

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

**Klinische Studie zur Wirkung okklusaler Veränderung auf die
elektromyographische Aktivität der Kaumuskulatur**

Einfluss einseitig und transversal positionierter okklusaler Veränderungen auf die Aktivität
des M. masseter und M. temporalis 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
Charlott Sophie Victoria Ostermann

2017

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

gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. Alfons Hugger

Zweitgutachter: Prof. Dr. Jürgen Becker

"Πάντες ἄνθρωποι τοῦ εἰδέναι ὀρέγονται φύσει"
(Alle Menschen streben von Natur aus nach Wissen)

Aristoteles

Für meine Familie

Für Bart und unsere Fiora

I. Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Dissertation bestand in der Untersuchung der Wirkung verschiedener (einseitiger und beidseitig transversaler) okklusaler Veränderungen auf die elektromyographische Aktivität der Kaumuskeln M. masseter und M. temporalis bei submaximalem Zubiss mit 10% und 35% der maximalen voluntären Kontraktion (MVC) an einer Gruppe von 20 funktionsgesunden Probanden (Durchschnittsalter: 25,3 Jahre). Es sollte geklärt werden, ob Aktivitätsunterschiede zwischen den Muskeln bei unterschiedlichen Aufbisspositionen und Aufbissintensitäten zu beobachten sind und wie reliabel sich die durch Oberflächen-Elektromyographie (EMG) ermittelten Muskelaktivitäten unter diesen Versuchsbedingungen in verschiedenen Messsitzungen darstellen.

Die Untersuchungen unterteilten sich in eine Voruntersuchung und zwei identische Hauptuntersuchungen im Abstand von mindestens 14 Tagen. Umgesetzt wurden die okklusalen Veränderungen durch 0,4 mm dicke, zahnbezogen zugeschnittene Polykarbonatfolien, die auf den unteren Molaren, Prämolaren, Eck- und Frontzähnen reversibel positioniert wurden. Mittels visueller Feedbackkontrolle wurde bei den dreimalig wiederholten Aufbissen submaximale Kräfte von 10% und 35% MVC erreicht. Zur Beurteilung der Effekte wurden die Aktivitätsverhältnisse (Ratios) der homonymen Muskeln berechnet und mittels zweifaktorieller Varianzanalysen (ANOVA) statistisch analysiert. Die Reliabilität wurde neben dem Intraklassenkoeffizienten (ICC) durch die muskelbezogenen Mittelwerte der Differenzen der mittleren Muskelaktivitäten der beiden Untersuchungen für jede Aufbissposition beurteilt. Es zeigten sich vorrangig für den Temporalis signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) zwischen den Ratios der Versuchsbedingungen, sowohl für die einseitige und beidseitige Aufbissverteilung bei 10% und 35% MVC als auch zwischen den Aufbissintensitäten. Die Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass der Temporalis als explizit feinmotorischer Muskel sensibler auf verschiedene Aufbissintensitäten und okklusale Erhöhungen reagiert als der eher Kraft generierende M. masseter. Die mittleren ICC-Werte der Ratios des Masseters von 0,3 und des Temporalis von 0,4 zeigten eine mäßige Reliabilität zwischen den beiden Hauptuntersuchungen. In der zweiten Untersuchungssitzung wurden auch erhöhte Muskelaktivitäten unabhängig von der Position der Aufbisserhöhungen und der submaximalen Aufbissintensität deutlich. Eine insbesondere bei 35% MVC hohe interindividuelle Variabilität bei ein- und beidseitigen Aufbissen impliziert, dass Masseter und Temporalis keinen generellen Reaktionsmustern folgen und mit individuellen Strategien auf unterschiedliche Aufbissituationen bei submaximalen Intensitäten reagieren. Die EMG stellt dabei ein wichtiges Darstellungsmittel dieser stark variierenden Reaktionen der Muskulatur auf okklusale Veränderungen dar.

II. Abkürzungsverzeichnis

ACh	Acetylcholin
ANOVA	Analysis of Variance/ Varianzanalyse
AP	Aktionspotential
ATP	Adenosintriphosphat
BMI	Body Mass Index/ Körpermaßindex
CMD	Craniomandibuläre Dysfunktion
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio/ Gleichtaktunterdrückung
E	Eckzahn
EMG	Elektromyographie
EPP	Endplattenpotential
F	Frontzahn
ICC	Intraclass Correlation Coefficient/ Intraklassenkorrelationskoeffizient
M.	Musculus/ Muskel
Mm.	Musculi/ Muskeln
MU	Motorische Einheit
MVC	Maximum voluntary contraction/ Maximale voluntäre Kontraktion
M1	Erster Molar
M2	Zweiter Molar
N.	Nervus/ Nerv
P1	Erster Prämolare
P2	Zweiter Prämolare
RDC/TMD	Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders
RMS	Root mean square/ Quadratisches Mittel
ZNS	Zentrales Nervensystem

III. Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
1.1 Kauphysiologie	3
1.2 Okklusion	5
1.3 Kaumuskulatur	10
1.4 Oberflächen-Elektromyographie	13
2. Ziel der Arbeit	17
3. Methoden und Materialien	18
3.1 Probanden	18
3.2 Untersuchungsmaterialien	19
3.3 Untersuchungsdurchführung	20
3.4 Datenverarbeitung	21
3.5 Statistische Analyse	22
4. Ergebnisse	24
4.1 Quotienten der Muskelaktivitäten des M. masseter und M. temporalis bei einzelnen Aufbisslagen	25
4.2 Quotienten der Muskelaktivitäten des M. masseter und M. temporalis bei verschiedenen Aufbisslagen	40
4.3 Vergleich der Quotienten der Muskelaktivitäten des M. masseter und M. temporalis bei exemplarischen Aufbisslagen	47
4.4 Reliabilitätsanalysen	50
4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse	61
5. Diskussion	66
5.1 Diskussion der verwendeten Materialien und Methoden	66
5.2 Beeinflussung der Kaumuskelaktivität durch okklusale Interferenzen mit undefinierter vertikaler Höhe	68
5.3 Beeinflussung der Kaumuskelaktivität durch okklusale Interferenzen mit definierter vertikaler Höhe	73
5.4 Standardisierung und Reliabilität der Oberflächen-Elektromyographie	79
6. Schlussfolgerung	84
7. Literatur- und Quellenverzeichnis	86

Danksagung

Eidesstattliche Versicherung

1. Einleitung

1.1 Kauphysiologie

Der Kauvorgang des Menschen lässt sich in die Abschnitte Nahrungsaufnahme, Mastikation (Kauakt) und in den Schluckakt aufteilen. Nach der Aufnahme der Nahrung in die Mundhöhle mit Hilfe der Lippen, der Wangen, der Zunge und der Schneidezähne hat die Mastikation das Ziel, die Nahrung zu zerkleinern und mit Speichel zu durchtränken. Die Zunge unterstützt durch eine anterior-posteriore Bewegung die Platzierung des Nahrungsbolus zwischen den oberen und unteren Zahnreihen, wodurch es durch einen konsekutiven Selektions- und Zerspanungsprozess zu einer Reduzierung der Partikelgröße der Nahrung durch den Kauakt kommt. Die dadurch entstehende Vergrößerung der Nahrungsoberfläche lässt die Verdauungsenzyme der Mundhöhle, des Magens und des Darms besser ansetzen (Schindler und Hugger, 2006). Hier ist zu betonen, dass die Verdauung mit der chemischen Zersetzung der Nahrung durch das Kohlenhydrat spaltende Enzym α -Amylase aus dem Speichel bereits in der Mundhöhle beginnt (Wöstmann, 2006). Die großen und kräftigen craniomandibulären Muskeln ermöglichen unter anderem durch ihre hohe Kraftentwicklung die Mastikation verschiedenster Nahrungsmittel. Die Kiefergelenke hingegen ermöglichen hierbei aufgrund ihrer hohen Beweglichkeit eine Vielzahl an Bewegungsmustern bei der Kraftübertragung auf die Zähne (Schindler und Hugger, 2006). Es werden Kaukräfte von etwa 250 bis 300 N erreicht, mit denen auch Bindegewebs- und Zellulosemembranen zerkleinert werden können (Wöstmann, 2006).

Die orale Phase des Schluckaktes beginnt, wenn die Größe des Nahrungsbolus die „Schluckschwelle“ erreicht hat, sodass die Zunge den Bolus bei geschlossenen Lippen und unter Okklusion der Zähne in den Pharynx (Rachen) transportiert. Die pharyngeale Phase des Schluckaktes schließt sich mit dem Transport des Bolus bis zur Speiseröhre bei gleichzeitiger Hemmung der Atmung an. Dabei deckt die Epiglottis (Kehldeckel) die Luftröhre ab und das Gaumensegel wird durch die palatopharyngealen Muskeln aufgerichtet, um den nasalen Rachenraum zu verschließen. Nach dem Speisedurchtritt durch den oberen Schließmuskel der Speiseröhre (ösophageale Phase) gelangt der Bolus durch Peristaltik zur weiteren Verdauung in den Magen (Schindler und Hugger, 2006). Die neuronale Steuerung der Mastikation erfolgt durch den Hirnstamm, belegt durch die Tatsache, dass dezerebrierte Versuchstiere sowie Tiere ohne Kleinhirn oder Rückenmark weiterhin kauen können. Initiiert werden die Kaubewegungen durch nicht rhythmische

Impulse aus dem mastikatorischen Kortex oder durch periphere Stimuli. Die Kinetik der Nahrungszerkleinerung wird durch periphere Mechanorezeptoren moduliert, deren Feedbacksignale die motorischen Programme aufgabenbezogen anpassen (Schindler und Hugger, 2006, S. 114).

Eine Kausequenz entspricht der Summe aller Kauzyklen, beginnend mit der Nahrungsaufnahme und mit dem Schluckakt endend. Die Sequenz kann man in die Transportperiode, während der die Nahrung zwischen die Zahnreihen befördert wird, die Zerkleinerungsperiode der Nahrung und die Reinigung der Mundhöhle mit irregulären Kieferbewegungen einteilen (Schindler und Hugger, 2006). Die einzelne Kaubewegung, die die Zahnreihen in die Nähe der maximalen Interkuspidation führt, wird als Kauzyklus bezeichnet. Ein Kauzyklus dauert durchschnittlich zwischen 0,5 und 0,7 Sekunden abhängig von der Nahrungsbeschaffenheit. Die Anzahl der Kauzyklen innerhalb der Sequenz, bis der Nahrungsbolus schluckbereit ist, hängt von dem Kauvermögen der einzelnen Personen und der Beschaffenheit der Nahrung ab (Schindler und Hugger, 2006). Beeinflusst wird die Anzahl ebenfalls durch habituelle bzw. genetische Komponenten, „d.h. manche Individuen schlucken den Bolus bereits nach einigen Kauzyklen auch dann, wenn er noch größere Nahrungsbrocken enthält, während andere erst einen fein zerkleinerten Brei schlucken“ (Wöstmann, 2006, S.269).

Die Kauleistung (performance) entspricht der „Partikelgrößenverteilung nach einer vorgegebenen Anzahl von Kauzyklen“ (Schindler und Hugger, 2006, S. 120). In einer Pilotstudie zur Beurteilung der Kauleistung von Jugendlichen untersuchten Wintergest et al. (2015) die Größe des Speisebolus von sieben verschiedenen Nahrungsmitteln (Möhren, Mandeln, Würstchen, Bananen, Kekse, Gummibärchen, Rosinen) bei zwanzig Kindern im Alter von acht bis zehn Jahren. Zudem war die Fragestellung, ob 1,7-2g Silikon-Testnahrung (Optosil®) eine ausreichende Größe zur Untersuchung der Kauleistung bei Kindern hat. Die in randomisierter Reihenfolge festgelegten Nahrungsmittel wurden einzeln von den Kindern in der Menge, die sie normalerweise zu sich nehmen, gekaut und geschluckt. Pro Nahrungsmittel erfolgten drei Wiederholungen. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern bezüglich der Bolusgröße gefunden. Die Größe des Bolus war konstant, aber sie unterschied sich für jedes Nahrungsmittel. Es zeigte sich kein Muster der Bolusgröße verbunden mit der Härte des Nahrungsmittels. Die Bolusgröße war für Bananen am größten und für Mandeln am kleinsten, während die Größe für Möhren (Nahrungsmittel am ähnlichsten zu Optosil®) 2,6 mal größer war als die verwendete Größe für Optosil®. Diese Studie unterstützt die Verwendung von einem ca. 1,7g-Bolus zur Untersuchung der Entwicklung der Mastikation während der Kindheit und um Unterschiede unter gesunden und pathologischen

Konditionen bei Acht- bis Zehnjährigen feststellen zu können. Woda et al. (2006) beschrieben in ihrer Studie, dass sowohl intrinsische als auch extrinsische Faktoren für die Variationen der Mastikation verantwortlich sind. Sowohl die intrinsischen Faktoren (Alter, Geschlecht und dentaler Zustand) der Individuen als auch die extrinsischen Faktoren (Härtegrad, physikalische Eigenschaften, Größe) des Nahrungsmittel bewirken physiologische Anpassungen, welche während der individuellen Kauzyklen oder der gesamten Kausequenz auftreten.

