographischen Messungen reproduzierbar sind. Zur Auswertung der Messergebnisse wurden die Aktivitätsquotienten der homonymen Muskeln berechnet und durch zweifaktorielle Varianzanalysen (ANOVA) mit Messwiederholung statistisch ausgewertet. Zur Prüfung der Reliabilität wurden die Intraklassenkoeffizienten (ICC-Werte) sowie die Differenzwerte der mittleren Muskelaktivitäten beider Hauptuntersuchungen gebildet.

Die Studie brachte als Hauptergebnis, dass der M. masseter beim submaximalen Aufbiss auf diagonale okklusale Veränderungen nahezu konstante Aktivitätsverhältnisse lieferte, während sich beim M. temporalis vor allem bei einer Aufbissintensität von 10 % MVC stärkere Schwankungen der Werte darstellten. Für das Aktivitätsverhältnis des M. masseter und des M. temporalis ergaben sich zwischen den unterschiedlichen Aufbissbedingungen keine signifikanten Unterschiede. Insgesamt zeigte sich eine ausgeprägte Streuung der Werte, die mit erhöhter Aufbissintensität abnahm. Hinsichtlich des ICC-Wertes ergab sich eine geringe Reliabilität (mittlerer ICC-Wert des M. masseter: bei 10 % MVC 0,22, bei 35 % MVC 0,23; M. temporalis: bei 10 % MVC 0,22, bei 35 % MVC 0,21). Im Folgenden werden die Untersuchungsmethoden kritisch betrachtet und Limitationen der Studie sowie mögliche Fehlerquellen aufgezeigt.

5.1.1 PROBANDENGRUPPE

Die Probandenauswahl erfolgte nach strengen Kriterien, wobei ein wesentliches Einschlusskriterium das Nichtvorhandensein einer kranio-mandibulären Dysfunktion (CMD) war. Klinische Studien belegen, dass Muskelaktivität des M. masseter und des M.

temporalis bei der maximalen voluntären Kontraktion bei Probanden mit CMD-Symptomatik deutlich niedriger ist als bei beschwerdefreien Probanden (Li et al., 2008; Liu et al., 1999; Santana-Mora et al., 2009). Um eine CMD als möglichen Einflussfaktor auf die Muskelaktivität auszuschließen, wurden unter Berücksichtigung der RDC/TMD-Kriterien ausschließlich funktionsgesunde Probanden rekrutiert. Das Verhältnis von Männern und Frauen war in der Probandengruppe ausgewogen, um den Faktor „Geschlecht“ nicht in die Messergebnisse einfließen zu lassen. Aktuelle klinische Studien liefern uneinheitliche Ergebnisse über den Einfluss des Geschlechts auf die EMG-Aktivität. So stellten die Arbeitsgruppen von Visser und von Moreno fest, dass die EMG-Aktivität bei Männern bei maximalem und submaximalem Aufbiss höher ist als bei Frauen (Moreno et al., 2008; Visser et al., 1995). Manfredini und Ferrario dagegen konnten in Bezug auf Ruheaktivität, maximale Kontraktion und Muskelsymmetrie keine geschlechtsspezifischen Unterschiede ermitteln (Ferrario et al., 2000; Manfredini et al., 2011). Im Hinblick auf die Probandenauswahl ist kritisch zu reflektieren, dass das Probandenkollektiv hauptsächlich aus Studierenden der Zahnmedizin bestand. Es ist denkbar, dass jene Probanden einer größeren Stressbelastung ausgesetzt sind. Einige Versuche wurden am Ende eines Kliniktages durchgeführt, was sich möglicherweise auf die Messwerte ausgewirkt hat. Beispielsweise musste bei einer Probandin die Messung abgebrochen werden, da zu Versuchsbeginn eine zu hohe Ruheaktivität zu verzeichnen war. Es gibt Hinweise darauf, dass der Muskeltonus unter Stress und Angst deutlich erhöht ist und dass vor allem der M. temporalis sehr sensitiv auf diese Umstände reagiert (Riise und Sheikholeslam, 1982). Des Weiteren ist anzumerken, dass in der Probandengruppe ein junges Durchschnittsalter von 25,2 Jahren vorhanden war. In einer klinischen Studie von Alajbeg und Kollegen wurde untersucht, inwieweit das Alter die EMG-Aktivität beim maximalen Aufbiss, bei maximaler Kieferöffnung sowie bei Pro- und Laterotrusionsbewegungen beeinflusst. Es konnte gezeigt werden, dass die EMG-Aktivität beim maximalen Aufbiss bei jungen Probanden (mittleres Alter 27 Jahre) deutlich höher ist als bei älteren bezahnten Probanden (mittleres Alter 61 Jahre) (Alajbeg et al., 2006).

5.1.2 DESIGN DER INTERFERENZEN

Zur Erzeugung der okklusalen Erhöhungen wurden für jeden Probanden individuell angepasste Polykarbonatfolien hergestellt, welche eine diskrete, definierte Veränderung der Okklusion ermöglichten. Des Weiteren war beim Aufbiss stets eine vertikale Distanz von 0,4 mm gesichert, was bei Watterollen aufgrund ihrer weichen Textur nicht zu realisieren ist. Ein weiterer Vorteil der Polykarbonatfolien bot sich durch die Möglichkeit des reversiblen Auf- und Absetzens. Somit konnten unterschiedliche Aufbiss-

konfigurationen simuliert werden, ohne dabei die Zahnhartsubstanz zu schädigen, so wie es bei temporär eingebrachten Füllungen beispielsweise der Fall ist. So wurden in einer klinischen Studie von Sheikholeslam und Riise (1982) durch Insertion einer Amalgamfüllung okklusale Erhöhungen erzeugt, um die Reaktion der Muskulatur auf diese semipermanenten Interferenzen zu analysieren. In der vorliegenden Studie wurden nur kurzfristige okklusale Veränderungen erzeugt. Aufgrund der Verschleißfestigkeit des Materials konnten die Folien mehrfach verwendet werden, so dass eine Reproduzierbarkeit des Aufbisses gegeben war. Kritisch zu betrachten ist, dass durch die strukturierte Oberfläche der Polykarbonatfolien Abhänge erzeugt wurden, welche beim Aufbiss die Kinematik des Unterkiefers potenziell beeinflussten. Dieser kinematische Effekt wurde bei der Messung nicht separat betrachtet und konnte somit nicht kontrolliert werden.

5.1.3 REPRODUZIERBARKEIT

Bei der Versuchsdurchführung wurde ein besonderes Augenmerk auf standardisierte Bedingungen gelegt. Bei der Anwendung von Oberflächenelektromyographie ist es erforderlich, das Messsignal zu standardisieren, um die Messergebnisse unterschiedlicher Messsituationen, Probanden oder Muskeln vergleichen zu können. In einer klinischen Studie beschäftigten sich Botelho und Kollegen mit der MVC-Normalisierung (Botelho et al., 2011). Sie stellten fest, dass bei den Messdaten, die auf die maximale voluntäre Kontraktion normalisiert wurden, geringere Variationskoeffizienten zu verzeichnen waren, als bei den nicht standardisierten Messdaten. Sie kamen daher zu dem Schluss, dass die MVC-Normalisierung eine effektive Methode ist, um Messunterschiede in unterschiedlichen Untersuchungssitzungen und bei unterschiedlichen Probanden zu reduzieren. In der vorliegenden Studie wurde das EMG-Signal auf die maximale voluntäre Kontraktion standardisiert; 10 % MVC und 35 % MVC galten als Äquivalent für „leichtes“ und „festes“ Zubeißen. Mithilfe der visuellen Feedbackkontrolle konnten annähernd konstante Kraftniveaus während des Aufbisses gehalten und somit kontrollierte Aufbissintensitäten durchgeführt werden. Zur Einstellung des visuellen Feedbacks wurden nur die Werte des M. masseter herangezogen.

In einer Studie von Lobbezoo et al. wurde untersucht, inwiefern der Modus des visuellen Feedbacks die Muskelbalance des M. masseter und des M. temporalis bei submaximalem Aufbiss auf eine Stabilisierungsschiene beeinflusst. Dazu wurde das visuelle Feedback durch die Werte des M. masseter, des M. temporalis und durch die Werte beider Muskeln festgelegt. Bei allen drei Einstellungsarten des visuellen Feedbacks zeigte sich beim M. temporalis eine reduzierte Muskelaktivität gegenüber dem M. masseter (Lobbezoo et al.,

1993). Dies lässt den Schluss zu, dass die Einstellungsart des visuellen Feedbacks keinen erheblichen Einfluss auf die Messwerte hat. Die Bildung von Aktivitätsquotienten in der vorliegenden Studie bot den Vorteil, dass Messungen mit unterschiedlicher Referenzseite miteinander verglichen werden konnten und eine Aussage über das Verhältnis der Muskelaktivität beider Seiten getroffen werden konnte. Um auszuschließen, dass Messdifferenzen infolge einer abweichenden Elektrodenlage auftreten, wurde für jeden Probanden eine Schablone angefertigt, auf der die Lage der Elektrodenmittelpunkte in Bezug zur Tragus-Canthus-Linie gekennzeichnet war. Die Übertragung der Elektrodenmittelpunkte mithilfe der Schablone ermöglichte eine identische Elektrodenposition in beiden Hauptuntersuchungen. Da das EMG Signal durch die Aktivität benachbarter Muskeln beeinflusst werden kann, wurde darauf geachtet, dass die Elektroden des M. temporalis möglichst fern der Augenmuskeln angebracht wurden. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass Schwankungen der Messwerte auch durch Interferenzen mit benachbarten Muskeln (z.B. der Augenmuskulatur) zustande kamen.