Die Kaeffektivität (efficiency) entspricht der „Anzahl der Kauzyklen, die notwendig ist, um die Nahrung bis zu einer bestimmten Partikelgröße zu reduzieren. Beide Verfahren werden zur Bewertung des Kauvermögens eingesetzt, erlauben jedoch im physikalischen Sinne keine Aussage über die vom Kausystem geleistete Arbeit“ (Schindler und Hugger, 2006, S. 120). Personen mit einer guten Kauleistung sind nach einer Studie von Paphangkorakit et al. (2008) nicht unbedingt „effektive“ (bzw. „effiziente“) Kauer. Die von der Anzahl der in Okklusion befindlichen Zähne abhängige Kauleistung verhält sich proportional zur Größe der Kontaktfläche von antagonistischen Zähnen. Die abnehmende Kaufähigkeit bei steigendem Zahnverlust kann durch das Ersetzen von Seitenzähnen kompensiert werden. Die Kauleistung von Totalprothesenträgern entspricht etwa 1/6 der Kauleistung von Vollbezahnten. In der Regel werden von Totalprothesenträgern mehr Kauzyklen benötigt, um die Nahrung schluckfertig zu verkleinern (Schindler und Hugger, 2006). Veyrune et al. (2007) verglichen die Muskelaktivitäten bei Vollprothesenträgern und natürlich bezahnten Probanden während der Mastikation von Nahrungsmitteln verschiedener Härtegrade. Die Probanden, bestehend aus 15 Totalprothesenträgern und aus einer Kontrollgruppe von neun natürlich bezahnten Probanden, kauten auf laborgefertigten Gummibonbons mit viskoelastischen, nicht klebrigen Eigenschaften. Währenddessen wurden mittels Oberflächen-EMG die Muskelaktivitäten der beidseitigen Mm. masseter und Mm. temporales aufgezeichnet. Zudem wurde die Anzahl der Kauzyklen, die Dauer der Kausequenz, die Mastikationsrate (Zyklen/s) und die muskuläre Aktivität pro Zyklus und Sequenz bestimmt. Es zeigte sich, dass die Träger von Totalprothesen im Vergleich zu den natürlich Bezahnten in einer länger andauernden Mastikation eine größere Anzahl an Kauzyklen benötigten, um den Speisebolus schluckbereit aufzubereiten. Zudem stieg die EMG-Aktivität der Prothesenträger je Zyklus und Härtesteigerung der Nahrung nicht an, wie vergleichsweise bei einer natürlichen Dentition. Die Härte der Nahrung hat bei einer natürlichen Dentition einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Kauzyklen ($P < 0,01$), die Dauer der Mastikation ($P < 0,01$), die totale Muskelaktivität ($P < 0,001$) und auf die durchschnittliche Muskelaktivität pro Zyklus ($P < 0,001$). Diese Variablen stiegen signifikant mit der Zunahme der Härte an.

Zusammenfassend hatten die Träger von Totalprothesen Schwierigkeiten bei der Mastikation. Dies wurde anhand der steigenden Mastikationsrate, dem gescheiterten Anstieg der Muskelaktivität pro Zyklus bei zunehmenden Härtegraden, der steigenden Anzahl an Kauzyklen und der erhöhten Mastikationsdauer sichtbar.

Die von der Anzahl der Kauzyklen abhängige Kaueffektivität wird vor allem durch die muskuläre Schließkraft und die Okklusionskontakte und weniger durch die Menge der vorhandenen Zähne bestimmt. Dabei verhält sich die Kaueffektivität linear zur Anzahl der Okklusionskontakte. Der altersbedingte Zahnverlust und die damit verringerten Okklusionskontakte bewirken somit eine reduzierte Kaueffektivität. Eine verstärkte Reduzierung erfolgt durch die Atrophie der Kaumuskulatur aufgrund der geringen muskulären Beanspruchung durch das zunehmende Fehlen der Okklusionskontakte. Folge der verringerten Muskeleffektivität sind möglicherweise Ernährungsanpassungen und Änderungen der Nahrungszusammensetzung, was wiederum zu Störungen der Verdauung führen kann (Wöstmann, 2006).

Mit dem Einfluss des Alterns auf die Mastikation und das Essverhalten befassten sich Mioche et al. (2004). Die Zunahme des Alters bei gesunden vollbezahnten Probanden bewirkte Veränderungen in der oralen Physiologie. So wurden Änderungen der neuromuskulären Aktivität wie eine sinkende Beißkraft teilweise durch das Kauverhalten wie etwa durch eine Verlängerung der Mastikationsdauer kompensiert. Die Texturempfindung hielt sich verhältnismäßig konstant, während Änderungen der Kausequenz zu einigen veränderten Eigenschaften des Speisebolus führten. Die Verbindung des Alterns mit einem geschädigten Gebiss, eingeschränkter Gesundheit und Medikamenteneinnahme zeigte ein erheblich verändertes Kauverhalten und veränderte Eigenschaften des Speisebolus mit Folgen für die Verdauung. Trotz der Schwierigkeit, die harten Nahrungsmittel im Alter zu kauen, wurden einfachere zu kauende Nahrungsmittel nicht bevorzugt, da der Genuss und die Wahl der Lebensmittel insbesondere auch von Erinnerungen sowie psychologischen und ökonomischen Faktoren gelenkt werden.

Die unterschiedlichen Parameter der Mastikation unter Individuen mit unterschiedlichem Körpermaßindex (Body Mass Index: BMI) untersuchten Isabel et al. (2015). Jeweils vierzig Probanden befanden sich in der (1) adipösen Gruppe ($30 \leq \text{BMI} < 35$), (2) übergewichtigen Gruppe ($25 \leq \text{BMI} < 30$), (3) normalgewichtigen Gruppe ($18,5 \leq \text{BMI} < 25$) und (4) der untergewichtigen Gruppe ($17 \leq \text{BMI} < 18,5$). Die maximale Beißkraft, die Kauleistung, die Kaufrequenz (pro Minute) sowie die Anzahl der Kauzyklen, die Kauzeit und die durchschnittliche Partikelgröße wurden in allen Gruppen untersucht. Die oralen Zustände der Probanden (Anzahl der Zähne und okklusalen Einheiten, der stimulierte und

nicht stimulierte Speichelfluss) wurden ebenfalls aufgenommen. Die Ergebnisse zeigten, dass unabhängig vom BMI die Männer gegenüber den Frauen eine größere Beißkraft und eine bessere Kau- und Schluckleistung aufwiesen und zudem schneller kauten. Die Probanden der adipösen Gruppe hatten nach zwanzig Kauzyklen im Moment des Schluckens die durchschnittlich größten Partikelgrößen der Nahrung, was auf eine weniger gute Kauleistung hinwies. In dieser Gruppe lag eine negative Korrelation der durchschnittlichen Partikelgröße und der Anzahl der Zähne und okklusalen Einheiten vor. Isabel et al. (2015) beobachteten keine großen Unterschiede der Kauleistung, der Anzahl der Kauzyklen, der Kauzeit und der durchschnittliche Partikelgröße unter den vier Gruppen, wenn auch die Probanden der adipösen Gruppe die Tendenz hatten, größere Partikel zu schlucken. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen auf, dass es keinen speziellen „adipösen Kaustil“ gibt.

1.2 Okklusion

Unter Okklusion versteht man jeden Kontakt zwischen den Zahnreihen des Ober- und Unterkiefers. Die funktionelle Okklusion baut diese Definition etwas aus, da sie „durch ein (mehr oder weniger) geordnetes, gegenseitiges Auf- und Ineinandergreifen von Zähnen des Ober- und Unterkiefers bei Kieferschluss gekennzeichnet“ ist (Türp et al., 2006, S. 3). Dabei fand in den letzten Jahrzehnten (vor allem im englischsprachigen Raum) eine Erweiterung des Begriffes „Okklusion“ statt, sodass man neben den in Kontakt stehenden Zähnen das gesamte Kausystem mit den Parodontien, den Kieferknochen, den Kiefergelenken, der Muskulatur, den Bändern, den Blutgefäßen, der Mundschleimhaut und der Zunge einbezogen hat. Die aufgezählten Bestandteile des Kausystems werden alle durch das Nervensystem gesteuert. Diese funktionelle Einheit wird durch „Umweltfaktoren (z.B. Erkrankungen, belastende Lebensereignisse, biomechanischer Stress, Traumata, Ernährung), genetische Faktoren (einschließlich Alter und Geschlecht) sowie intrinsische (endokrine, immunologische, metabolische, peripher- und zentral-neurale, kardiovaskuläre) Prozesse beeinflusst, weist zugleich aber auch eine erstaunliche Adaptationsfähigkeit („funktionelle Reserve“) auf“ (Türp et al, 2006, S. 2-3). Im Folgenden wird jedoch auf die eigentliche Definition der Okklusion (jeder Kontakt zwischen den Ober- und Unterkieferzähnen) Bezug genommen.

Das menschliche Gebiss beginnt mit der Entwicklung eines Milchgebisses bestehend aus zwanzig Zähnen, das mit dem Durchbruch der 32 bleibenden Zähne ersetzt wird. Die Zähne lassen sich aufgrund ihrer Zahnformen in verschiedene Zahntypen einteilen: Schneidezähne, Eckzähne, Prämolaren und Molaren. Dabei weist das Milchgebiss keine

Prämolaren auf (Samandari und Mai, 2008). Die zwei Zahngenerationen (Diphyodontie) und die unterschiedlichen Zahntypen (Heterodontie) sind charakteristisch für das menschliche Gebiss (bzw. die Säuger) und bilden eine funktionelle Einheit. Bei Fischen und Amphibien sowie den meisten Reptilien kommt es durch den stetigen Zahnwechsel zu einem ständigen funktionellen Wechsel. Die Schneidezähne haben eine Schaufel- bzw. Meißelform und aufgrund der scharfen Schneidekante eine schneidende Funktion, vor allem, um die Nahrung in Stücke zu teilen. Die Eckzähne mit ihrer Kauspitze halten die Nahrung fest und zerreißen sie. Diese beiden Zahntypen haben neben ihrer ästhetischen Bedeutung eine stützende Funktion für die Lippen und sind an der Phonetik beteiligt. Die Seitenzähne können durch das Höcker-Fissuren-Relief mit ihren Antagonisten des Gegenkiefers die Nahrung durch eine Scherschneidebewegung zerkleinern. Diese unterteilen sich in die zweihöckerigen Prämolaren und die größeren vierhöckerigen Molaren mit Ausnahme des fünfhöckerigen unteren ersten Molaren (Türp et al., 2006). Tragende Höcker (auch Arbeitshöcker) sichern die stabile Okklusion, erhalten die vertikale Dimension und zerkleinern den Nahrungsbrei. Dabei handelt es sich um die breiten und rundlichen palatinalen Höcker der Seitenzähne im Oberkiefer und um die bukkalen Seitenzahnhöcker des Unterkiefers. Die relativ scharfkantigen nicht tragenden Höcker (Nicht-Arbeitshöcker) umfassen die bukkalen Höcker der Oberkieferseitenzähne und die lingualen Höcker der Seitenzähne im Unterkiefer. Ausgehend von den Eckzähnen nehmen die Abstände der Höckerspitzen im Seitenzahnbereich in mesio-distaler Richtung ab. Die nicht tragenden Höcker sorgen für das Abhalten der Wange im Bereich des Oberkiefers und der Zunge im Unterkiefer (Türp et al., 2006).

Während des Kauvorganges befindet sich der Nahrungsbolus abwechselnd auf der linken und der rechten Seite, auf denen er jeweils von den Seitenzähnen zerkleinert wird. So kann eine Arbeits- und eine Balanceseite unterschieden werden, die sich reflektorisch abwechseln (Samandari und Mai, 2008). Die Arbeitsseite (Laterotrusionsseite) umfasst die Kieferseite, die sich bei einer Seitwärtsbewegung von der Medianebene wegbewegt, während die Balanceseite (Mediotrusionsseite) die Kieferseite ist, die sich zur Medianebene hinbewegt (Hugger und Schindler, 2006).

Man unterscheidet die statische gegenüber der dynamischen Okklusion. Die statische Okklusion, bei der Zahnkontakte in der Interkuspidation ohne Unterkieferbewegungen vorliegen, kann weiter in die maximale Interkuspidation, die habituelle Okklusion und die zentrische Okklusion unterteilt werden. Bei der maximalen Interkuspidation haben die Zähne bei leichtem bzw. festem Zubiss maximalen Vielpunktkontakt, während bei der durch Gewohnheit eingenommenen habituellen Okklusion in der Statik nicht unbedingt

eine maximale Interkuspidation vorliegen muss. Die zentrische Okklusion zeichnet sich durch eine Okklusion bei Vielpunktkontakt aus, in der die Kondylen zentrisch und nicht seitenverschoben positioniert sind.

Die dynamische Okklusion hingegen umfasst Zahnkontakte unter zahngeführten Unterkieferbewegungen. Wenn sie aus der habituellen Okklusion oder der maximalen Interkuspidation hervorgehen, sind diese zahngeführten Bewegungen exzentrische Bewegungen, die wiederum in Protrusion, Laterotrusion und Retrusion untergliedert werden. Bei der Protrusion wird der Unterkiefer zahngeführt vorgeschoben, während ein Ruckschieben des Unterkiefers aus der Okklusion als Retrusion bezeichnet wird. Laterotrusionen sind seitliche Unterkieferbewegungen (Türp et al., 2006). Ein positiver Zusammenhang zwischen der okklusalen Stabilität in der Interkuspidation und mittleren bis starken statischen und dynamischen Kontraktionen der Kaumuskulatur wurde in der Studie von Bakke et al. (1992) vor allem für die Massetermuskeln signifikant ersichtlich. Die kraftvollen Kontraktionen der Mm. masseter brachten eine stabile Okklusion mit sich. Aufgrund der vor allem bei den Muskeln der Arbeitsseite vorherrschenden negativen Wechselwirkung der Muskelaktivitätsdauer während des Kauens und der okklusalen Stabilität in der Interkuspidation wurde angenommen, dass kürzere Kontraktionen für die stabile Okklusion ausreichen. Man vermutete in der Studie von Bakke et al. (1992), dass der Zusammenhang zwischen der okklusalen Stabilität und der Kaumuskelfunktion wahrscheinlich auf einem Feedback-Mechanismus der Parodontalrezeptoren beruht.

Die einzelnen Zähne der beiden Kiefer ordnen sich in Zahnbögen an und man erkennt durch die Verbindung der äußeren Flächen der Zähne eine breitere parabelförmige Spange des Oberkiefers (Parabel 3. Grades) zu dem schmaleren Zahnbogen des Unterkiefers (Parabel 2. Grades). Aufgrund dessen liegen bei einem neutralen Biss der Seitenzähne die oberen Zähne weiter vestibulär. Bei einer maximalen Interkuspidation sind die oberen und unteren Seitenzähne durch Höcker-Fossa-Kontakte verzahnt, was bedeutet, dass die tragenden Höcker des einen Kiefers in den Fossae des anderen Kiefers liegen. Die palatinalen Höcker der Oberkieferzähne befinden sich somit in den Fossae der unteren Molaren, es entstehen Kontaktflächen an den unteren Randleisten und inneren Abhängen der unteren Molarenhöcker mit den palatinalen Höckern. Umgekehrt positionieren sich die bukkalen Höcker der Unterkiefer- Seitenzähne in den Fossae der oberen Seitenzähne, an deren inneren Abhängen und Randleisten die Kontaktflächen zu den bukkalen Höckern entstehen. Zu Abweichungen der Regelverzahnung der Seitenzähne zählen der Kopf- und der Kreuzbiss. Bei einem Kopfbiss stehen die bukkalen Höcker der Ober- und Unterkieferzähne sowie die lingualen Höcker aufeinander. Der Kreuzbiss zeichnet sich dadurch aus, dass bei der maximalen

Interkuspitation die unteren Seitenzähne vestibulär der oberen Seitenzähne stehen (Türp et al., 2006).

Aufgrund einer insgesamt größeren Ausbreitung in mesiodistaler Richtung stehen die Antagonisten des Ober- und Unterkiefers statt in einer Zahn-zu-Zahn-Beziehung in einer Zahn-zu-zwei-Zahn-Beziehung zueinander und sind dabei um etwa eine halbe Prämolarenbreite zueinander versetzt. Dadurch hat jeder Zahn in der Okklusion zwei Antagonisten des Gegenkiefers, einen „Hauptantagonisten (der gleichnamige Zahn des Gegenkiefers)“ und einen „Nebenantagonisten (der dem Hauptantagonist mesial benachbarte Zahn im Oberkiefer und distal benachbarte im Unterkiefer)“ (Türp et al., 2006, S.14). Eine Okklusionseinheit wird somit durch drei Zähne der beiden Kiefer gebildet und führt zu einer Stärkung der okklusalen Stabilität, wodurch ein Zahn erst keinen Antagonisten mehr aufweist, wenn zwei Zähne verloren gegangen sind (Türp et al., 2006). Diese Verzahnung entlastet einzelne Zähne während des Kauens, da die Kaukräfte auf die gesamte Einheit verteilt werden (Samandari und Mai, 2008).

Durch die Angle-Klassen können die Okklusionsbeziehungen klassifiziert werden. Die Angle-Klasse I (Neutralokklusion) entspricht der Regelverzahnung. Der mesiobukale Höcker des unteren Molaren steht mesial des oberen Molaren, sodass der mesiobukale Höcker des oberen Molaren auf der Querfissur (zwischen den beiden bukkalen Höckern) des unteren Molaren liegt. Bei der Angle-Klasse II (Distookklusion) liegt der untere Molar weiter distal, bei der Angle-Klasse III (Mesiookklusion) weiter mesial als vergleichsweise zu der Neutralokklusion (Türp et al., 2006).

Unterteilt in Kau- und Beißkräfte können auf die Zähne unterschiedliche Kräfte wirken. Unter Kaukraft versteht man die während des Kauens entwickelten Kräfte, die auf die Zähne übertragen werden. Dagegen befasst sich die Beißkraft mit den auf die Zähne übertragenen Kräften, die bei einem willkürlichen Aufbiss entstehen. Bei den Kräften kann es sich um maximale und submaximale Kräfte handeln, während die letzteren meist bei einmaligen Durch- bzw. Abbeißen von Substanzen gemessen werden. Zwischen den Molaren können etwa zwei- bis dreimal so große Beißkräfte mit einer Größenordnung von etwa 500-700 N entwickelt werden. Dabei sind diese Werte wesentlich geringer als die auf Grundlage des Muskelquerschnittes theoretisch ermittelten Kräfte von etwa 1560 N (Schindler und Hugger, 2006). Verschiedene Studien „lassen den Schluss zu, dass die Größe der maximalen Beißkräfte von der Belastbarkeit der beteiligten Gewebe und ihrer Kapazität, Kraft zu entwickeln, bestimmt werden“ (Schindler und Hugger, 2006, S. 127). Deutlich wird, dass zahnlose Menschen aufgrund eines geringeren Muskelquerschnittes als Bezahte im selben Alter vergleichsweise nur noch etwa 20% der maximalen

Beißkraft von etwa 70-80 N aufbringen können. Durch das Tragen von Totalprothesen liegt im Vergleich zu vorhandenen Parodontien nur noch eine parodontale Fläche von etwa 25% vor, die zur Übertragung der Kraft genutzt werden kann. Auf dieser Basis erhöhen implantatgetragene Prothesen die maximale Beißkraft um das zwei- bis dreifache, wobei diese immer noch um 60% geringer ist als die von Bezahnten (Schindler und Hugger, 2006). Die Kaufkräfte variieren abhängig von der Beschaffenheit der Nahrungsmittel und können im Bereich einzelner Zähne vertikale Kräfte zwischen 20 N und 150 N in den ersten Kauzyklen erreichen. In den späteren Kauzyklen nehmen die Kräfte um 20% bis 60% ab. Um etwa ein Drittel geringer sind die horizontalen Kräfte. Nur etwa 4-70 N werden bei Zahnlosen als Kaukraft aufgebracht. Bei dem Tragen von Totalprothesen wird eine etwa sechzigprozentige Nutzung des maximalen Kraftpotentials vergleichsweise zu einer Nutzung von nur 20- 30% bei Bezahnten deutlich (Schindler und Hugger, 2006).

Mit der Analyse der maximalen Beißkraft in verschiedenen Altersgruppen unter Berücksichtigung des Geschlechts und des BMI befassten sich Takaki et al. (2014). Die einhundert Probanden wurden abhängig von ihrem Alter gleichmäßig in fünf geschlechtsunterschiedliche Gruppen eingeteilt: vorpubertäre, pubertäre und nachpubertäre Gruppe sowie junge Erwachsene und Erwachsene. Die weiblichen Probanden nahmen ab einem Alter von elf Jahren, die männlichen Probanden ab zwölf Jahren mit einem gemeinsamen maximalen Alter von sechzig Jahren teil. Eine intakte bleibende und gesunde Dentition der Probanden unabhängig ihres Okklusionstyps war Bedingung. Die maximale Beißkraft wurde mit einem digitalen Dynamometer gemessen, das abwechselnd auf die ersten Molaren und auf beiden Seiten des Zahnbogens platziert wurde. Es folgten drei Messungen auf jeder Seite in einem Intervall von zwei Minuten, wobei die Probanden so fest wie möglich zubeißen mussten. Es wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Werten der maximalen Beißkraft unter den Altersgruppen gefunden. Auch eine Interaktion von Alter und Geschlecht konnte nicht ermittelt werden. Somit bestimmt weder das Alter noch das Geschlecht die maximale Beißkraft, ebenso wurde kein signifikanter Zusammenhang zum BMI gefunden. Zusammenfassend zeigte sich, dass die maximale Beißkraft während der menschlichen Entwicklung variiert. Bei Frauen steigt die Beißkraft bis zum Erwachsenenalter an, bevor sie dann jedoch ab etwa 25 Jahren sinkt. Bei Männern ist die maximale Beißkraft - unabhängig vom Alter - größer als bei Frauen.

Unter der Annahme früherer Studien, dass die Pulpa der menschlichen Frontzähne Mechanorezeptoren enthält, die durch einen Schutzmechanismus die maximale Beißkraft limitiert, untersuchten Paphangkorakit und Osborn (1998) die Auswirkungen auf die

Beißkraft beim Beißen auf harte und weiche Objekte. Sie folgerten auf der Basis ihrer Ergebnisse, dass die maximale Beißkraft größer ist, wenn auf eine weiche Oberfläche (Gummi) statt auf eine harte Oberfläche (Kunststoff) gebissen wird. Die Zähne sinken in die weiche Oberfläche ein, wodurch sich die Beißkraft über einen großen Bereich verteilen kann und so die lokale Belastung reduziert. Diese Reduzierung erlaubt einen Anstieg der Beißkraft. Eine vorherige Überdeckung des Zahnes durch eine Kunststoffkrone reduziert nach Paphangkorakit und Osborn (1998) bereits die Belastung und die Beißkraft wird über einen großen Bereich der Frontzahnkrone verteilt. Dadurch entsteht kein oder nur ein kleiner Unterschied der Beißkraft, wenn auf Gummi oder Kunststoff gebissen wird.

1.3 Kaumuskulatur

Bei der Kaumuskulatur handelt es sich um feinmotorische, sehr kompetente quergestreifte Skelettmuskulatur, die Öffnungs- und Schließbewegungen des Unterkiefers bewirkt. Im engeren Sinne bezeichnet man als Kaumuskeln nur die Muskeln, die sich zwischen Ober- und Unterkiefer befinden, und grenzt sie von der Mundbodenmuskulatur ab. Die Mundbodenmuskeln bewirken zusammen mit der Schwerkraft eine Kieferöffnung und sind für die Nahrungsaufnahme und den Schluckvorgang wichtig, während die Kaumuskulatur für die Zerkleinerung und Formung des Nahrungsbolus verantwortlich ist. Die vom ersten Viszeralbogen abstammenden Kaumuskeln werden von dem N. mandibularis (3. Ast des N. trigeminus) innerviert. Bei den vier paarigen Kaumuskeln befinden sich zwei Paare auf der Außenseite des Kiefers und zwei auf der Innenseite, wobei aber alle Muskeln am unbeweglichen Schädel ihren Ursprung haben und am beweglichen Unterkiefer ansetzen. Die äußeren Mm. masseter und Mm. temporales sind vorrangig für die Kraftaufbringung und den Umfang der Bewegung verantwortlich, dagegen regulieren die inneren Mm. pterygoideus lateralis und Mm. pterygoideus medialis die Gelenkkopfbewegung in der Pfanne (Samandari und Mai, 2008).

Die Kaumuskeln haben die Aufgaben den Kiefer (1) zu öffnen und zu schließen, (2) vor- und zurückzuschieben und (3) bei Mahlbewegungen zur Seite zu schieben. Die Mundbodenmuskulatur mit Unterstützung des M. pterygoideus lateralis bewirkt eine Kieferöffnung, im Gegensatz zu den M. temporalis, M. masseter und M. pterygoideus medialis, die eine Schließbewegung und Herstellung der Okklusion erreichen. Aufgrund der Faserrichtung des fächerförmigen Schläfenmuskel M. temporalis wirkt die Kraft mehr auf die anterioren Zähne, während der am Kieferwinkel ansetzende äußere M. masseter und der innere M. pterygoideus medialis (Muskelschlinge) ihre Kraft auf die posterioren

Zähnen lenken. Der M. temporalis agiert hauptsächlich bei schnellen Schließbewegungen und die Muskeln der Muskelschlinge (M. masseter und M. pterygoideus medialis) beim kräftigen Kauen. Bei Schließbewegungen arbeiten die Muskeln der Muskelschlinge einer Seite zusammen (Synergisten), während bei Seitwärtsbewegungen der Masseter der einen Seite mit dem M. pterygoideus medialis der anderen Seite (Antagonisten) zusammenarbeitet. Vorgeschoben wird der Kiefer vor allem durch den M. pterygoideus lateralis. Bei gleichzeitiger Aktivierung der Mm. pterygoideus lateralis unter Beteiligung der Mm. masseter werden die Kondylen mit dem Diskus nach vorne geschoben, sodass das Kinn etwa 1,5 cm weiter vorne liegt. Durch die notwendige Vorwärtsbewegung des Kiefergelenks bei der Mundöffnung ist der M. pterygoideus lateralis neben der Mundbodenmuskulatur sehr wichtig. Bei einseitiger Aktivierung wird der Unterkiefer zur Gegenseite gedreht, was bei den Mahlbewegungen hilfreich ist. Durch die hinteren waagerechten Temporalisfasern wird der Unterkiefer nach hinten bewegt (Samandari und Mai, 2008).

Der Temporalis ist „ein Mundschließer auf Schnelligkeit, der Masseter hingegen ein Mundschließer auf Kraft“ (Samandari und Mai, 2008, S. 152). Daher kann der Temporalis im Gegensatz zum Masseter Bewegungen in jeder Stellung anhalten, was ihn als Feinregulator auszeichnet (Samandari und Mai, 2008). Der Temporalis hat eine stabilisierende Funktion, während der Masseter hohe Kräfte zwischen den Zähnen aufbauen kann (Schindler und Hugger, 2006). Dabei sind der Masseter und der anteriore Temporalis bei der Kraftübertragung auf die Zahnreihen durch das Zubeißen in der Interkuspitation oder auf Aufbissbehelfen am aktivsten. Der Masseter kann bei dem Aufbiss auf ein Aufbissbehelf im Vergleich zur Interkuspitation eine 20% höhere Aktivität aufbringen. Sowohl für den Masseter als auch für den Temporalis liegen reduzierte Aktivitäten um etwa 50% bei Frontzahnkontakten vor (Schindler und Türp, 2006).