5.2 STUDIEN ZU VERÄNDERUNG DER STATISCHEN OKKLUSION

In der Literatur liegen bisher nur wenige Informationen über die Wirkung diagonaler Interferenzen vor. Aktuell sind keine Studien mit vergleichbarem Studiendesign vorhanden, sodass im Folgenden auf die Studien, die in ähnlichem thematischem Kontext stehen, eingegangen wird.

MacDonald und Hannam (1984) beschäftigten sich mit den Veränderungen der Muskelaktivität von M. masseter, M. temporalis und M. pterygoideus medialis bei maximalem Aufbiss auf okklusale Interferenzen. Bei insgesamt zehn männlichen Probanden im Alter von 25 bis 44 Jahren wurden 1 mm hohe Aufbisse aus Acrylkunststoff mithilfe von Zinkoxid-Eugenolpaste auf den Zähnen fixiert. Die okklusalen Interferenzen waren so gestaltet, dass die oberen und unteren Zähne gefasst und somit Lateralbewegungen des Unterkiefers unterbunden wurden. Neben uni- und bilateralen Aufbissituationen wurden auch diagonale Interferenzen erzeugt. Dazu wurden die okklusalen Erhöhungen auf Eckzähne und kontralaterale Molaren positioniert. Eine weitere diagonale Aufbissituation ergab sich durch Adaptation der Aufbisserhöhungen auf Eckzahn und Molar einer Seite (= simulierter Gruppenkontakt) und Eckzahn der Gegenseite. Die Probanden wurden gebeten, zehnmal hintereinander zuzubeißen, abwechselnd mit maximaler Kraft und subjektiv empfundener halbmaximaler Kraft. Die Aufzeichnung der Signale des M. masseter und des M. temporalis erfolgte simultan

mittels bipolarer Oberflächenelektroden. Bei sieben Probanden wurde darüber hinaus die Aktivität des *M. pterygoideus medialis* mithilfe von Nadelelektroden erfasst. Die EMG-Signale wurden in Bezug auf die maximale voluntäre Kontraktion normalisiert.

Eine maximale EMG Aktivität aller Muskeln wurde beim Aufbiss in der natürlichen und in der simulierten Interkuspitation (Interferenzen auf bilateralen Molaren, Eckzähnen und Schneidezähnen) erreicht, wobei sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messwerten in der natürlichen Interkuspitation und der simulierten Interkuspitation ergaben. Lediglich der *M. temporalis* zeigte eine signifikante Aktivitätsreduktion in der simulierten Interkuspitation. Beim Aufbiss mit diagonalen Kontakten auf Molar und Eckzahn zeigte sich eine höhere Aktivität aller Muskeln als bei unilateralem Eckzahnaufbiss. Gruppenkontakte mit kontralateralem Molarenkontakt führten zu einem Anstieg der EMG-Aktivität beider Masseteren und des ipsilateralen *M. temporalis* im Vergleich zum unilateralen Gruppenkontakt. Verlagerte sich der Aufbiss von posterior nach anterior, zeigte sich bei allen Muskeln eine Aktivitätsabnahme.

In der vorliegenden Studie zeigte sich, dass die Lage der diagonalen Interferenzen keinen wesentlichen Einfluss auf die Muskelaktivität des *M. masseter* und des *M. temporalis* hat: Vergleicht man den Aufbiss auf M2-M1 mit dem Aufbiss auf E-F (posterior vs. anterior), so ergaben sich für den *M. masseter* in der 1. Hauptuntersuchung beim Aufbiss auf M2-M1 mit 10 % MVC mittlere Messwerte von 44,2 μV und 45,2 μV in der 2. Hauptuntersuchung (die angegebenen Werte ergaben sich hier sowie im Folgenden durch Mittelung der Messwerte der homonymen Muskeln). Beim anterioren Aufbiss auf E-F betrug die Werte bei 10 % MVC in der 1. Hauptuntersuchung 45,52 μV und 48,56 μV in der 2. Hauptuntersuchung. Bei 35 % MVC betrug die mittleren Messwerte beim Aufbiss auf M2-M1 132,72 μV in der 1. Hauptuntersuchung und 129,38 μV in der 2. Hauptuntersuchung. Beim anterioren Aufbiss auf E-F ergaben sich in der 1. Hauptuntersuchung bei 35 % MVC mittlere Messwerte von 127,95 μV und 128,51 μV in der 2. Hauptuntersuchung (siehe Tab. 4 und 8).

Eine teils abnehmende Tendenz der Muskelaktivität zeigte sich beim *M. temporalis*: Hier lagen die Werte der mittleren Muskelaktivität in der 1. Hauptuntersuchung bei 41,14 μV und 51,6 μV in der 2. Hauptuntersuchung, wenn der Aufbiss mit 10 % MVC auf M2-M1 erfolgte. Beim Aufbiss auf E-F ergab sich in der 1. Hauptuntersuchung mittlere Messwerte von 37,46 μV und 55,29 in der 2. Hauptuntersuchung. Bei 35 % MVC betrug die mittleren Messwerte in der 1. Hauptuntersuchung beim Aufbiss auf M2-M1 117,2 μV und 122,5 μV in der 2. Hauptuntersuchung. Beim anterioren Aufbiss auf E-F ergaben sich in

der 1. Hauptuntersuchung bei 35 % MVC mittlere Messwerte von 107 μV und 126,1 μV in der 2. Hauptuntersuchung (siehe Tab. 4 und 8).

Auch die Mediane der Aktivitätsquotienten des M. masseter zeigten bei anteriorer diagonalen Aufbisslage ähnliche Werte wie bei posteriorer Aufbisslage. Sie lagen bei beiden Aufbissintensitäten bei M2-M1 als auch bei E-F leicht unter 1 (siehe Abb. 5 und 12). Für das Aktivitätsverhältnis des M. temporalis zeigten sich Unterschiede: Bei M2-M1 lag der Median bei 10 % MVC deutlich über 1, bei 35 % MVC leicht über 1. Beim Aufbiss auf E-F betrug der Median der Aktivitätsquotienten sowohl bei 10 % MVC als auch bei 35 % MVC etwa 1 (siehe Abb. 6 und 13). MacDonalds und Hannams Schlussfolgerung, dass der M. masseter und der M. temporalis auf okklusale Interferenzen mit uniformen Reaktionsmustern reagieren, konnte in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden: Es zeigten sich bei submaximalen Aufbissaktivitäten ausgeprägte interindividuelle Unterschiede sowie deutliche Streuungen der Messwerte.

Das Studiendesign der vorliegenden Arbeit unterscheidet sich in mehreren Punkten von der Studie von MacDonald und Hannam (1984), sodass ein direkter Vergleich nur bedingt möglich ist. In der vorliegenden Studie wurden ausschließlich diagonale Interferenzen erzeugt, so dass kein Vergleich zu unilateralen Interferenzen gezogen werden konnte. Auch hinsichtlich der Gestaltung der okklusalen Erhöhungen ergeben sich Unterschiede: Die Polykarbonatfolien in der vorliegenden Studie waren durch eine definierte Höhe von 0,4 mm charakterisiert und wurden reversibel auf die Unterkieferzähne aufgesetzt. In der Studie von MacDonald waren die okklusalen Erhöhungen 1 mm hoch, bestanden aus Acrylatkunststoff und fassten auch die antagonistischen Zähne. Ein wesentlicher Unterschied ergibt sich in der Durchführung der Messung, welche in der vorliegenden Studie mit standardisiertem Aufbiss erfolgte. Aufgrund der visuellen Feedbackkontrolle konnten die Probanden das Kraftniveau anpassen, sodass kontrollierte Aufbissaktivitäten durchgeführt wurden. In der Studie von MacDonald und Hannam führten die Probanden neben maximalen Aufbissaktivitäten auch submaximale Aufbisse durch. Dazu wurden sie aufgefordert, nach subjektivem Empfinden halbmaximal zuzubeißen. Das Ausmaß der Kraftentwicklung war somit nicht kontrolliert. Ferner muss erwähnt werden, dass in der vorliegenden Studie lediglich dreimal hintereinander zugebissen wurde, um eine Muskelermüdung und eine dadurch verursachte Verfälschung der Ergebnisse zu vermeiden. Die Stichprobe war mit zwanzig Teilnehmern doppelt so groß und es wurde eine Messwiederholung durchgeführt, um eine Aussage über die Reliabilität der Messwerte treffen zu können. Ein weiterer, nicht zu vernachlässigender Punkt ist das Alter der Studie von MacDonald und Hannam. Zum Zeitpunkt der Durchführung wurden analoge Messwert-Erfassungssysteme verwendet, die sich im Laufe der Jahre deutlich

weiterentwickelt haben, sodass sich die damalige Messtechnik mit der heutigen nicht mehr direkt vergleichen lässt.

In einer anderen klinischen Studie aus dem Jahr 2000 beschäftigten sich Baba und Kollegen mit der Fragestellung, wie sich okklusale Veränderungen auf die elektromyographische Aktivität der Kaumuskulatur sowie auf Bewegungen des Unterkiefers unter submaximalen Aufbisskräften auswirken. Die Probandengruppe bestand aus sieben männlichen, funktionsgesunden Probanden im Alter zwischen 24 und 29 Jahren. Individuell für die Probanden hergestellte Acrylataufbisse wurden auf die Zähne des Unterkiefers adaptiert, um unterschiedliche Aufbissituationen zu simulieren. Die Aufbisse wurden dafür unilateral auf den ersten Prämolaren, unilateral auf den ersten Molaren, bilateral auf beide Zähne, bilateral auf die ersten Prämolaren, bilateral auf die ersten Molaren und bilateral auf alle vier Zähne platziert. Durch die Insertion der Interferenzen wurde eine Disklusion im Frontzahnbereich von 2 mm geschaffen. Mithilfe von Differenztransformatoren wurden sensorgesteuert die Vertikalbewegungen des Unterkiefers aufgezeichnet. Simultan wurde die Muskelaktivität des M. masseter und des M. temporalis erfasst. Zur Anwendung kamen bipolare Oberflächenelektroden mit einem Interelektrodenabstand von 15 mm. Wie auch in der vorliegenden Studie wurden die Aufbissaktivitäten unter visuellem Feedback durchgeführt. Die Probanden wurden aufgefordert, die Augen zu schließen und die Zähne mit entspannter Muskulatur in leichten Kontakt zu bringen, um anschließend unterschiedliche Aufbissintensitäten auszuüben. Die erste Aufgabe bestand darin, in der Interkuspitationsposition maximal zuzubeißen. Anschließend wurde unter submaximalen Kraftbedingungen (50 % der maximalen voluntären Kontraktion) für drei Sekunden zugebissen. Für jede der sechs Aufbissituationen wurde dies dreimal hintereinander wiederholt.

Wie bei MacDonald und Hannam (1984) zeigten sich auch in dieser Studie keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Aufbiss in der natürlichen Interkuspitation und in einer simulierten Interkuspitation mit vier bilateral platzierten Acrylaufbissen. Im Hinblick auf die Asymmetrieindexwerte konnten beim M. temporalis bei allen sechs Aufbisspositionen signifikante Unterschiede festgestellt werden. Ferner wurde festgestellt, dass ein unilateraler Aufbiss mit einer Aktivitätssteigerung des ipsilateralen M. temporalis anterior verbunden war, während sich bei bilateralen Aufbissveränderungen keine signifikanten Unterschiede ergaben. Dies ließ die Annahme zu, dass eine einseitige Interferenz die Muskelaktivität des M. temporalis anterior stärker beeinflusst. Die Arbeitsgruppe von Baba wies jedoch darauf hin, dass die okklusalen Veränderungen nur für einen kurzen Zeitraum erzeugt wurden und somit keine Aussage über langfristige Folgen getroffen werden konnte. Da in der Studie lediglich einseitige und beidseitig

transversale okklusale Erhöhungen erzeugt wurden, kann kein direkter Vergleich zur vorliegenden Studie angestellt werden. Ein weiterer Aspekt, den es zu beachten gilt, ist die unterschiedliche Berechnungsgrundlage für die Werte der Muskelaktivität. In der vorliegenden Studie wurden Muskelaktivitätsquotienten gebildet, die sich aus der Muskelaktivität der Referenzseite zur Muskelaktivität der Gegenseite bildeten. Bei Baba und Kollegen (2000) wurden die Aktivitäten beider Seiten getrennt erfasst. Obgleich beide Studien einen unterschiedlichen Fokus hatten (die Arbeitsgruppe von Baba konzentrierte sich hauptsächlich auf den Zusammenhang zwischen eingebrachter Interferenz und Unterkieferbewegung), so geht dennoch aus beiden Studien hervor, dass der M. temporalis sensitiver auf okklusale Veränderungen reagiert: In der vorliegenden Studie konnte dies vor allem anhand der Mediane der Muskelaktivitätsquotienten ausgemacht werden, die beim M. temporalis bei unterschiedlichen Aufbisspositionen deutlicher voneinander abwichen als beim M. masseter. Auch die Streubreite der Aktivitätsquotientenwerte war beim M. temporalis erheblich größer. Des Weiteren zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den mittleren Muskelaktivitäten der ersten und zweiten Hauptuntersuchung ausschließlich beim M. temporalis.

Die Arbeitsgruppe von Wang (2009) untersuchte bei 47 Probanden die Muskelaktivität bei maximalem Aufbiss in zentrischer Unterkieferposition auf uni- und bilateral zwischen den Zahnreihen interponierten Watterollen. Sechs unterschiedliche Aufbissituationen ergaben sich durch Platzierung der Watterollen auf die bilateralen Molaren, auf die bilateralen Prämolaren, sowie unilateral auf die Molaren rechts und links und unilateral auf die Prämolaren rechts und links. Die Probanden wurden aufgefordert, in zentrischer Unterkieferposition maximal zuzubeißen und die Kraft zu halten. Nach einer Ruhepause von einer Minute wurde die Übung wiederholt. Zwischen den einzelnen Aufbissaktivitäten lag eine Pause von fünf Minuten, um Muskelermüdung zu vermeiden. Die Aufzeichnung der elektrischen Signale des M. masseter und M. temporalis erfolgte bilateral mithilfe von Oberflächenelektroden.

Geschlechts- und Seitenunterschiede konnten nicht festgestellt werden. Wenn sich der Aufbiss von bilateral nach unilateral verlagerte, nahm die Aktivität des M. masseter beidseits ab. Die Aktivität des M. temporalis reduzierte sich nur auf der Balanceseite, während die Aktivität auf der Arbeitsseite nahezu unverändert blieb. Bei bilateralem Prämolaren-aufbiss war die Aktivität des M. masseter signifikant höher als die des M. temporalis, wohingegen sich die Aktivitäten bei bilateralem Molaren-aufbiss nicht signifikant unterschieden. Eine Veränderung des Aufbisses von den Molaren zu den Prämolaren war mit einer signifikanten Abnahme der Muskelaktivität des M. temporalis verbunden. Eine leichte, nicht signifikante Aktivitätsabnahme war auch beim M. masseter

zu beobachten. Die Arbeitsgruppe erklärte diesen Effekt damit, dass die Lokalisation der Interferenzen unterschiedliche Auswirkungen auf eine stabile Unterkieferposition hat und dass der M. masseter und M. temporalis dabei kompensatorisch wirken. Sie bezogen sich dabei auf eine Studie von Kozawa und Kollegen (2003), die feststellten, dass für die Stabilität des Unterkiefers eine okklusale Abstützung im posterioren Bereich wichtiger ist als im anterioren Bereich und dass eine mangelnde posteriore okklusale Abstützung zu einer Verlagerung des Kondylus führen könnte. Um dieser entgegenzuwirken und die instabile Position zu kompensieren, reagieren die Kieferheber mit einer Aktivitätsabnahme.

In der vorliegenden Studie konnten solche Reaktionen nur teilweise beobachtet werden. Die mittleren Muskelaktivitäten des M. masseter reduzierten sich auch nur leicht bzw. blieben annähernd konstant, wenn sich der diagonale Aufbiss von den Molaren (M2-M1) auf die Prämolaren (P1-E) verlagerte. Für den M. temporalis offenbarte sich jedoch bei beiden submaximalen Aufbissintensitäten eine leichte Aktivitätszunahme, was im Gegensatz zu den Ergebnissen von Wang steht. Was aus beiden Studien jedoch deutlich hervorgeht, ist die unterschiedliche Reaktion des M. masseter und M. temporalis auf Veränderungen in der statischen Okklusion. Die teilweise unterschiedlichen Ergebnisse beider Studien lassen sich durch mehrere Aspekte erklären: In der vorliegenden Studie wurden zur Erzeugung der okklusalen Interferenzen Polykarbonatfolien verwendet, welche im Gegensatz zu Watterollen eine harte und nicht nachgiebige Oberfläche aufweisen, sodass beim Aufbiss stets eine konstante vertikale Distanz aufrecht erhalten werden konnte. Es ist wahrscheinlich, dass sie beim Aufbiss eine andere Kraftverteilung auf die Zähne und umliegenden Strukturen erlauben, als es bei weichen und nachgiebigen Watterollen der Fall ist. Ein weiterer, wesentlicher Unterschied zur vorliegenden Studie besteht in der Konfiguration der Aufbisse: Wang und Kollegen erzeugten ausschließlich einseitig und beidseitig transversale Aufbisse im Bereich der Prämolaren und Molaren, während in der vorliegenden Studie diagonale Aufbisskonfigurationen simuliert wurden. Zudem erfolgten die Aufbissaktivitäten in der vorliegenden Studie nicht mit maximaler, sondern mit 10 % bzw. 35 % der voluntären Kontraktion.