Die quergestreifte Muskulatur, zu der die Kaumuskeln zählen, besteht aus länglichen Muskelfasern oder Muskelzellen, die mit dem neuronal versorgenden Motoneuron zu sog. motorischen Einheiten (MU) integriert sind und so die kleinsten funktionellen Einheiten des Muskels repräsentieren. Diese MUs können einige wenige bis zu tausende Einzelfasern integrieren. Eine Muskelfaser ist von der Zellmembran (Sarkolemm) umgeben, die sich zusätzlich in Form von transversalen Tubuli (T-Tubuli) orthogonal in das Zellinnere einstülpt und so eine Verbindung mit dem Extrazellularraum darstellt. Innerhalb des Zytoplasmas (Sarkoplasma) liegen die für die Kontraktion verantwortlichen Myofibrillen Aktin und Myosin. Ein Aktinfilament (F-Aktin) bildet sich dabei aus verdrehten Ketten von Aktinproteinen (G-Aktin). Das Tropomyosin liegt in den Windungen der Aktinfilamente und ist mit dem Troponin verbunden; es verdeckt im Ruhezustand die

Myosinbindungsstelle am Aktin. Der Kopf des Proteins Myosin befindet sich am Ende des langen Schaftes und ist seitlich beweglich. Während der Kontraktion binden die Myosinköpfe wiederholt an das Aktin, kippen ab und ziehen sich am Aktin entlang. Die Mitochondrien und das sarkoplasmatische (= endoplasmatische) Retikulum befinden sich ebenfalls im Sarkoplasma. Die Longitudinal-Tubuli (L-Tubuli) entsprechen dem sarkoplasmatischen Retikulum und speichern Kalzium-Ionen. Die in enger Lagebeziehung stehenden T-Tubuli und L-Tubuli sind wichtig für das Auslösen einer Muskelkontraktion (Huppelsberg und Walter, 2009; Michels und Neumann, 2007).

Eine einzelne Muskelfaser der Kaumuskulatur hat einen Durchmesser zwischen 10 μm und 50 μm im Vergleich zu der dickeren Muskulatur von Extremitäten und des Rumpfes mit etwa 10 μm bis 100 μm (Schindler und Türp, 2006). Dabei sind die einzelnen Muskelfasern bindegewebig vom Endomysium umgeben. Ein Bündel von Muskelfasern umgibt das Perimysium, während die Gesamtheit der Muskelbündel und somit der gesamte Muskel vom Epimysium umhüllt wird. Die Faszie, die sowohl Nerven als auch Blutgefäße für den Muskel enthält, liegt als ein straffer, bindegewebiger Mantel auf dem Muskel auf und bewirkt eine Abgrenzung und einen Schutz des Muskels gegenüber der Umgebung. An den Muskelenden geht die Faszie in die Muskelsehnen über (Fox, 1999; Schindler und Türp, 2006).

„Die sensorischen Nerven enthalten die Fasern der Muskelspindeln (Ia-Fasern), Sehnenorgane (Ib-Fasern) und zahlreiche freie Nervenendigungen (III-, IV-Fasern). Die aus den Motoneuronen des N. trigeminus hervorgehenden motorischen Nerven ($A\gamma$ -, $A\alpha$ -Fasern) versorgen die intrafusalen Muskelfasern der Muskelspindel ($A\gamma$) und die extrafusalen Muskelfasern ($A\alpha$)“ (Schindler und Türp, 2006, S. 88). Dabei kann ein Motoneuron mehrere Muskelfasern versorgen, umgekehrt jedoch kann eine Muskelfaser nur durch ein Motoneuron versorgt werden. Eine motorische Einheit umfasst dabei das Motoneuron und die innervierten Muskelfasern und ist die kleinste motorische Einheit in einem Muskel. Bei feinen Bewegungen mit geringer Kraft werden weniger Einheiten benötigt. Das zeigt sich bei den motorischen Einheiten der äußeren Augenmuskeln mit etwa fünf Muskelfasern pro Einheit vergleichsweise zu den etwa hundert Muskelfasern einer Einheit beim M. temporalis. Die Rekrutierung der motorischen Einheiten wird durch das zentrale Nervensystem (ZNS) geregelt, das erst kleinere Einheiten aktiviert und bei der Notwendigkeit einer höheren Kontraktionskraft zusätzlich noch größere Einheiten anregt (Huppelsberg und Walter, 2009; Rüdel, 1998).

Die motorische Endplatte ist eine cholinerge Synapse, mit der der motorische Nerv die Muskelfasern aktiviert. Nach einer Erregung in Form eines elektrischen Aktionspotentials

(AP) des Motoneurons gibt dieses den Transmitter Acetylcholin (ACh) in den synaptischen Spalt zwischen Motoneuron und Muskelfaser ab. Das Acetylcholin diffundiert durch den Spalt und setzt an nikotinergen Cholinrezeptoren der postsynaptischen Membran des Muskels an und führt zur Öffnung eines Kationen-Kanals. Durch den Einstrom der positiven Natrium-Ionen kommt es zu einer Depolarisierung: das negativ vorherrschende Membranpotential verändert sich. Die durch die Depolarisierung ausgelösten kurzen Endplattenpotentiale (EPP) können nach Überschreitung einer Schwelle in ein Aktionspotential übergehen, das sich elektrisch über die gesamte Muskelfaser ausbreitet. Ein Aktionspotential wird im M. masseter mit einer Geschwindigkeit von etwa 12 m/s verbreitet (Biceps brachii: ca. 4 m/s). Durch die Depolarisation öffnen sich spannungsabhängige Dihydropyridin-Rezeptoren, die einen Kalzium-Einstrom durch die einstülpenden T-Tubuli in das Zellinnere bewirken. Ebenfalls führt es zu einem Austritt von Kalzium-Ionen aus dem sarkoplasmatischen Retikulum (L-Tubuli), das ein großer Kalziumspeicher ist. Die Konzentration des Kalziums im Sarkoplasma erhöht sich von 10^{-7} auf 10^{-5} mol/l. Das Kalzium bindet an Troponin und bewirkt die Freigabe des Tropomyosin, das im Ruhezustand die Myosinbindungsstelle des Aktins verdeckt. Der Myosinkopf bindet an das Aktin und bildet eine Querbrücke. Durch die energieverbrauchende Spaltung von ATP (Adenosintriphosphat) kommt es zum Abknicken des Myosinkopfes, der sich nach Wiederholung dieses Vorganges am Aktin entlangzieht und so zu einer Verkürzung (Kontraktion) führt. Dieser Verkürzungsprozess findet gleichzeitig in allen Sarkomeren einer Muskelfaser statt, was eine Muskelverkürzung bis zu 50% mit sich bringt. Liegen keine Aktionspotentiale mehr vor, wird das Kalzium unter Energieverbrauch zurück in das sarkoplasmatische Retikulum gepumpt, um dort das Kalzium für die nächste Kontraktion zu speichern. Ein geringer Anteil des Kalziums verlässt die Zelle. Durch die dadurch geringe Kalzium-Konzentration im Sarkoplasma verdeckt das Tropomyosin wieder die Bindungsstelle des Myosins am Aktin und verhindert so eine weitere Verbindung zwischen Aktin und Myosin (Huppelsberg und Walter, 2009; Schindler und Türp, 2006).

1.4 Oberflächen-Elektromyographie

Die Elektromyographie (EMG) ist ein Verfahren, mit dem die elektrische Aktivität eines Muskels durch Ableitung eines sich im Volumenleiter ausbreitenden Membranpotentials gemessen wird. Mittels Nadel- oder Drahtelektroden, die in den Muskel eingestochen werden, und durch Oberflächenelektroden, die auf das Hautareal des darunterliegenden Muskels geklebt werden, können die Muskelaktionspotentiale registriert werden. Die EMG ist ein wichtiges klinisches Hilfsmittel zur Diagnose von Muskel- und Nervenerkrankungen

(Rüdel, 1998; Huppelsberg und Walter, 2009). Zudem wird sie in den Bereichen Sportwissenschaft, Physiotherapie, Rehabilitation und Arbeitswissenschaft angewandt. (Konrad, 2005). In der Zahnmedizin können quantitative Aussagen über die Funktion der Kaumuskulatur nur durch die EMG gemacht werden. Die Parameter Ruheaktivität, maximale Muskelaktivierung, Frequenzspektrum bei anhaltender Belastung und Symmetrie des Kontraktionsverhaltens beider Kieferseiten ermöglichen mit Hilfe der EMG-Ableitungen Aussagen über die Funktionsfähigkeit des neuromuskulären Systems, insbesondere auch im Kontext von prothetischen Rehabilitationen. Zusätzlich können der Schmerzeinfluss auf das neuromuskuläre System und die individuelle Wirkweise von Funktionstherapie beurteilt werden (Hugger et al., 2008).

Bei der Oberflächen-Elektromyographie werden die Muskelaktivitäten nicht-invasiv durch die Verwendung von Oberflächelektroden abgeleitet. Diese Elektromyographie eignet sich vor allem für oberflächlich gelegene Muskeln wie den M. masseter und M. temporalis, während für tieferliegende Muskeln intramuskuläre Nadel- oder Drahtelektroden erforderlich sind. Heutzutage werden aufgrund der hohen Reproduzierbarkeit der Daten vorrangig bipolare Elektroden gewählt (Konrad, 2005; Hugger et al., 2008). Bei der Oberflächen-EMG werden dem Hautareal mittig auf dem zu untersuchenden Muskelbauch die Haare entfernt, gefolgt von einem Peeling und der Entfettung der Haut mit Alkohol. Ziel dieser Vorbereitung ist - neben der besseren Haftbarkeit der Elektroden auf der Haut - den Hautleitwiderstand (Impedanz) weitmöglichst zu reduzieren. Die mit einem silberchloridhaltigen Gel versehenen Elektroden haben einen Durchmesser von etwa 1 cm und werden in einem Interelektrodenabstand von etwa 20 mm in Muskelfaserrichtung mittig auf den Muskelbauch geklebt. Die Referenzelektrode wird auf einem über Knochen liegenden Hautbereich positioniert, der nicht innerhalb des Erregungsfeldes des Muskels liegt (Hugger et al., 2008). Die unvermeidliche Variabilität bei der Oberflächen-EMG ist von vielen Faktoren wie zum Beispiel Form, Größe und Positionierung der Elektroden sowie dem Versuchsablauf abhängig (Castroflorio et al., 2008). Dabei kann die genaue Positionierung der Elektroden und der Interelektrodenabstand eine Reduzierung der elektromyographischen Variabilität und so eine Erhöhung der Reproduzierbarkeit bewirken (Castroflorio et al., 2005). Hierzu können anatomische Orientierungen, die auf die Haut aufgezeichnet werden, hilfreich sein, um Elektroden genau repositionieren zu können. So haben Bodéré et al. (2005) die Elektroden für den Masseter unter Zuhilfenahme der Verbindungslinie von Tragus und Mundwinkel positioniert. Die Anfertigung einer Positionierungsfolie für weitere Untersuchungstermine ist dafür ebenfalls sinnvoll und sichert neben fast identischen

Umgebungsbedingungen und Anweisungen an die Probanden die Reproduzierbarkeit (Hugger et al., 2008).

Um einen Vergleich von EMG-Daten zwischen verschiedenen Personen, Messuntersuchungen und Messzeitpunkten zu erreichen, werden die unbearbeiteten EMG-Amplituden (Einheit: mikroV) normiert. Bei der MVC-Normierung (MVC = maximale voluntäre Kontraktion) wird die maximale EMG-Amplitude zu 100% angesetzt und die gemessenen EMG-Werte prozentual zu diesem maximalen Wert angegeben (Hugger et al., 2008).

Wie bereits in 1.3 beschrieben, muss einer Muskelkontraktion ein elektrischer Impuls in Form eines Aktionspotentials des Motoneurons vorausgehen. Durch das elektrische Aktionspotential kommt es aufgrund der elektromechanischen Kopplung zu einem Einstrom von positiven Natrium-Ionen in die Muskelfaser, die das negative Membranpotential (etwa -80 bis -90 mV im nicht-kontrahierten Zustand) der Muskelfaser auf etwa $+30$ mV anheben (Schindler und Türp, 2009; Konrad, 2005). Aufgrund eines aktiven ausgleichenden Ionenstroms kommt es nach der Depolarisation zu einer Repolarisation der Membran, wodurch das negative Potential wiederhergestellt wird. Dabei herrscht zwischen der intra- und extrazellulären Seite der Muskelmembran eine Potentialdifferenz (Dipol), sodass ein positives Potential, ausgelöst durch ein Aktionspotential auf der Innenseite aufgrund von Ionenströmen, zu einem negativen Potential auf der Außenseite führt (Konrad, 2005). „Das EMG-Signal entsteht aus dem Aktionspotential der Muskelfasermembran und dem zugrundeliegenden Depolarisations-Repolarisationsablauf“ (Konrad, 2005, S. 7). Dabei wandert das Aktionspotential mit einer Geschwindigkeit von etwa 2 bis 6 m/s entlang der Muskelfaser und kann von den ableitenden Elektroden erfasst werden (Konrad, 2005). Man unterscheidet zwischen uni- und bipolaren Ableitungen. Bei einer unipolaren Ableitung liegt nur eine Messelektrode (differente Elektrode) im Bereich der ableitenden Struktur und eine Referenzelektrode (indifferente Elektrode) in einer nicht durch die Erregung betroffenen Stelle vor. In diesem Fall kommt es nur zu einer einfachen Potentialmessung der Erregung durch die Messelektrode und nicht zu einer Messung durch die Referenzelektrode gegen das Bezugspotential. Bei einer bipolaren Ableitung liegen zwei Elektroden in nächster Nähe im Erregungsbereich. Liegt keine Erregung vor, leiten beiden Elektroden ein positives Potential ab, sodass die Potentialdifferenz der beiden Elektroden 0 beträgt. Sobald die Erregung in Form der Depolarisierung die erste Elektrode passiert, leitet diese ein negatives Potential ab, die noch nicht im Erregungsfeld liegende zweite Elektrode registriert noch immer ein positives Potential. Im nachgeschalteten Verstärker wird die Differenzbildung der Signale der beiden Elektroden vorgenommen. Am Ausgang des

Differentialverstärkers liegt in diesem Fall eine steigende Spannung vor. Zieht der Erregungsprozess weiter Richtung der zweiten Elektrode, wird dort ein negatives Potential und bei der ersten Elektrode aufgrund der Repolarisation ein positives Potential aufgezeigt. Hier ist die Spannung im Vergleich zum Ausgang am größten und endet wieder bei 0 nach Abschluss der Erregung (Hugger et al., 2008; Konrad, 2005). Die Differenzbildung zwischen den beiden Elektroden dient der Eliminierung von externen elektromagnetischen Störungen, die zeitgleich beide Elektroden erreichen. Grundsätzlich werden Amplitude und Form des elektrischen Signals im Wesentlichen von der Leitfähigkeit des Gewebes, dem Abstands der Elektroden voneinander sowie ihrer Entfernung von der Signalquelle bestimmt (Hugger et al., 2008).