Forrester und Mitarbeiter (2010) beschäftigten sich mit dem Einfluss von okklusalen Veränderungen auf die neuromuskuläre Funktion und die Koordinationsmuster des M. masseter, M. digastricus, M. trapezius und M. sternocleidomastoideus. Bei 41 gesunden, vollbezahnten Probanden (davon 32 Männer und 9 Frauen) wurde die elektromyographische Aktivität der genannten Muskeln bei insgesamt neun unterschiedlichen Aufbissbedingungen aufgezeichnet. Zugebissen wurde in der Interkuspidationsposition,

mit beidseitig zwischen den Ober- und Unterkiefermolaren interponierten Watterollen, auf einen anterior positionierten Aufbissstop (Lucia Jig) sowie auf Zungenspatel aus Holz. Die Probanden wurden aufgefordert, für drei Sekunden mit maximaler voluntärer Kontraktion zuzubeißen und die Kraft für drei Sekunden zu halten. Nach einer kurzen Entspannungspause wurde dies erneut durchgeführt. Für die Datenanalyse wurde die Messung mit dem maximalen EMG-Signal herangezogen. Die Registrierung der elektrischen Signale erfolgte mithilfe von bipolaren Oberflächenelektroden, die nach Palpation der Muskulatur auf den Muskelbäuchen angebracht und mit chirurgischen Heftpflastern fixiert wurden.

Die größte Aktivität konnte bei beidseitig posteriorer Abstützung gemessen werden, unter der Voraussetzung, dass sich der Unterkiefer in zentraler Position befindet. Die niedrigste Aktivität war beim anterioren Aufbiss auf Holzspatel und Aufbissblock zu verzeichnen. Beim bilateralen Aufbiss auf Watterollen war die Aktivität des M. masseter größer als beim Aufbiss in der habituellen Interkuspitation, während sich die Aktivität des M. temporalis verringerte. Der Aufbiss auf Watterollen in zentrischer Unterkieferposition lieferte die niedrigsten Gruppenvarianzen. Die Arbeitsgruppe von Forrester schlussfolgerte daraus, dass der Aufbiss auf eine weiche Oberfläche zu repräsentativeren Messergebnissen führt und dass der Aufbiss auf Watterollen demnach die geeignetste Methode zur neuromuskulären Funktionsanalyse darstellt. Ein Vorschub des Unterkiefers hatte eine Verringerung der Aktivität und einen verminderten Symmetriegrad zu Folge. Der Symmetriekoeffizient POC, Torquekoeffizient TC und Antero-Posterior-Koeffizient APC nahmen auch ab, wenn sich der Aufbiss von posterior nach anterior verlagerte. Dieser Befund ließ vermuten, dass eine symmetrische Rekrutierung der Muskulatur beim anterioren Aufbiss eine größere Herausforderung bedeutet.

Da in der vorliegenden Studie submaximale Aufbissaktivitäten durchgeführt wurden und Polykarbonatfolien in diagonaler Konfiguration auf die Zähne aufgesetzt wurden, kann nur bedingt ein Vergleich zur Studie von Forrester angestellt werden. Auffallend bei den hier dargestellten Ergebnissen ist, dass die Muskelsymmetrie beim festen Aufbiss mit 35 % MVC bei nahezu allen Aufbisspositionen größer war als beim leichten Aufbiss mit 10 % MVC: Hier lagen die Mediane der Aktivitätsquotienten beim M. masseter und M. temporalis im Bereich von 1 (entspricht einer ausgeglichenen Muskelaktivität auf beiden Seiten). Beim leichten Aufbiss zeigten sich beim M. masseter hauptsächlich Werte < 1 (Muskelaktivität Referenzseite kleiner als auf der Gegenseite), beim M. temporalis ergaben sich Werte > 1 (Muskelaktivität Referenzseite größer als auf Gegenseite) (vgl. Abb. 5-12). Es lässt sich also mutmaßen, dass eine symmetrische Muskelkontraktion bei leichtem Aufbiss schwieriger zu vollbringen ist als bei festem Aufbiss.

5.3 STUDIEN ÜBER DEN ZUSAMMENHANG ZWISCHEN EXPERIMENTELL ERZEUGTEN INTERFERENZEN UND DEM AUFTRETEN VON KRANIOMANDIBULÄREN DYSFUNKTIONEN

Im Kausystem nimmt die Okklusion eine bedeutende Rolle ein, da sie zwischen den beteiligten Komponenten als Bindeglied agiert und ein funktionelles und koordiniertes Zusammenspiel ermöglicht. In der Vergangenheit wurden mehrere Arbeiten publiziert, die sich mit dem Zusammenhang zwischen okklusalen Interferenzen und dem Auftreten von kraniomandibulären Dysfunktionen beschäftigten.

Sheikholeslam und Riise (1982) untersuchten den Einfluss einer iatrogen erzeugten Interferenz auf die Ruheaktivität des M. masseter und M. temporalis. Bei elf vollbezahnten, funktionsgesunden männlichen Probanden im Alter von 24 bis 32 Jahren wurde auf dem distobukkalen Höcker des rechten ersten oberen Molaren eine rund 0,5 mm hohe Amalgamfüllung angebracht. Die Aufzeichnung der Muskelaktivität des M. masseter erfolgte vor sowie eine Stunde, 48 Stunden und eine Woche nach Eingliederung und nach Entfernung der Amalgamfüllung. Um die muskulären Reaktionen zu untersuchen, wurde Oberflächenelektromyographie angewandt. Dafür wurden bipolare Oberflächenelektroden mit einem Interelektrodenabstand von 10 mm zentral auf den Muskelbäuchen angebracht. Es ließ sich beobachten, dass die künstlich erzeugte Interferenz die nahezu symmetrischen Aktivitätsmuster der Muskulatur beeinflusste. Dies zeigte sich bei zwei Probanden bereits eine Stunde nach Insertion in Form einer einseitigen Hyperaktivität des M. temporalis, bei vier Probanden äußerte sich diese auch im Bereich des M. masseter. Ferner entwickelten innerhalb der ersten zwölf Stunden sieben der elf Probanden Zeichen einer kraniomandibulären Dysfunktion, die sich in Form von Muskelschmerzen und Verspannungen äußerten. Nach 48 Stunden imponierte eine weitere Zunahme der Temporalisaktivität und auch der M. masseter zeigte beim submaximalen Aufbiss eine signifikante Hyperaktivität. Sobald die Probanden dazu aufgefordert wurden, die Zähne außer Kontakt zu nehmen, war diese Hyperaktivität nicht mehr feststellbar. Nach Entfernen der Interferenz dauerte es etwa eine Woche, bis die Probanden wieder an die ursprüngliche Situation adaptierten und ein symmetrisches Aktivitätsmuster zu erkennen war. Die Studiengruppe von Sheikholeslam interpretierte die Hyperaktivität als das Ergebnis eines positiven Feedbacks an die Motoneuronen durch eine veränderte Stimulation von Parodontalrezeptoren, die durch die okklusale Interferenz herbeigerufen wurde. Eine okklusale Interferenz könnte somit langfristig zu einer strukturellen Adaptation führen, die mit Zahnwanderungen, muskulären Reaktionen und

Remodellierungsprozessen im Kiefergelenk einhergeht und funktionelle Beeinträchtigungen zur Folge hätte.

In einer weiteren Studie befasste sich die Arbeitsgruppe von Sheikholeslam und Riise (1983) mit den kurzzeitigen Veränderungen der Aktivitätsmuster des M. masseter und des M. temporalis bei maximalem und submaximalem Aufbiss aus der Interkuspurationsposition auf eine Amalgamfüllung. Die Gestaltung und Positionierung der okklusalen Interferenz erfolgte wie in der vorherigen Studie. Es wurden ein submaximaler Aufbiss in der Interkuspurationsposition mit rund 20 % der maximalen voluntären Kontraktion sowie ein maximaler Aufbiss durchgeführt. Simultan wurden die elektromyographischen Signale des M. masseter und des M. temporalis mithilfe von bipolaren Oberflächen Elektroden aufgezeichnet. Die elektromyographischen Untersuchungen wurden analog zur vorherigen Studie vor der Insertion sowie eine Stunde, 48 Stunden und eine Woche nach Entfernen der Interferenz durchgeführt. Nach weniger als zwölf Stunden zeigten acht der elf Probanden erste Anzeichen einer CMD-Symptomatik. Die Beschwerden verschwanden unmittelbar nach Entfernen der Amalgamfüllung. Bei vier Probanden jedoch blieben die Symptome nach Elimination der Interferenz für eine Woche bestehen. Die Analyse der elektromyographischen Daten zeigte, dass die zuvor nahezu symmetrischen Aktivitätsmuster durch die Interferenz beeinflusst wurden. Ferner zeigte sich beim maximalen Aufbiss in der Interkuspurationsposition eine Reduktion der Aktivität beider Mm. masseteres und Mm. temporales. 48 Stunden nach Insertion zeigten sieben Probanden beim submaximalen Aufbiss veränderte Koordinations- und Symmetriemuster im Bereich des M. temporalis, bei drei Probanden zeigte sich dieser Befund auch beim M. masseter. Unmittelbar nach Einschleifen der Interferenz stellten sich wieder symmetrische Aktivitätsverhältnisse ein und die Aktivität bei maximalem Aufbiss nahm wieder zu. Innerhalb von vier Wochen nach Entfernen der Interferenz konnten wieder ähnliche Werte verzeichnet werden wie vor Insertion der Amalgamfüllung.