Ein Muskel besteht aus mehreren motorischen Einheiten (MU), deren Muskelfasern gleichzeitig aktiviert werden. Dabei leiten die Elektroden zwar alle Potentiale der erregten Muskelfasern ab, aufgrund deren unterschiedlichen räumlichen Abständen zu den Elektroden werden diese aber mit geringen Laufzeitunterschieden registriert. Diese Potentiale werden überlagert, wodurch sich ein Interferenzsignal ergibt (Hugger et al., 2008; Konrad, 2005).

2. Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit war es, die Wirkung verschiedener einseitiger und beidseitig transversaler okklusaler Veränderungen auf die elektromyographische Aktivität der Kaumuskeln M. masseter und M. temporalis bei submaximalem Zubiss mit 10% und 35% der maximalen voluntären Kontraktion (MVC) an einer Gruppe von zwanzig funktionsgesunden Probanden (Durchschnittsalter: 25,3 Jahre) zu untersuchen. Es sollte geklärt werden, ob Aktivitätsunterschiede zwischen den Muskeln bei unterschiedlichen Aufbisspositionen und Aufbissintensitäten zu beobachten sind und welche Reliabilität der durch Oberflächen-Elektromyographie (EMG) ermittelten Muskelaktivitäten in verschiedenen Messsituationen erreicht werden kann.

Bei den okklusalen Veränderungen handelte es sich um zahnbezogene Zuschnitte aus Polykarbonatfolie, die reversibel für die verschiedenen Aufbissituationen auf den Unterkieferzähnen (1. und 2. Molaren, 1. und 2. Prämolaren, Eckzähne und Frontzähne) positioniert wurden. In der vorliegenden Arbeit, die ein Teil einer gemeinsamen klinischen Studie darstellt, wurden einseitig und beidseitig transversal positionierte okklusale Interferenzen mit einer Stärke von 0,4 mm und bei Frau Mara Koch mit einer Stärke von 0,8 mm verwendet. Die Auswirkungen auf die Muskelaktivitäten durch beidseitig diagonal positionierte okklusale Veränderungen, umgesetzt durch 0,4 mm starke Aufbisserhöhungen, wurden von Frau Kristina Nöh und mit einer Stärke von 0,8 mm von Frau Luzie Winkler untersucht.

3. Methoden und Materialien

3.1 Probanden

An der Studie nahmen zwanzig funktionsgesunde vollbezahnte Probanden im Alter zwischen zwanzig und vierzig Jahren teil. Das Durchschnittsalter der Probanden betrug 25,3 Jahre (Median: 24,5 Jahre). Die Anzahl der Männer und Frauen stand im gleichen Verhältnis zueinander.

Die Probandengruppe bestand vorwiegend aus Studierenden der Zahnmedizin im klinischen Studienabschnitt. Die Auswahl der Probanden erfolgte auf Grundlage einer zahnärztlichen Untersuchung. Die vollbezahnten Teilnehmer durften neben dem Fehlen einer craniomandibulären Dysfunktion (CMD) auf Basis der Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (RDC/TMD, Dworkin et al. 1992) keine der unten aufgeführten weiteren Ausschlusskriterien aufweisen.

Ausschlusskriterien

- Erkrankungen mit Beteiligung des Zentralnervensystems / peripheren Nervensystems
- Schwangerschaft
- Herzschrittmacher und Tiefhirnstimulatoren
- Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises sowie Fibromyalgie
- Allergie auf Dentalkunststoff
- Sedierende Medikation
- Vigilanzstörungen anderer Genese
- Drogen-, Medikamenten-, Alkoholabusus
- Schwere psychische/psychiatrische Erkrankungen (wie endogene Depression, schizophrene Störungen, schwere Zwangs- bzw. Angststörungen)
- Alter über vierzig oder unter zwanzig Jahren
- Fehlende Deutschkenntnisse
- Bei Männern: Vollbart
- Schmerzen dentogener oder parodontaler Ursache
- Kiefergelenkoperationen (in der Vergangenheit erfolgt oder zukünftig geplant)
- Behandlung mit Aufbissbehelfen oder andere Formen der Myoarthropathie (MAP)-Behandlung in den letzten vier Wochen
- Aktuelle Hals / Nasen / Ohren (HNO)-Erkrankungen bzw. HNO-Behandlungen (außer Tinnitus)
- Faziale oder zervikale Traumata in den letzten vier Wochen
- Dauer-Aufbissschienträger
- Fehlende Vollbezahnung (festsitzender Zahnersatz wie Kronen und Brücken erlaubt!)

In der Voruntersuchung wurde das Fehlen dieser Ausschlusskriterien anhand eines Fragebogens und der klinischen Untersuchung überprüft. Eine Aufklärung über Ziel, Teilnahmebedingungen und Ablauf der Studie erhielten die Probanden in Form einer Probandeninformation und erklärten sich schriftlich bereit, an der Studie teilzunehmen.

Die Durchführung der klinisch-experimentellen Studie an Probanden wurde durch Votum der Ethikkommission an der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf befürwortet (Studennummer 3935).

3.2 Untersuchungsmaterialien

Im Rahmen der Untersuchung der Kaumuskulatur mittels Oberflächen-Elektromyographie wurden bipolare Ag/AgCl-Einmal-Klebeelektroden (Dual Electrodes, Fa. Noraxon, Scottsdale/USA) mit einem Durchmesser von 14 mm und einer Zwischenelektrodenabstand von 20 mm verwendet. Vor der Verwendung der Elektroden wurden Hautareale im Bereich des M. masseter und des M. temporalis anterior durch handelsübliche Peeling-Pads und Hautdesinfektionsmittel entfettet, um den elektrischen Widerstand der Haut zu reduzieren. Männer wurden zusätzlich gebeten, sich vor der Untersuchung im Bereich des M. masseter zu rasieren.

Durch Palpation der Muskeln bei maximaler voluntärer Kontraktion (MVC) wurden die Elektroden mittig auf die Muskelbäuche des M. masseter (parallel zum Muskelfaserverlauf) und im anterioren Schläfenbereich auf entsprechende Anteile des M. temporalis anterior reversibel und noninvasiv aufgebracht. Bei den Temporalis-Elektroden wurde neben einem Abstand zum Haaransatz auf eine möglichst weite Entfernung zum Auge geachtet, um mögliche Interferenzen mit der Aktivität der Augenmuskeln zu vermeiden. Die Referenzelektrode wurde im Bereich des rechten Processus mastoideus platziert.

Um die Lage der Oberflächenelektroden in den folgenden Sitzungen zu reproduzieren, wurde auf Kunststoff-Klarsichtfolien, die an jede Gesichtsseite nach Bezugslinien angelegt und ausgerichtet wurden, die Umrisskontur der Elektroden dokumentiert. Die Verbindungslinie zwischen dem Oberrand des Tragus und dem lateralen Augenwinkel wurde für jede Gesichtsseite auf die Folie übertragen, sodass eine genaue Reproduktion der Elektrodenlage auf der Haut in den folgenden Hauptuntersuchungen gewährleistet werden konnte.

Elektromyographische Daten wurden anhand des 4-Kanal-Oberflächen-Elektromyographiegerätes EMG4 der Firma Zebris Medical (Isny/Allgäu) gewonnen. Die

elektromyografischen Signale wurden durch einen Differenzverstärker (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.

Die Unterkieferzahnreihen der Probanden wurden mit konventionellem Dental-Alginat abgeformt, um über die im Dentallabor hergestellten Hartgipsmodelle individuelle Tiefziehfolien aus Polykarbonat herzustellen. Verwendet werden diese üblicherweise für die Herstellung von Aufbissbehelfen oder provisorischen Kronen und Brücken. Die Tiefziehfolien wurden zahnbezogen zugeschnitten, sodass in den Hauptuntersuchungen jedem Zahn eine okklusale Erhöhung von etwa 0,4 mm in Form des Folienzuschnittes reversibel aufgesetzt werden konnte.

3.3 Untersuchungsdurchführung

Für jeden Probanden wurden jeweils drei Untersuchungssitzungen angesetzt. Die Sitzungen gliederten sich in eine Voruntersuchung und zwei Hauptuntersuchungen; die beiden letzteren erfolgen in einem Abstand von mindestens 14 Tagen.

In der **Voruntersuchung** wurden neben der Abklärung eventueller Ausschlusskriterien elektromyographische und kinematische Untersuchungen an den Probanden durchgeführt, um diese für die folgenden Hauptuntersuchungen als geeignet einzustufen.

In den beiden **Hauptuntersuchungen** wurden die Zähne des Unterkiefers mit okklusalen Erhöhungen durch reversibles Aufsetzen von zahnweise zugeschnittenen Polykarbonatfolien versehen. Dabei wurden unterschiedliche Aufbissituationen (einseitig bzw. beidseitig transversal) simuliert. Der Aufbiss wurde im Sinne eines Biofeedbacks auf 10% sowie 35% MVC (bezogen auf Masseter) standardisiert und die einzelnen Muskelaktivitäten des rechten und linken M. masseter und des rechten und linken M. temporalis anterior aufgezeichnet.

Bei den einseitigen Aufbissituationen wurden die zahnbezogen zugeschnittenen Polykarbonatfolien in festgelegter Reihenfolge auf folgende Zähne des Unterkiefers aufgesetzt: den zweiten Molaren (M2), den ersten Molaren (M1), den zweiten Prämolaren (P2), den ersten Prämolaren (P1), den Eckzahn (E) und die Frontzähne (F). Die jeweilige Unterkieferseite für die Positionierung des Aufbissbehelfs (rechts bzw. links) wurde zuvor randomisiert ermittelt und als Referenzseite definiert.

Die beidseitig transversalen Situationen umfassten folgende fünf Varianten: beidseitiger Aufbiss im Bereich der zweiten Molaren (M2-M2), der ersten Molaren (M1-M1), der zweiten Prämolaren (P2-P2), der ersten Prämolaren (P1-P1) und der Eckzähne (E-E).

Für alle Aufbissituationen wurde die Muskelaktivität bei jeweils leichter (10% MVC) und fester (35% MVC) Aufbissintensität gemessen. Den Probanden wurde dafür eine auf die jeweils individuell ausgerichtete, maximale Aufbissaktivität (= 100% MVC) skalierte waagerechte Linie auf dem Bildschirm eingeblendet, die 10% MVC bzw. 35% MVC entsprach. Mittels visueller Feedbackkontrolle wurden die Probanden gebeten, die Muskelaktivität (bezogen auf Masseter) so zu steuern, dass durch entsprechendes Zubeißen diese waagerechte Linie gerade eben überschritten wird. Die jeweilige Aufbissintensität (10% bzw. 35% MVC) war für die Dauer von mindestens zwei Sekunden aufrecht zu erhalten; danach sollte sich der Proband entspannen. Dieses Procedere wurde mit jeweils kurzer Pause zweimal wiederholt. Für jede Aufbissituation erfolgte die Reihenfolge des leichten und festen Aufbisses randomisiert. Nachdem jede Aufbissituation mit leichter und fester Aufbissintensität absolviert worden war, folgte eine Entspannungs- / Dekonditionierungsphase von rund zwei Minuten. Alle Einzelmessungen im Rahmen der ersten Hauptuntersuchung wurden in der zweiten Hauptuntersuchung nach frühestens 14 Tagen mit identischen Aufbissituationen wiederholt.

3.4 Datenverarbeitung

Zur Auswertung der elektromyografisch ermittelten Messwerte wurde das Programm WinJaw (Version 10.6.85, Firma Zebris Medical, Isny/ Allgäu) herangezogen, das die Muskelaktivität der rechten und linken Masseter- und Temporalismuskeln einzeln grafisch darstellt und für den selektierten Zeitabschnitt von zwei Sekunden die jeweiligen Messwerte (in μV) als Mittelwerte ausgibt. Alle muskelbezogenen Messwerte wurden zusammen mit entsprechenden Angaben zu den Parametern Geschlecht, Alter, Referenzseite, Aufbisslage (M2, M1, P2, P1, E, F), Aufbissverteilung (einseitig, beidseitig transversal) in eine Excel-Tabelle übertragen.

Da zu jeder Aufbissituation und zu jeder Aufbissintensität (10% bzw. 35% MVC) die Werte der Muskelaktivität dreimal hintereinander aufgezeichnet wurden, erfolgte eine Mittelwertberechnung aus den muskelbezogenen drei Einzelwerten (jeder Einzelwert wiederum Mittelwert aus allen Messwerten über zwei Sekunden).

Die Werte der Muskelaktivität des rechten und linken Masseters sowie des rechten und linken Temporalis wurden durch Quotientenbildung zusammengefasst. Dabei wurde die Muskelaktivität der jeweiligen Referenzseite (rechts oder links) durch die Muskelaktivität

der Gegenseite dividiert. Durch diese Quotientenbildung konnten die Messungen mit unterschiedlichen Referenzseiten verglichen werden.

Für jeden der vier einzelnen Kaumuskeln wurden die mittleren Muskelaktivitäten der jeweiligen Aufbisspositionen bei den verschiedenen Aufbissintensitäten innerhalb der Untersuchungstermine in μV dargestellt, gefolgt von den in μV angegebenen mittleren Differenzen zwischen den Muskelaktivitäten der beiden Untersuchungssitzungen für die verschiedenen Aufbisspositionen und Intensitäten, deren Standardabweichung, Minimal- und Maximalwerte und deren Bereich. Ebenso wurden die auf die mittleren Muskelaktivitäten bezogenen signifikanten Unterschiede ($P < 0,05$) der beiden Untersuchungssitzungen angegeben.

3.5 Statistische Analyse

Die statistischen Berechnungen wurden mit dem Softwareprogramm Sigmaplot (Version 12.0, Systat Software, Inc., 2011) durchgeführt. Mit Hilfe dieses Programms wurde nach Prüfung auf Normalverteilung und Gleichheit der Varianzen eine zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit den Faktoren Aufbisslage (M2, M1, P2, P1, E, F) und Aufbissverteilung (einseitig, beidseitig) für das Aktivitätsverhältnis des M. masseter (Masseter Referenzseite / Masseter Gegenseite) und des M. temporalis anterior (Temporalis Referenzseite / Temporalis Gegenseite) durchgeführt. Eine weitere zweifaktorielle Varianzanalyse beinhaltete die Faktoren Aufbissintensität (10% MVC, 35% MVC) und Aufbissverteilung (einseitig, beidseitig). Der Schwellenwert für signifikante Unterschiede wurde bei einem p-Wert von $< 0,05$ festgelegt.

Mit Hilfe des Softwareprogramms SPSS (Version 22) wurden Untersuchungen zur Reliabilität der Messwerte (mittlere Muskelaktivitäten des M. masseter und M. temporalis) anhand der Berechnung der Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) durchgeführt. Ergänzend erfolgten paarige Vergleiche entsprechender Messwerte der ersten und zweiten Hauptuntersuchung durch Anwendung des T-Testes im explorativen Sinne.

„Der ICC ist ein Zusammenhangsmaß mit Werten zwischen -1 und $+1$. Er ist als Korrelationskoeffizient 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. Mit dem ICC versucht man die beiden Aspekte „Korrelation und Unterschiede“ im mittleren Niveau der Werte in einer Maßzahl zu vereinen. Diese Maßzahl hat die Bedeutung und den Wertebereich eines Korrelationskoeffizienten. Sie

erreicht aber nur dann hohe Werte (nahe +1 oder nahe -1), wenn neben der Richtung auch das Niveau der beteiligten Merkmale übereinstimmt“ (Krentz, 2008, S.128).

Beurteilt wurden die Werte des Intraklassenkorrelationskoeffizienten durch die Klassifizierung nach Cohen, wie in Tabelle 1 ersichtlich (Rubin, 2009).

ICC	Bezeichnung
< 0,2	geringe Reproduzierbarkeit
0,5 – 0,6	mittlere Reproduzierbarkeit
>0,8	hohe Reproduzierbarkeit

Tabelle 1: **Klassifizierungen der (ICC-) Korrelationswerte nach Cohen** (nach Rubin, 2009)

Zur grafischen Darstellung der Verteilung der Messwerte wurden mit Hilfe von SPSS Boxplots erstellt (Abb. 1). Der Kasten entspricht der Box, die 50% der zentralen Messwerte einschließt. Dieser Kasten wird begrenzt durch das erste und dritte Quartil, unterhalb derer 25% bzw. 75% der auftretenden Messwerte liegen. Der Abstand zwischen den Quartilen wird auch als Interquartilspanne bezeichnet und stellt ein zum Median passendes Streuungsmaß dar. Der Median der Messwerte wird als Querbalken innerhalb des Kastens dargestellt. Die Werte, die außerhalb der Box liegen, werden durch Verlängerungen („Antennen“) dargestellt und enden in den minimalen und maximalen Messwerten (Krummenauer et al., 2007).

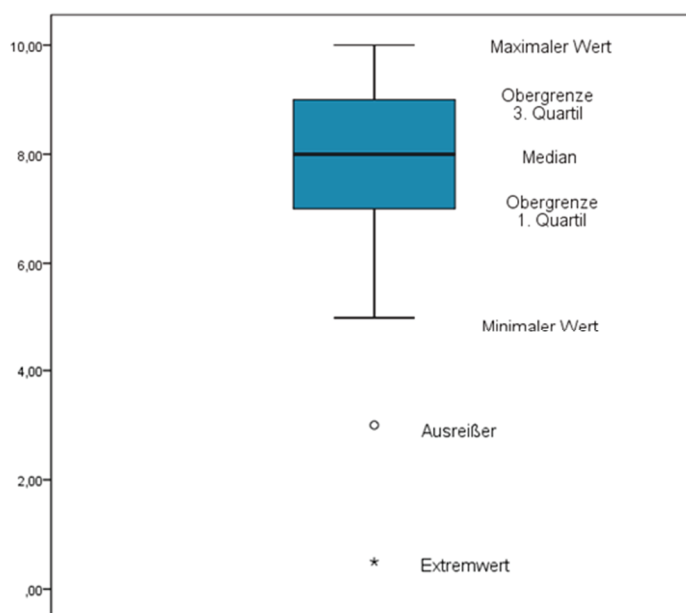


Abb. 1: **Schema eines Boxplots.** (nach Krummenauer, 2007)

4. Ergebnisse

Im Folgenden werden die verschiedenen deskriptiven Analysen dargestellt und beschrieben. Die Quotienten der Muskelaktivitäten werden jeweils für den M. masseter und den M. temporalis bei den einzelnen Aufbisslagen und in einer Übersicht der gesamten Aufbisslagen in erstellten Boxplots dargestellt und ausgewertet. Es folgt eine Gegenüberstellung der Quotienten der Masseter- und Temporalisaktivität mit Boxplots kan drei exemplarischen Aufbisslagen (zweiter Molar, zweiter Prämolare und Eckzahn).

In den Boxplots von 4.1 liegt das Augenmerk auf der Betrachtung des okklusalen Aufbisses im Bereich des einzelnen Zahnes (Aufbisslage). Dabei werden für eine einzelne Aufbisslage die Quotienten der Muskelaktivitäten des M. masseter bzw. M. temporalis bei 10% MVC und 35% MVC für einseitige und beidseitige okklusale Aufbisse untersucht. Hier werden etwaige signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) hinzugezogen.

In den Boxplots von 4.2 wird eine Gesamtübersicht der verschiedenen Aufbisslagen bei einseitigen und beidseitigen okklusalen Aufbissen für die Quotienten der Masseter- bzw. Temporalisaktivität dargestellt. Etwaige signifikante Unterschiede für die Faktoren Aufbisslage und Aufbissverteilung werden angezeigt.

Der direkte Vergleich zwischen den Boxplots der ersten und zweiten Hauptuntersuchung erfolgt durch nebeneinander aufgestellte Diagramme, die zur Klärung der Reliabilität der Muskelaktivität durch den Umstand, dass die zweite Hauptuntersuchung eine mindestens zwei Wochen später durchgeführte Wiederholung der ersten Hauptuntersuchung darstellt, dienen.

In 4.3 wurden die Boxplots mit den Quotienten der Muskelaktivitäten von M. masseter und M. temporalis an drei exemplarischen Aufbissituationen (M2, P2, E) gegenübergestellt.

Die Reliabilitätsanalysen unter 4.4 dienen der Bestimmung der Reproduzierbarkeit der Muskelaktivitäten von Masseter und Temporalis bei den beiden Untersuchungsterminen. Ein Mittel zur Bestimmung der Reliabilität stellt - wie in der vorliegenden Studie - eine unter den selben Messbedingungen und an den gleichen Probanden wiederholte Messung dar (Retest-Methode).

4.1 Quotienten der Muskelaktivitäten des M. masseter und M. temporalis bei einzelnen Aufbisslagen

4.1.1 Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter bei Aufbiss im Bereich des zweiten Molaren (M2)

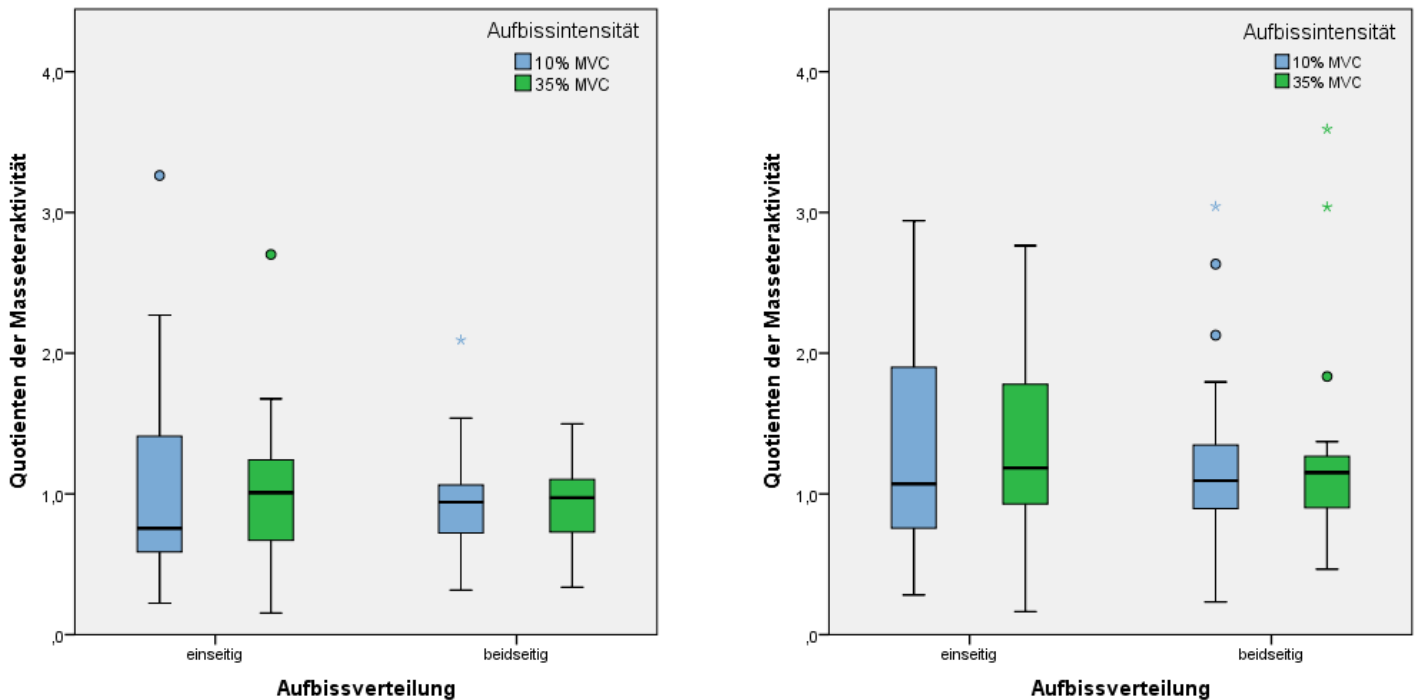


Abb. 2: **Boxplotdarstellung der Quotienten der Masseteraktivität an der Position M2** (links: 1. Hauptuntersuchung, rechts: 2. Hauptuntersuchung); MVC=Maximale voluntäre Kontraktion

Die Mediane der Masseteraktivitätsquotienten in der 1. Hauptuntersuchung liegen bei einer Aufbissintensität von 10% MVC und 35% MVC bei einseitigen und beidseitigen okklusalen Aufbisserrhöhungen bei ca. 1. Bei 10% MVC und einseitiger Aufbissverteilung fällt der Median niedriger aus und die Streuung ist dort am größten. Alle Minimalwerte liegen unter 0,5, während die Maximalwerte bei den Quotienten der einseitigen Aufbissverteilung zwischen 1,5 und 2,5 und die der beidseitigen Verteilung bei ca. 1,5 liegen.

In der 2. Hauptuntersuchung sind die Mediane der Quotienten von jeweils 10% und 35% MVC gering über 1. Die Mediane bei 35% MVC liegen geringfügig über denen von 10% MVC. Die Streuung ist für die einseitige Aufbissverteilung vergrößert. Die Maximalwerte für die einseitige Verteilung liegen bei ca. 3 und für die beidseitige Verteilung bei ca. 1,5. Die Minimalwerte liegen alle unterhalb 0,5.

Im Vergleich beider Boxplots zeigt sich, dass die Mediane der Quotienten bei 10% MVC und 35% MVC Aufbissintensität für sowohl einseitige als auch beidseitige okklusale Aufbisse bei ca. 1 liegen, bis auf die tendenziell höheren Mediane bei 35% MVC. Streuungen sind bei der 1. und 2. Hauptuntersuchung bei einseitigen Verteilungen größer. Die Minimalwerte verhalten sich in etwa gleich, die Maximalwerte bei einseitiger Verteilung sind in der 2. Hauptuntersuchung vergrößert. Signifikante Unterschiede in Bezug auf die Faktoren Aufbissintensität und Aufbissverteilung finden sich bei beiden Untersuchungen nicht.