Die Quintessenz der Studie war, dass eine singuläre Interferenz die zuvor symmetrischen Aktivitätsmuster des M. masseter und M. temporalis verändern kann, was sich vor allem beim M. temporalis zeigte. Sheikholeslam und Riise vermuteten, dass bei der neuen Okklusionssituation andere Parodontalrezeptoren stimuliert werden als zuvor, was mit einem veränderten Feedback an Motoneurone und höher gelegene Zentren einhergeht. In der vorliegenden Studie wurden ebenfalls submaximale Aufbissaktivitäten durchgeführt, die jedoch nur über einen kurzen Zeitraum erzeugt wurden. Die Beobachtung, dass der M. temporalis sensitiver auf okklusale Veränderungen reagiert, konnte dennoch gemacht werden. Diese waren besonders bei leichter Aufbissintensität (10 % MVC) zu

verzeichnen. Ein Aspekt, der auch bei den Studien von Sheikholeslam zu beachten ist, betrifft das Alter der Studien. Aufgrund der veralteten Messverfahren können die Ergebnisse mit denen der vorliegenden Studie nur bedingt verglichen werden.

Die Arbeitsgruppe von Le Bell (2002) beschäftigte sich mit der Fragestellung, ob künstlich erzeugte okklusale Veränderungen bei beschwerdefreien Probanden mit einer CMD Vorgeschichte eine erneute Entstehung von Symptomen fördern. Insgesamt nahmen 47 weibliche, beschwerdefreie Probanden im Alter zwischen 19 und 42 Jahren an der Studie teil. Das Probandenkollektiv teilte sich in zwei Gruppen: Eine Gruppe bestand ausschließlich aus Personen ohne CMD-Beschwerden in der Vergangenheit. Bei allen Probanden wurden bestehende okklusale Interferenzen durch Einschleifmaßnahmen beseitigt, so dass sich die Kondylen in retraler Position befanden. Nach drei bis sechs Monaten wurden die Probanden randomisiert in eine wahre Interventionsgruppe und in eine Placebointerventionsgruppe eingeteilt. Die Probanden der anderen Gruppe wiesen eine CMD-Vorgeschichte auf und wurden bereits wegen Kaumuskelbeschwerden behandelt. Auch hier wurden die Probanden gleichermaßen in zwei Gruppen eingeteilt. Bei allen der wahren Interventionsgruppen zugehörigen Probanden wurde eine okklusale Interferenz erzeugt, indem Komposit auf den zweiten oberen Molaren aufgetragen wurde. Bei den Kontrollgruppen wurde diese Maßnahme lediglich simuliert.

Nach zwei Wochen wurden die okklusalen Interferenzen durch Einschleifen wieder entfernt, in den Kontrollgruppen wurde dies vorgetäuscht. Anschließend wurde in einer Untersuchung das Vorhandensein objektiver, durch den Behandler feststellbare Symptome (u.a. Unterkieferbeweglichkeit, Druckdolenz bei Palpation der Kiefermuskulatur, veränderte Kieferöffnung) und vom Patienten angegebene, subjektive Symptome (u.a. Bruxismus, Kieferklemme, Kiefergelenkgeräusche) überprüft. Am stärksten ausgeprägt waren die Befunde in der wahren Interventionsgruppe mit einer CMD-Vorgeschichte. Hier zeigten alle Probanden bei der Überprüfung der objektiven Befunde ein Rezidiv. Le Bell et al. gaben als mögliche Begründung an, dass durch die erzeugte Interferenz ein Abgleiten in die alte Interkuspidation und somit ein Rückfall in alte Schmerzmuster herbeigeführt wurde. Hinsichtlich der objektiven Symptome zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe „CMD-Vorgeschichte + künstliche Interferenzen“, der Gruppe „CMD-Vorgeschichte + Placebo“ und der Gruppe „fehlende CMD-Vorgeschichte + künstliche Interferenz“. Bei dem Probandenkollektiv ohne CMD-Vorgeschichte zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe. Dieser Befund spricht dafür, dass bei diesen Patienten beide Kieferpositionen beschwerdefrei adaptiert werden können.

Michelotti und Kollegen (2005) untersuchten in einer doppelblinden Studie, ob eine okklusale Interferenz die Entstehung einer CMD fördert. Bei 11 gesunden weiblichen Probanden wurde eine rund 0,25 mm dicke Goldfolie entweder auf die okklusale Fläche des ersten unteren Molaren der bevorzugten Kauseite (aktive Interferenz) oder auf die vestibuläre Fläche (Dummy-Interferenz) adaptiert und für die Dauer von 8 Tagen belassen. Die wahre Interferenz veränderte lediglich die statische Okklusion, die dynamische Okklusion wurde nicht beeinträchtigt. Die Signale des ipsilateralen M. masseter wurden in den Zeiträumen mit Dummy-Interferenz, aktiver Interferenz und ohne Interferenz mithilfe eines portablen EMG-Geräts aufgezeichnet. Es ließ sich feststellen, dass die aktiven Interferenzen signifikant niedrigere Aktivitätsperioden mit geringerer Amplitude produzierten als die Dummy-Interferenzen. Bei höheren MVC-Werten (20-40 % MVC) trat dieser Effekt verstärkt auf. Michelotti et al. erklärten diesen Befund mit einer Schonhaltung des Organismus um eine Schädigung beteiligter Strukturen zu vermeiden, da höhere Kontraktionslevel mit einer größeren Krafteinwirkung auf Zähne und Gewebe einhergehen. Ferner war zu beobachten, dass die Aktivitätsperioden drei Tage nach Eingliederung der aktiven Interferenz wieder anstiegen, was eine Adaptation an die veränderte Okklusion vermuten ließ.

Das Ziel der Studie von Li et al. (2008) war, die muskulären Reaktionen auf eine okklusale Interferenz zu untersuchen und zu prüfen, ob ein Zusammenhang zwischen Veränderungen der Muskelaktivität und Auftreten von CMD-Symptomen besteht. Sechs beschwerdefreie Probanden (Durchschnittsalter 22,5 Jahre) nahmen an der Studie teil. Ein etwa 0,5 mm hohes Chrom-Nickel-Onlay wurde auf dem unteren ersten Molar der rechten Seite zementiert und blieb für sechs Tage bestehen. Die Erfassung der elektromyographischen Aktivität der bilateralen Mm. masseteres und Mm. temporales erfolgte vor Eingliederung, am dritten und sechsten Tag sowie nach Entfernen des Onlays. Die Probanden wurden zudem gebeten, während des gesamten Zeitraums ihre Beschwerden zu protokollieren und das Ausmaß der Symptome auf einer Schmerzkurve einzutragen. Alle Probanden zeigten Anzeichen einer CMD mit teilweise unterschiedlichen Symptomausprägungen. Die mittlere Schmerz-Zeit-Kurve verlief ansteigend mit einem Maximum am dritten Tag und nahm dann einen wieder abfallenden Verlauf. Ferner gaben alle Probanden an, unter einseitigen Kopfschmerzen im Bereich des rechten M. temporalis anterior zu leiden, welche am dritten Tag am stärksten ausgeprägt waren. Elektromyographisch zeigte sich eine signifikante Zunahme der Ruheaktivität des ipsilateralen M. temporalis. Die Aktivität bei der maximalen voluntären Kontraktion war am dritten und am sechsten Tag mit Onlay signifikant reduziert. Des Weiteren war ein signifikanter Anstieg des Asymmetrieindex der bilateralen Mm. temporales zu

beobachten. Nach Entfernen des Onlays verschwanden alle Beschwerden innerhalb einer Woche. Die Ergebnisse der Studie ließen die Annahme zu, dass durch okklusale Interferenzen verursachte Veränderungen der Muskelaktivität die Entstehung von CMD-Symptomen, insbesondere Spannungskopfschmerzen, begünstigen können.

Die Studie von Lauriti et al. (2014) befasste sich mit dem Einfluss von CMD auf die Muskelaktivität des M. masseter und des M. temporalis. Außerdem wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen Muskelaktivität und Anzahl an Kontaktpunkten besteht. Das Probandenkollektiv gliederte sich in drei Gruppen (keine CMD, milde CMD, moderate bis schwere CMD), insgesamt nahmen 81 Teilnehmer (davon 42 Männer und 39 Frauen) im Alter zwischen 14 bis 18 Jahren an der Studie teil. Zur Einstufung der CMD wurde der Helkimo Index herangezogen. Mithilfe von Karbonfolie wurden die Kontaktpunkte markiert und in ein Okklusogramm eingetragen. Die Erhebung der elektromyographischen Messwerte der beidseitigen Mm. masseteres und Mm. temporales erfolgte unter Ruhebedingungen, während des Kauens und unter maximaler voluntärer Kontraktion. Zu beobachten war, dass die Ruheaktivität des rechten und linken M. masseter und M. temporalis in der Probandengruppe „moderate CMD“ signifikant höher war als in den anderen beiden Gruppen. Für die Muskelaktivität bei maximaler voluntärer Kontraktion und bei simuliertem Kauvorgang ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Ferner ließ sich feststellen, dass die Anzahl an Kontaktpunkten durch Veränderungen der Muskelaktivität nicht beeinflusst wird.