4.1.2 Quotienten der Muskelaktivität des M. temporalis bei Aufbiss im Bereich des zweiten Molaren (M2)

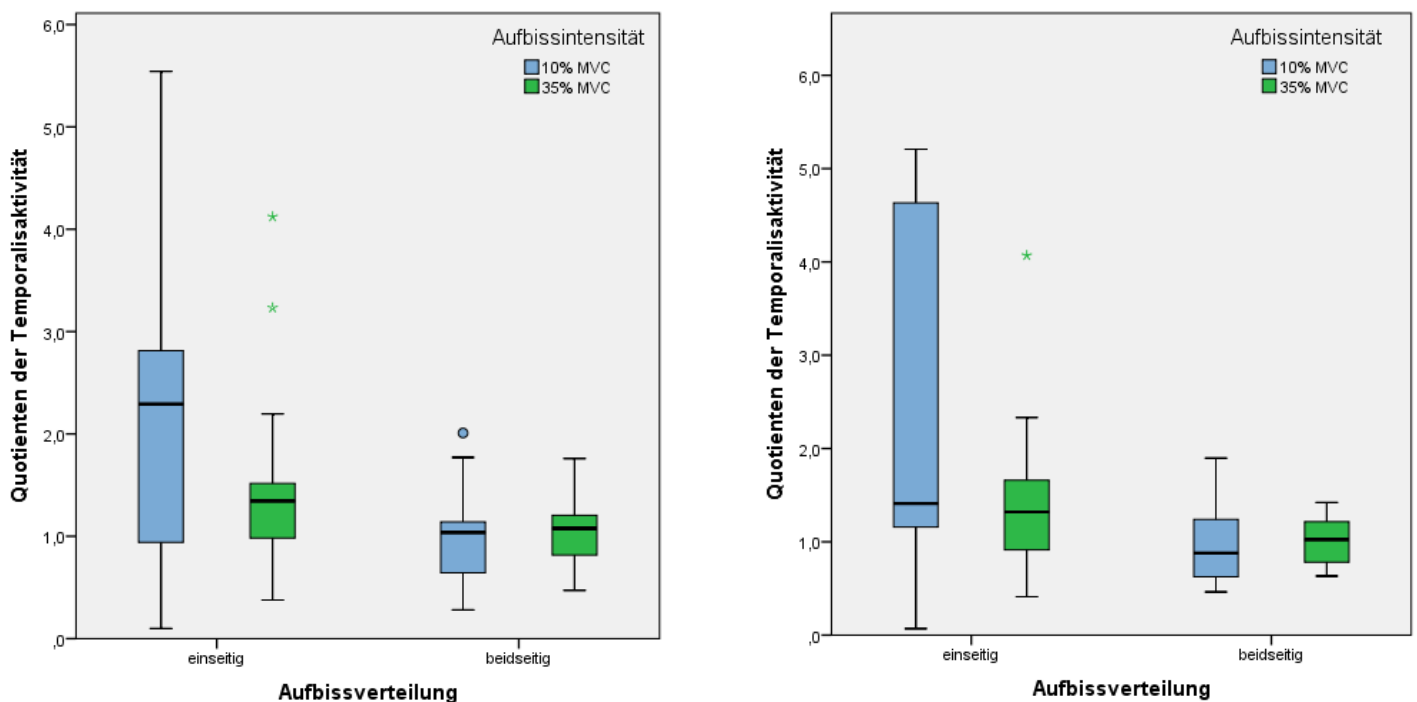


Abb. 3: **Boxplotdarstellung der Quotienten der Temporalisaktivität an der Position M2** (links: 1. Hauptuntersuchung, rechts: 2. Hauptuntersuchung); MVC=Maximale voluntäre Kontraktion

Die Mediane der Quotienten der Temporalisaktivität bei Aufbissintensitäten von 10% MVC und 35% MVC sind für die einseitigen Aufbissverteilungen in der 1. Hauptuntersuchung erhöht. Bei einseitigem Aufbiss liegt der Median für 10% MVC bei ca. 2,5 und der Median für 35% MVC bei ca. 1,5. Vergleichsweise sind beide Mediane der beidseitigen Aufbissverteilung bei ca. 1. Bei der einseitigen Aufbissverteilung mit der Aufbissintensität von 10% MVC wird zum einem die größte Streuung und zum anderem der höchste

Maximalwert (ca. 5,5) sichtbar. Die anderen Maximalwerte stehen bei ca. 2 und die Gesamtheit der Minimalwerte liegt unter 0,5. Signifikante Unterschiede in Bezug auf den Faktor Aufbissintensität ($P=0,023$) sowie den Faktor Aufbissverteilung ($P=0,004$) werden deutlich. Ebenfalls zeigt sich ein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Wechselwirkung der beiden Faktoren ($P=0,011$).

In der 2. Hauptuntersuchung ordnen sich die Mediane der Temporalisaktivitätsquotienten um den Wert 1 an. Auffallend ist, dass die Mediane der einseitigen Aufbisslage (10% MVC, 35% MVC) oberhalb der Mediane der beidseitigen Verteilung zu finden sind. Bei der einseitigen Aufbissverteilung mit einer Aufbissintensität von 10% MVC liegen die größte Streuung und der höchste Maximalwert von ca. 5,5 vor. Alle weiteren Maximalwerte befinden sich zwischen 1,5 und 2,5 und die Minimalwerte unter 0,5. Signifikante Unterschiede in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung liegen vor ($P=0,02$).

Im Vergleich liegen die Mediane der Aktivitätsquotienten der Temporalisaktivität in beiden Hauptuntersuchungen bei ca. 1 mit Ausnahme des Medians der 1. Untersuchung bei einseitiger Aufbissverteilung und 10% MVC. Für die einseitigen Aufbisse bei 10% MVC der beiden Untersuchungen zeigen sich auch die größten Streuungen und Maximalwerte. Signifikante Unterschiede in Bezug auf die Faktoren Aufbissverteilung und Aufbissintensität sowie deren Wechselwirkung werden in der 1. Hauptuntersuchung deutlich. In der 2. Hauptuntersuchung ergibt sich nur ein signifikanter Unterschied in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung.

4.1.3 Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter bei Aufbiss im Bereich des ersten Molaren (M1)

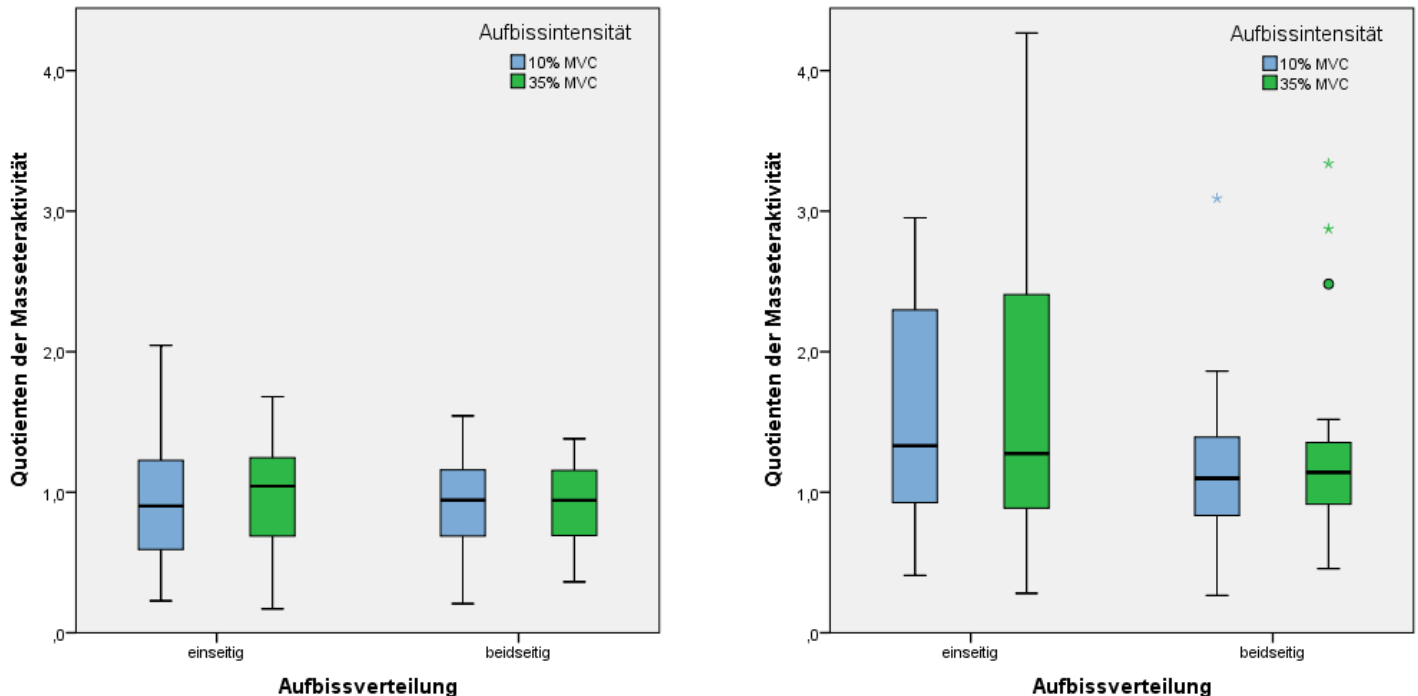


Abb. 4: **Boxplotdarstellung der Quotienten der Masseteraktivität an der Position M1** (links: 1. Hauptuntersuchung, rechts: 2. Hauptuntersuchung); MVC=Maximale voluntäre Kontraktion

In der 1. Untersuchung befinden sich die Mediane der Quotienten der Masseteraktivität bei den einseitigen und beidseitigen Aufbissen mit den Aufbissintensitäten von 10% und 35% MVC bei ca. 1. Die Streuungen sind insgesamt gering und die Minimalwerte liegen unter 0,5, während die Maximalwerte zwischen 1,5 und 2 liegen.

In der 2. Hauptuntersuchung sind die Mediane bei der einseitigen Aufbissverteilung geringfügig größer als die bei ca. 1 liegenden Mediane der beidseitigen Verteilung. Die größten Streuungen zeigen sich bei der einseitigen Aufbissverteilung für beide Aufbissintensitäten. Bei der einseitigen Verteilung liegen die höchsten Maximalwerte von ca. 3 bei einer Intensität von 10% MVC und mit ca. 4,5 bei einer Intensität von 35% MVC vor. Alle Minimalwerte sind unter 0,5 zu finden. Ein signifikanter Unterschied in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung zeigt sich mit $P=0,021$.

Im Vergleich der beiden Untersuchungen fallen die insgesamt bei ca. 1 liegenden Mediane der Aktivitätsquotienten auf. Dabei zeigen sich die größten Streuungen und Maximalwerte für die einseitige Aufbissverteilung in der 2. Untersuchung. Ein signifikanter

Unterschied in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung tritt nur in der 2. Hauptuntersuchung auf.

4.1.4 Quotienten der Muskelaktivität des M. temporalis bei Aufbiss im Bereich des ersten Molaren (M1)

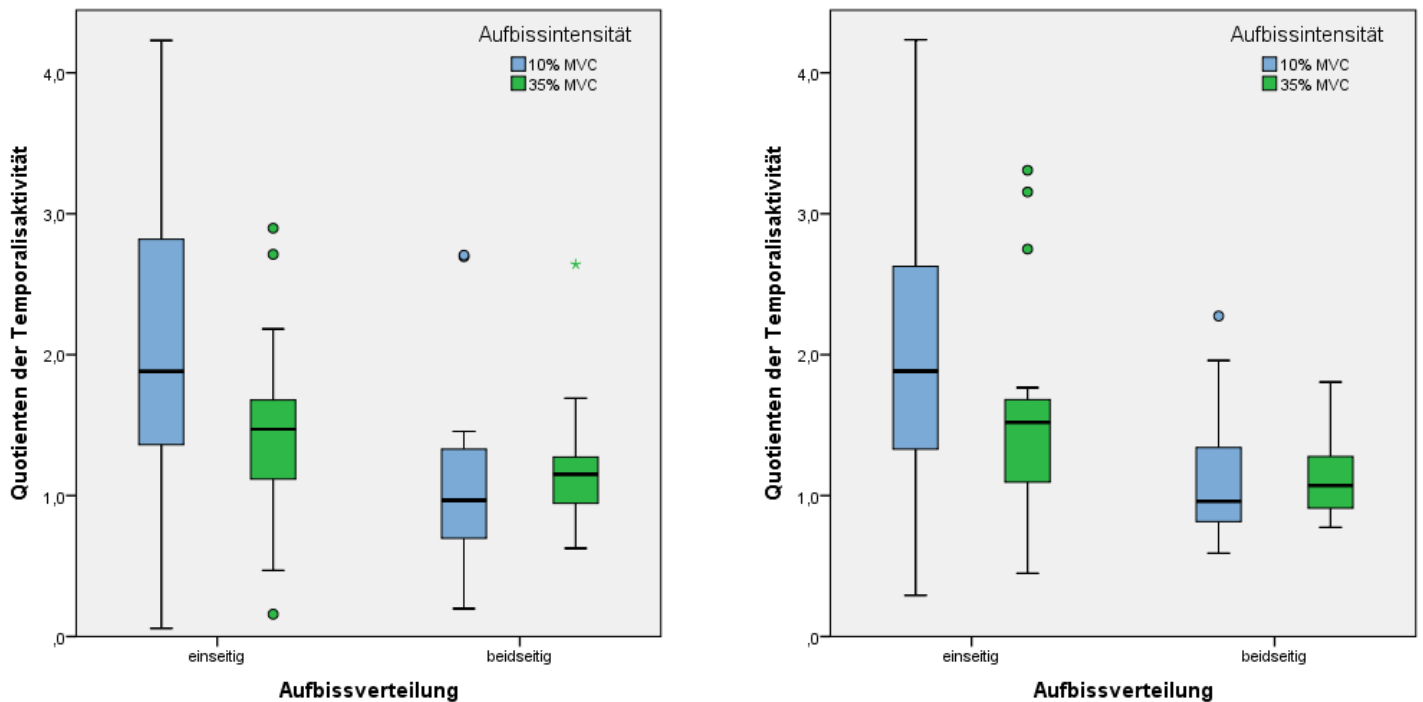


Abb. 5: **Boxplotdarstellung der Quotienten der Temporalisaktivität an der Position M1** (links: 1. Hauptuntersuchung, rechts: 2. Hauptuntersuchung); MVC=Maximale voluntäre Kontraktion

Bei der Darstellung der Temporalisaktivitätsquotienten in der ersten Hauptuntersuchung fällt auf, dass die Mediane für die einseitige Aufbissverteilung höher liegen als für die beidseitige Verteilung. Bei der einseitigen Aufbissverteilung befindet sich der Median bei 10% MVC bei ca. 2 und der Median bei 35% MVC bei ca. 1,5. Bei den beidseitigen Verteilungen liegen die Mediane um den Wert 1, während der Median bei einer Intensität von 35% MVC geringfügig größer ist als der Median bei 10% MVC. Die größte Streuung und der größte Maximalwert (ca. 4) zeigen sich bei der einseitigen Aufbissverteilung mit einer Aufbissintensität von 10% MVC. Bei einseitigem Aufbiss mit 35% MVC befindet sich der Maximalwert bei ca. 2,3 und bei ca. 1,5 liegen die maximalen Werte der beidseitigen Aufbissverteilung. Alle Minimalwerte befinden sich unterhalb 0,5. Signifikante Unterschiede in Bezug auf die Faktoren Aufbissverteilung ($P=0,022$), Aufbissintensität ($P=0,036$) sowie deren Wechselwirkung ($P=0,040$) liegen vor.