5.4 INTERPRETATION

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie machen deutlich, dass der M. masseter und M. temporalis in unterschiedlicher Art und Weise auf Veränderungen der Okklusion reagieren. Anhand der bestimmten Muskelaktivitätsquotienten wurde ersichtlich, dass beim M. masseter bei nahezu allen Aufbisslagen eine ausgeglichene Aktivität vorlag. In der verfügbaren Literatur wurde bereits darüber berichtet, dass eine balancierte EMG-Aktivität des M. masseter zur Kompensation einer instabilen Unterkieferposition vorteilhaft sein könnte (Baba et al., 2000). In der vorliegenden Studie wurden bei den Messungen etwaige Lageveränderungen des Unterkiefers nicht analysiert, obwohl es vorstellbar ist, dass die Beschaffenheit der Polykarbonatfolien Abhänge verschaffte, die ein Gleiten des Unterkiefers in eine instabile Position nach sich zogen. Allerdings könnten bereits die nahezu gleichbleibenden Aktivitäten bei allen simulierten Aufbisskonfigurationen auf eine ausgleichende und ausbalancierende Funktion des M. masseter hinweisen. Auch Li und

Kollegen vermuteten einen kompensatorischen Effekt des M. masseter bei unilateralen semipermanenten Interferenzen. Zusätzlich stellten sie in diesem Zusammenhang beim M. masseter niedrigere Asymmetrieindexwerte fest (Li et al., 2008). Die in der vorliegenden Studie bestimmten Muskelaktivitätsquotienten des M. temporalis wiesen ebenfalls auf ein Ungleichgewicht der Muskelaktivität bei diagonalen Aufbiss erhöhungen hin. Vor allem beim Aufbiss mit 10 % MVC zeigten die überwiegend über 1 liegenden Quotientenwerte, dass bei fast allen Aufbisspositionen eine höhere Muskelaktivität auf der Referenzseite vorlag als auf der Gegenseite. Da der M. temporalis bei submaximalen Aufbisskräften offenbar sensitiver auf okklusale Interferenzen reagiert als der M. masseter, kann vermutet werden, dass er die Funktion der Feinabstimmung übernimmt, um seine motorische Funktion optimal an die veränderte Situation anzupassen. Im Gegensatz dazu steht der M. masseter mit kaum abweichenden Aktivitäten, der möglicherweise eine protektive Funktion erfüllt, die Aktivitätsschwankungen des M. temporalis kompensiert und abgesehen davon hauptsächlich als Kraftmuskel fungiert.

Ein weiterer Aspekt, der zu diskutieren ist, ist die große Spannweite der Messwerte, die sich mit erhöhter Aufbissintensität noch ausgeprägter darstellte. Dies weist auf eine hohe Variabilität der Reaktionsmuster der Probanden bei veränderten Aufbissbedingungen hin. Somit kann nicht von standardisierten Reaktionsweisen der Muskulatur ausgegangen werden, deren Auftreten MacDonald et al. 1984 aus den Ergebnissen ihrer Studie ableiteten. Aufgrund der ausgeprägten intraindividuellen Schwankungen der Messwerte fielen die ICC-Werte niedrig aus, was auf eine geringe Reliabilität der Messwerte hindeutete. Eine mögliche Erklärung für die abweichenden Messwerte beider Hauptuntersuchungen könnte ein Trainingseffekt sein, der durch die wiederholten Messungen eintrat. Es ist denkbar, dass die Kaumuskeln bei der zweiten Messung eine niedrigere Aktivität aufbringen mussten, um die gleiche „Aufgabe“ wie in der ersten Messuntersuchung zu absolvieren. Gegen einen Trainingseffekt spricht allerdings, dass die Mittelwerte der Differenzwerte beider Hauptuntersuchungen überwiegend im negativen Bereich liegen, was bedeutet, dass in der 2. Hauptuntersuchung insgesamt eine höhere Aktivität aufgebracht wurde als in der 1. Hauptuntersuchung. Dieser Sachverhalt könnte auch vermuten lassen, dass die Probanden in der 2. Hauptuntersuchung höhere Aktivitäten erzeugten, weil die Situation für sie nicht mehr unbekannt und neu war („Schonverhalten“ in der ersten Hauptuntersuchung). Zu beachten ist, dass anhand der Mittelwerte nur ein Rückschluss auf die Werteveränderungen innerhalb der gesamten Probandengruppe getroffen und nicht beurteilt werden kann, inwiefern sich die Werte der ersten und zweiten Hauptuntersuchung beim einzelnen Probanden unterscheiden. Aufgrund der erhöhten

Aktivitätsmittelwerte in der zweiten Untersuchungssitzung muss also in Betracht gezogen werden, dass ein Trainingseffekt je nach Bedingung auch unterschiedlich ausfallen kann. In der vorliegenden Studie wurden die Probanden aufgefordert, aus der habituellen Interkuspitation heraus mit einer standardisierten Aufbissintensität dreimal hintereinander für zwei Sekunden zuzubeißen, es wurden also Provokationsübungen durchgeführt. Darauf reagierte die Muskulatur bei der zweiten Hauptuntersuchung mit einer Aktivitätszunahme. Dieser Anstieg der Muskelaktivität kann so interpretiert werden, dass die Muskulatur auf die geforderte motorische Aufgabe mit einer erhöhten Steifigkeit reagiert, woraus eine höhere Aktivität resultiert.

Gegensätzliche Ergebnisse lieferte eine Studie von Hellmann und Kollegen aus dem Jahr 2011. Es wurde an zwanzig funktionsgesunden Probanden untersucht, ob die Kaumuskulatur auf wiederholte motorische Übungen mit einem Trainingseffekt reagiert. In drei Untersuchungssitzungen wurde die elektromyographische Aktivität des M. masseter und des M. temporalis beim uni- und bilateralen maximalen Zubeißen auf Watterollen, bei Kauübungen sowie bei koordinativen Übungen mit einem hydrostatischen Aufbissbehelf gemessen. Bei den Koordinationsübungen konnte ein Langzeittrainingseffekt beobachtet werden, der sich in Form einer Aktivitätsreduktion von 20-40 % bezogen auf die Ausgangsmessung darstellte. Somit konnte gezeigt werden, dass durch wiederholte koordinative Übungen motorische Adaptionen eintreten, die in einer Veränderung des neuromuskulären Funktionsmusters begründet sind (Hellmann et al., 2011). Eine mögliche Erklärung für die von denen der vorliegenden Studie abweichenden Ergebnisse, die ja eine Aktivitätszunahme zeigten, ist das unterschiedliche Anforderungsprofil der Aufbissaktivitäten. Hellmann und Kollegen ließen Koordinationsübungen durchführen, die das neuromuskuläre System dazu veranlassten, den Unterkiefer in Balance zu halten. In der vorliegenden Studie erfolgten dagegen ausschließlich Provokationsübungen. Somit können sich bei der Kaumuskulatur Trainingseffekte abhängig von der zu erbringenden motorischen Aufgabe unterschiedlich darstellen.

6 SCHLUSSFOLGERUNG

In der vorliegenden Studie wurden die muskulären Reaktionen des M. masseter und M. temporalis auf diagonal positionierte okklusale Veränderungen mit einer definierten vertikalen Höhe von 0,4 mm untersucht. Dazu wurden in zwei aufeinanderfolgenden Untersuchungssitzungen unterschiedliche Aufbissituationen simuliert und simultan die elektromyographische Aktivität des M. masseter und M. temporalis erfasst. Die wesentlichen Unterschiede zu anderen Studien ergeben sich durch die Position und die definierte vertikale Höhe der Interferenzen. Des Weiteren grenzt sie sich von anderen Untersuchungen dadurch ab, dass nicht maximale, sondern submaximale Aufbissintensitäten ausgeübt wurden, die mithilfe eines visuellen Feedbacks kontrolliert wurden. Die Studie lieferte als Hauptergebnis, dass der M. masseter auf unterschiedliche okklusale Interferenzen mit konstanten Aktivitätsverhältnissen reagierte. Im Gegensatz dazu ergaben sich beim M. temporalis größere Schwankungen der Werte, was vor allem bei 10 % MVC zu beobachten war. Insgesamt war bei beiden Muskeln eine ausgeprägte Streuung der Werte vorhanden, welche jedoch bei erhöhter Aufbissintensität geringeren Ausmaßes war. Die großen intra- und interindividuellen Unterschiede, die sowohl beim M. masseter als auch beim M. temporalis festzustellen waren, sprechen dafür, dass die Muskeln keinem uniformen Reaktionsmuster folgen. Die Reliabilitätsanalyse ergab eine geringe Reliabilität (Mittlerer ICC-Wert des M. masseter: 0,22 bei 10 % MVC, 0,23 bei 35 % MVC, Mittlerer ICC-Wert des M. temporalis: 0,22 bei 10 % MVC, 0,21 bei 35 % MVC). In der zweiten Hauptuntersuchung wurden bei beiden Muskeln im Mittel höhere EMG-Werte gemessen als in der ersten Hauptuntersuchung. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte ein Trainingseffekt sein, der sich in Form einer Aktivitätszunahme darstellt. Die Zunahme der Aktivität könnte durch eine erhöhte Steifigkeit der Muskeln bedingt sein. Da in der vorliegenden Studie nur kurzfristige Interferenzen erzeugt wurden, kann keine Aussage über die Langzeiteffekte von diagonalen Aufbiss erhöhungen getroffen werden. Möglicherweise stellt sich bei semipermanent eingebrachten Interferenzen der Trainingseffekt verstärkt ein, sodass unter Umständen Muskelverspannungen und weitere CMD-Symptome die Folgen sein könnten.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- Ahlers, MO., Fussnegger, M., Göz, G., Imhoff, B., Jakstat, HA., Mentler, Ch., Neff, A., Nippel, E., Ottl, P., Peroz, I., *Wissenschaftliche Mitteilung zur Therapie der funktionellen Erkrankungen des kranio-mandibulären Systems*.
<http://www.dgfdt.de/documents/266840/266917/wiss+Mitteilung+zur+Therapie+der+CMD/f61c662e-66aa-4013-a2ff-b9ce60e8c00c> **2015** [Accessed: 12.10.2016]
- Ahlers, MO., Biffar, R., Bumann, A., Freesmeyer, WB., Fuchs, B., Hugger, A., Kordaß, B., Klett, R., Koeck, B., Meyer, G., Ottl, P., Seeher, D., Schindler, HJ., Türp, JC., *Wissenschaftliche Mitteilung zur Terminologie und Nomenklatur der Arbeitsgemeinschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie (DGFDt) und der Deutschen Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (DGzPW)*.
<https://www.dgfdt.de/terminologie-nomenklatur> **2005** [Accessed: 24.12.2016]
- Alajbeg, IZ., Valentic-Peruzovic, M., Alajbeg, I., Cifrek, M. *The influence of age and dental status on elevator and depressor muscle activity*. J Oral Rehabil **2006**; 33(2), 94-101.
- Angle, EH., *Some studies in occlusion*. Angle Orthod **1968**; 38(1), 79-81.
- Angle, EH., *Behandlung der Okklusionsanomalien der Zähne: Angle's System*. Meusser, Berlin; **1908**.
- Attallah, MM., Visscher, CM., van Selms, MK., Lobbezoo, F., *Is there an association between temporomandibular disorders and playing a musical instrument? A review of literature*. J Oral Rehabil **2014**; 41(7), 532-541.
- Baba, K., Akishige, S., Yaka, T., Ai, M., *Influence of alteration of occlusal relationship on activity of jaw closing muscles and mandibular movement during submaximal clenching*. J Oral Rehabil **2000**; 27(9), 793-801.
- Basmajian, JV., *Electromyography-dynamic gross anatomy: a review*. Am J Anat **1980**; 159(3), 245-260.
- Bigenzahn, W., *Orofaziale Dysfunktionen im Kindesalter*. Thieme, Stuttgart **2003**; 15.
- Botelho, AL., Gentil, F. H., Sforza, C., da Silva, MA., *Standardization of the electromyographic signal through the maximum isometric voluntary contraction*. Cranio **2011**; 29(1), 23-31.
- Brosius, F., *Explorative Datenanalyse*. In: SPSS 19. Hüthig-Jehle-Rehm, Heidelberg **2011**; 401-402.
- Burden, A., *How should we normalize electromyograms obtained from healthy participants? What we have learned from over 25 years of research*. J Electromyogr Kinesiol **2010**, 20(6), 1023-1035.
- Castroflorio, T., Icardi, K., Becchino, B., Merlo, E., Debernardi, C., Bracco, P., Farina, D., *Reproducibility of surface EMG variables in isometric sub-maximal contractions of jaw elevator muscles*. J Electromyogr Kinesiol **2006**, 16(5), 498-505.

- Castroflorio, T., Icardi, K., Torsello, F., Deregibus, A., Debernardi, C., Bracco, P., *Reproducibility of surface EMG in the human masseter and anterior temporalis muscle areas*. *Cranio* **2005**; 23(2), 130-137.
- Cecere, F., Ruf, S., Pancherz, H., *Is quantitative electromyography reliable?* *J Orofac Pain* **1996**; 10(1), 38-47.
- Dworkin, SF., *The case for incorporating biobehavioral treatment into TMD management*. *J Am Dent Assoc* **1996**; 1607-1610.
- Dworkin, SF., LeResche, L., *Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders: review, criteria, examinations and specifications, critique*. *J Craniomandib Disord* **1992**; 6(4), 301-355.
- Ferrario, VF., Sforza, C., *Coordinated electromyographic activity of the human masseter and temporalis anterior muscles during mastication*. *Eur J Oral Sci* **1996**; 104(5-6), 511-517.
- Ferrario, VF., Sforza, C., Colombo, A., Ciusa, V., *An electromyographic investigation of masticatory muscles symmetry in normo-occlusion subjects*. *J Oral Rehabil* **2000**; 27(1), 33-40.
- Fleiss, JL., Cohen, J., *The equivalence of weighted kappa and the intraclass correlation coefficient as measures of reliability*. *Educ Psychol Meas* **1973**; 33, 613-619.
- Forrester, SE., Allen, SJ., Presswood, RG., Toy, AC., Pain, MT., *Neuromuscular function in healthy occlusion*. *J Oral Rehabil* **2010**;37(9): 663-669.
- Freiwald, J., Baumgart, C., Konrad, P., *Einführung in die Elektromyographie*. Spitta, Balingen **2007**; 31-58.
- Gesch, D., Bernhardt, O., Kirbschus, A., *Association of malocclusion and functional occlusion with temporomandibular disorders (TMD) in adults: a systematic review of population-based studies*. *Quintessence Int* **2004**; 35(3), 211-221.
- Greene, C., *The etiology of temporomandibular disorders: implications for treatment*. *J Orofac Pain* **2001**; 15(2), 93-105.
- Grunheid, T., Langenbach, GE., Brugman, P., Everts, V., Zentner, A., *The masticatory system under varying functional load. Part 2: Effect of reduced masticatory load on the degree and distribution of mineralization in the rabbit mandible*. *Eur J Orthod* **2011**; 33(4), 365-371.
- Hellmann, D., Schindler, HJ., *Schientherapie in der Behandlung von Myoarthropathien des Kauorgans*. *Manuelle Therapie* **2015**; 19, 117-120.
- Hellmann, D., Giannakopoulos, NN., Blaser, R., Eberhard, L., Rues, S., Schindler, HJ., *Long-term training effects on masticatory muscles*. *J Oral Rehabil* **2011**; 38(12), 912-920.
- Hermens, HJ., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C., Rau, G., *Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures*. *J Electromyogr Kinesiol* **2000**; 10(5), 361-374.
- Hugger, A., Hugger, S., Schindler, HJ., *Surface electromyography of the masticatory muscles for application in dental practice. Current evidence and future developments*. *Int J Comput Dent* **2008**; 11(2), 81-106.

Hugger, A., Lange, M., Schindler, HJ., Türp, JC., *Begriffsbestimmung: Funktionsstörung, Dysfunktion, craniomandibuläre Dysfunktion (CMD), Myoarthopathie des Kausystems (MAP)*. Dtsch Zahnärztl Z. **2016**; 71(2), 165

Kahl-Nieke, B., *Einführung in die Kieferorthopädie*. Urban & Schwarzenberg, München **1995**; 19-20.

Kozawa, T., Igarashi Y., Yamashita S., *Posterior occlusal support and bite force influence on the mandibular position*. Eur J Prosthodont Restor Dent **2003**; 11: 33–40

Krentz, H. *Statistische Analysen mit SPSS in der Medizin*. Shaker, Aachen **2008**; 128.

Krummenauer, F., Wojciechowski, C., Baulig, C., Al-Nawas, B., *Boxplots - die flexible Alternative zum "Antennen-Bildchen"*. Zahnärztl Impl **2007**; 23(4), 308-311.

Laskin, DM., *Etiology of the pain-dysfunction syndrome* J Am Dent Assoc **1969**; 79(1), 147-153.

Lauriti L, Motta LJ, de Godoy CH, Biasotto-Gonzalez DA, Politti F, Mesquita-Ferrari RA, Fernandes KP, Bussadori SK., *Influence of temporomandibular disorder on temporal and masseter muscles and occlusal contacts in adolescents: an electromyographic study*. BMC Musculoskelet Disord **2014**; 10;15:123.

Le Bell Y., Jämsä T., Korri S., Niemi PM., Alanen P., *Effect of artificial occlusal Interferences depends on previous experience of temporomandibular disorders*. Acta Odontol Scand. **2002**; 60(4), 219-22.

Lehmann, KM., Hellwig, E., Wenz, HJ., *Zahnärztliche Propädeutik*. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln **2015**; 62-67.

Le Resche, L., *Epidemiology of temporomandibular disorders: implications for the investigation of etiologic factors*. Crit Rev Oral Biol Med **1997**; 8, 291-305.

Li, J., Jiang, T., Feng, H., Wang, K., Zhang, Z., Ishikawa, T., *The electromyographic activity of masseter and anterior temporalis during orofacial symptoms induced by experimental occlusal highspot*. J Oral Rehabil **2008**; 35(2), 79-87.

Liu, Z. J., Yamagata, K., Kasahara, Y., Ito, G., *Electromyographic examination of jaw muscles in relation to symptoms and occlusion of patients with temporomandibular joint disorders*. J Oral Rehabil **1999**; 26(1), 33-47.

Lobbezoo, F., van der Glas, HW., van Kampen, FM., Bosman, F., *The effect of an occlusal stabilization splint and the mode of visual feedback on the activity balance between jaw-elevator muscles during isometric contraction*. J Dent Res **1993**; 72(5), 876-882.

MacDonald, JW., Hannam, AG., *Relationship between occlusal contacts and jaw-closing muscle activity during tooth clenching: Part I*. J Prosthet Dent **1984**; 52(5), 718-728.

Manfredini, D., Cocilovo, F., Favero, L., Ferronato, G., Tonello, S., Guarda-Nardini, L., *Surface electromyography of jaw muscles and kinesiographic recordings: diagnostic accuracy for myofascial pain*. J Oral Rehabil **2011**; 38(11), 791-799.

- Marxkors, R., *Gebissfunktion*. In: *Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik*. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln **2007**; 257.
- Michelotti, A., Farella, M., Gallo, LM., Veltri, A., Palla, S., Martina, R., *Effect of Occlusal Interference on Habitual Activity of Human Masseter*. J Dent Res **2005**; 84; 644.
- Moreno, I., Sanchez, T., Ardizzone, I., Aneiros, F., Celemin, A., *Electromyographic comparisons between clenching, swallowing and chewing in jaw muscles with varying occlusal parameters*. Med Oral Patol Oral Cir Bucal **2008**; 13(3), 207-213.
- Okeson, JP., *Alignment and Occlusion of the Dentition*. In: Management of Temporomandibular Disorders and Occlusion, 6th Edition. Elsevier Mosby, St. Louis **2013**; 58-79.
- Ostermann, C., *Einfluss einseitig und transversal positionierter okklusaler Veränderungen auf die Aktivität des M. masseter und M. temporalis unter Verwendung einer 0,4 mm dicken Polykarbonatfolie*. Med Diss Düsseldorf; **2017**.
- Ostermann, C., Koch, M., Kravchenko, A., Hugger, S., Schindler, H.-J., Hugger, A., *Wirkung okklusaler Veränderungen auf die elektromyographische Aktivität der Kaumuskelatur*. Poster präsentiert auf der 48. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und –therapie (DGFDT). Bad Homburg; **2015**.
- Palla, S., *Myoarthropathischer Schmerz: Oft verkannt*. Schmerz **2003**; 17:425-431.
- Piancino, MG., Talpone, F., Bole, T., Castroflorio, T., Torsello, F., Debernardi, C., Bracco, P., *Electromyographic evaluation of neuromuscular co-ordination during chewing in a subject with organic occlusion*. Minerva Stomatol **2005**; 54(6), 379-387.
- Riise, C., Sheikholeslam, A., *The influence of experimental interfering occlusal contacts on the postural activity of the anterior temporal and masseter muscles in young adults*. J Oral Rehabil **1982**; 9(5), 419-425.
- Rudy, TE., Turk, DC., *Integrating behavioral and dental treatments: utility of customizing protocols*. In: Sessle, BJ., Bryant, PS., Dionne, RA. (Hrsg.) Temporomandibular Disorders and related Pain Conditions. IASP Press **1995**; Seattle, 351-362.
- Samandari, F., Mai, JK., *Funktionelle Anatomie für Zahnmediziner*. Quintessenz, Berlin **2009**; 160.
- Santana-Mora, U., Cudeiro, J., Mora-Bermudez, MJ., Rilo-Pousa, B., Ferreira-Pinho, J. C., Otero-Cepeda, JL., Santana-Penin, U., *Changes in EMG activity during clenching in chronic pain patients with unilateral temporomandibular disorders*. J Electromyogr Kinesiol **2009**, 19(6), 543-549.
- Schindler, HJ., Türp, JC., *Kaumuskulatur*. In: Hugger, A., Türp, JC., Kerschbaum, T. (Hrsg.) Orale Physiologie. Quintessenz, Berlin **2006**; 85-112.
- Schindler, HJ., Hellmann, D., Giannakopoulos, NN., Eiglsperger, U., van Dijk, JP., Lapatki, BG., *Localized task-dependant motor-unit recruitment in the masseter*. J Oral Rehabil **2014**; 41(7), 477-485.
- Schindler, HJ et al., *Der Einfluss von experimentell erzeugtem Schmerz auf das Aktivierungsmuster des M. masseter*. Dtsch Zahnärztl Z **2000**; 575-581.

Schindler, HJ. et al., *Die neuromuskuläre Wirkung von Aufbisschienen*. Dtsch Zahnärztl Z **1999**; 332-338.

Schumann, NP., Scholle, HC., Anders, C., Mey, E., *Mapping spectral EMG parameters of the masseter muscle in normal probands under defined loads*. EEG EMG Z Elektroenzephalogr Elektromyogr Verwandte Geb **1992**; 23(3), 121-126.

Suvinen, Tl., Reade, PC., Kemppainen, P., Kononen, M., Dworkin, SF., *Review of aetiological concepts of temporomandibular pain disorders: a biopsychosocial model for integration of physical disorder factors with psychological and psychosocial illness impact factors*. Eur J Pain **2005**; 613-633.

Terebesi, S., Giannakopoulos, NN., Brüstle, F., Hellmann, D., Türp, JC., Schindler, HJ., *Small vertical changes in jaw relation affect motor unit recruitment in the masseter*. J Oral Rehabil **2016**; 43(4), 259-68.

Türp, JC., *Ist die Michigan Schiene wissenschaftlich anerkannt?* Dtsch Zahnärztl Z **2002**; 393-395.

Türp, JC., Hugger, Alt, KW., Schindler, HJ., *Okklusion*. In: Hugger, A., Türp, JC., Kerschbaum, T. (Hrsg.) *Orale Physiologie*. Quintessenz, Berlin **2006**; 1-34.

Türp, JC., Hugger, A., *Schmerzhafte Myoarthropathien des Kausystems*. Zahnärztl Mitt **2000**; 90, 1194-1199.

Utz, KH., Schmitter, M., Freesmeyer, WB., Morneburg, T., Hugger, A., Türp, JC, Rammelberg, P., *Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien e. V.: Kieferrelationsbestimmung*. http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgmkddocuments/wiss_Mitteilung_DGPro_Kieferrelation_09_2010.pdf **2010** [Accessed: 19.11.2016]

van der Meulen, MJ., Lobbezoo, F., Aartman, IH., Naeije, M., *Self-reported oral parafunctions and pain intensity in temporomandibular disorder patients*. J Orofac Pain **2006**; 20(1), 31-35.

Visser, A., Kroon, GW., Naeije, M., Hansson, TL., *EMG differences between weak and strong myogenous CMD patients and healthy controls*. J Oral Rehabil **1995**; 22(6), 429-434.

Wang, MQ., He, JJ., Wang, K., Svensson, P., *Influence of changing occlusal support on jaw-closing muscle electromyographic activity in healthy men and women*. Acta Odontol Scand **2009**; 67(3):187-192.

8 DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich jenen Personen danken, ohne die die Vollendung meiner Promotionsarbeit nicht zustande gekommen wäre.

Ganz besonders möchte ich an erster Stelle meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. A. Hugger für die Bereitstellung der Dissertationsthematik sowie für die intensive Unterstützung und fachliche und geduldige Betreuung bei der Erstellung dieser Arbeit danken.

Außerdem gilt mein Dank Frau Prof. Dr. P. Gierthmühlen und Herrn Prof. Dr. U. Stüttgen, die es mir überhaupt ermöglichten, in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik zu promovieren.

Bei Herrn Prof. Dr. H. J. Schindler bedanke ich mich für die konstruktiven Verbesserungsvorschläge.

Meinen Kolleginnen Charlott Ostermann, Mara Koch und Luzie Winkler danke ich für die Hilfe bei der Durchführung der Untersuchungen, für gegenseitige Motivation und zahlreiche Gespräche auf persönlicher und fachlicher Ebene.

Besonders möchte ich auch den Kommilitonen und Freunden danken, die sich dazu bereiterklärt haben, an der Studie teilzunehmen.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern, Harald und Helga, denen ich diese Arbeit auch widme. Sie haben mich während des gesamten Studiums und darüberhinaus liebevoll unterstützt, was ich sehr zu schätzen weiß. In Phasen des Zweifels fanden sie die richtigen Worte, um mich wieder aufzubauen und zu motivieren. Ohne sie wäre ich nicht da, wo ich heute bin.

Nicht zuletzt möchte ich Leon danken, der mir Kraft und Mut für die Vollendung meiner Doktorarbeit gab und mir stets verständnisvoll und unterstützend beiseite stand.