Die Mediane der Temporalisaktivitätsquotienten und die Streuungen verhalten sich in der 2. Hauptuntersuchung ähnlich wie in der 1. Hauptuntersuchung. Die Minimalwerte liegen bei ca. 0,5, während die Maximalwerte für die beidseitige Aufbissverteilung sowie für die einseitige Aufbissverteilung mit einer Intensität von 35% MVC bei ca. 2 liegen. Der Maximalwert (ca. 4) bei einem einseitigen Aufbiss und einer Intensität von 10% MVC ragt heraus. Signifikante Unterschiede in Bezug auf die Faktoren Aufbissverteilung ($P=0,003$), Aufbissintensität ($P=0,011$) sowie deren Wechselwirkung ($P=0,016$) liegen vor.

Im Vergleich haben die Mediane der Quotienten der Temporalisaktivität der ersten und zweiten Hauptuntersuchung viele Übereinstimmungen. Neben den ähnelnden Medianen und Streuungen sind nur die Maximalwerte geringfügig abweichend. Signifikante Unterschiede treten in beiden Untersuchungen in Bezug auf beide Faktoren und deren Wechselwirkung auf.

4.1.5 Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter bei Aufbiss im Bereich des zweiten Prämolaren (P2)

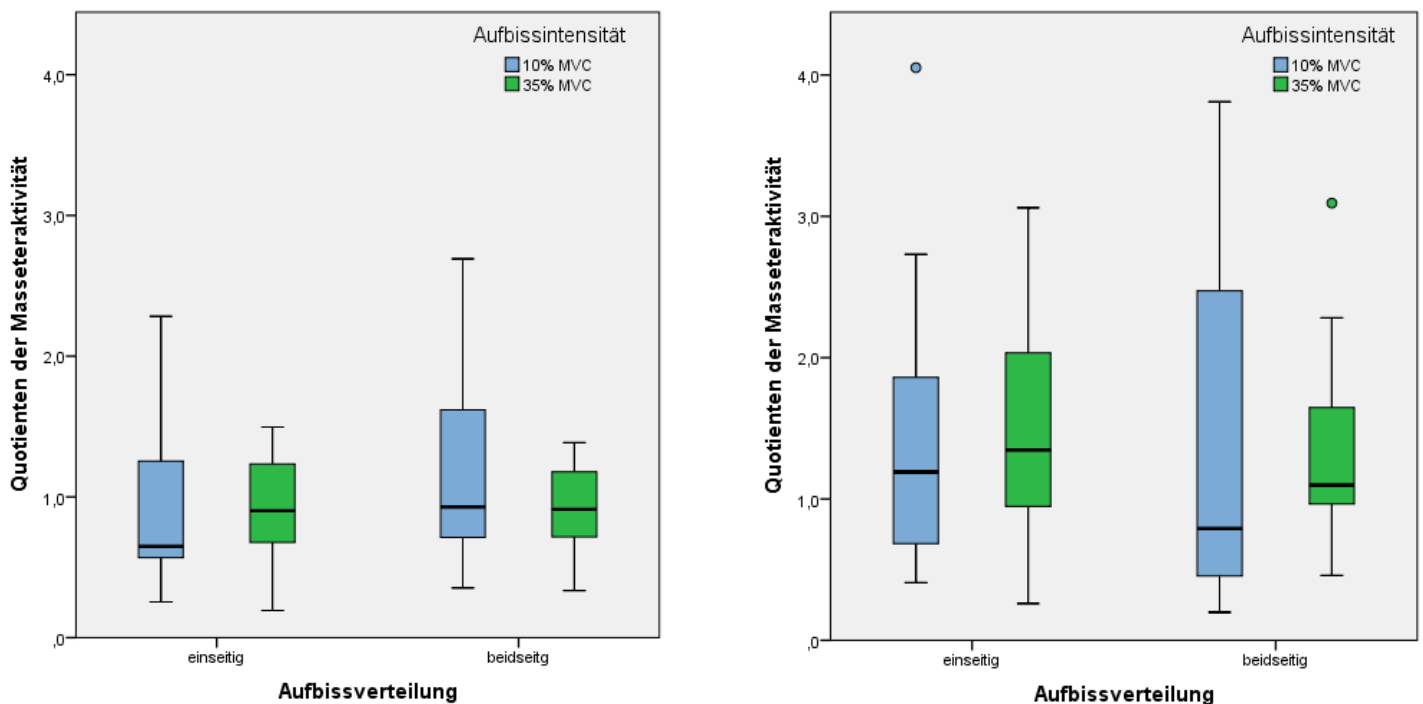


Abb. 6: **Boxplotdarstellung der Quotienten der Masseteraktivität an der Position P2** (links: 1. Hauptuntersuchung, rechts: 2. Hauptuntersuchung); MVC=Maximale voluntäre Kontraktion

In der 1. Hauptuntersuchung liegen die Mediane der Quotienten der Masseteraktivität bei ca. 1, mit Ausnahme des geringfügig unter 1 liegenden Median bei der einseitigen Aufbissverteilung und einer Aufbissintensität von 10% MVC. Sowohl für die einseitige als auch für die beidseitige Aufbissverteilung befinden sich die Maximalwerte bei einer Aufbissintensität von 10% MVC bei ca. 2,5 und bei einer Aufbissintensität von 35% MVC bei ca. 1,5. Alle Minimalwerte sind unterhalb von 0,5 zu finden.

Die Mediane der Aktivitätsquotienten in der 2. Hauptuntersuchung liegen für beide Aufbissverteilungen bei ca. 1,5, mit Ausnahme des Medians bei ca. 0,8 für die beidseitige Aufbissverteilung und 10% MVC. Die Minimalwerte befinden sich unter 0,5 und die Maximalwerte liegen zwischen 2 und 4. Die größte Streuung zeigt sich bei der beidseitigen Verteilung und einer Intensität von 10% MVC.

Im Vergleich sind die Mediane der Quotienten ebenso wie die Streuungen und Maximalwerte in der 2. Hauptuntersuchung größer als die Mediane der 1. Untersuchung. Die Minimalwerte liegen in beiden Untersuchungen unter 0,5 und signifikante Unterschiede zeigen sich nicht.

4.1.6 Quotienten der Muskelaktivität des M. temporalis bei Aufbiss im Bereich des zweiten Prämolaren (P2)

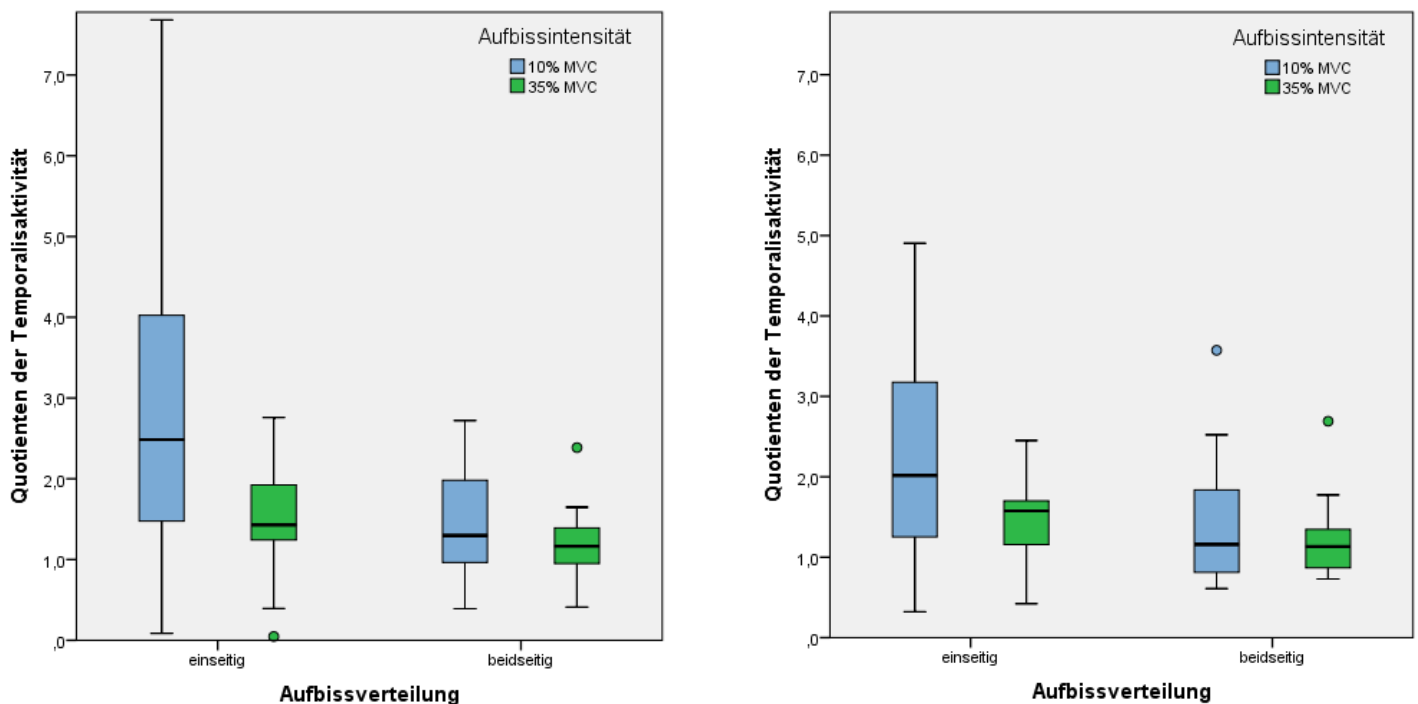


Abb. 7: **Boxplotdarstellung der Quotienten der Temporalisaktivität an der Position P2** (links: 1. Hauptuntersuchung, rechts: 2. Hauptuntersuchung); MVC=Maximale voluntäre Kontraktion

An der Position des zweiten Prämolaren ist in der 1. Hauptuntersuchung der Median für 10% MVC bei einseitiger Aufbissverteilung bei ca. 2,5. Die Mediane bei der beidseitigen Verteilung sowie bei der einseitigen Verteilung und 35% MVC liegen bei ca. 1,5. Die geringsten Streuungen liegen bei den Aufbissintensitäten von 35% MVC vor, gefolgt von der Streuung bei der beidseitigen Verteilung und 10% MVC. Die größte Streuung liegt bei der einseitigen Aufbissverteilung und 10% MVC vor, ebenso wie der höchste Maximalwert mit ca. 7,5. Der kleinste maximale Wert zeigt sich mit etwa 1,5 bei der beidseitigen Aufbissverteilung mit 35% MVC. Die Minimalwerte befinden sich unter 0,5. Signifikante Unterschiede in Bezug auf die Faktoren Aufbissintensität ($P=0,008$), Aufbissverteilung ($P=0,014$) sowie deren Wechselwirkung ($P=0,027$) liegen vor.

In der 2. Hauptuntersuchung befinden sich die Mediane für die beidseitige Aufbissverteilung bei ca. 1. Bei der einseitigen Aufbissverteilung liegt der Median bei einer Intensität von 10% MVC bei 2 und bei einer Intensität von 35% MVC um den Wert 1,5. Die größte Streuung und der größte Maximalwert zeigen sich bei der einseitigen Aufbissverteilung und 10% MVC. Dagegen liegen die minimalen Werte zwischen 0,5 und

1. Signifikante Unterschiede in Bezug auf die Faktoren Aufbissintensität ($P=0,002$), Aufbissverteilung ($P=0,007$) sowie deren Wechselwirkung ($P=0,015$) liegen vor.

Im Vergleich weisen die Boxplots der beiden Untersuchungen große Ähnlichkeiten auf - mit Ausnahme der großen Streuung und des großen Maximalwertes bei der einseitigen Aufbissverteilung und Aufbissintensität von 10% MVC in der ersten Untersuchung. Signifikante Unterschiede treten in beiden Untersuchungen in Bezug auf die Faktoren Aufbissintensität, Aufbissverteilung und deren Wechselwirkung auf.

4.1.7 Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter bei Aufbiss im Bereich des ersten Prämolaren (P1)

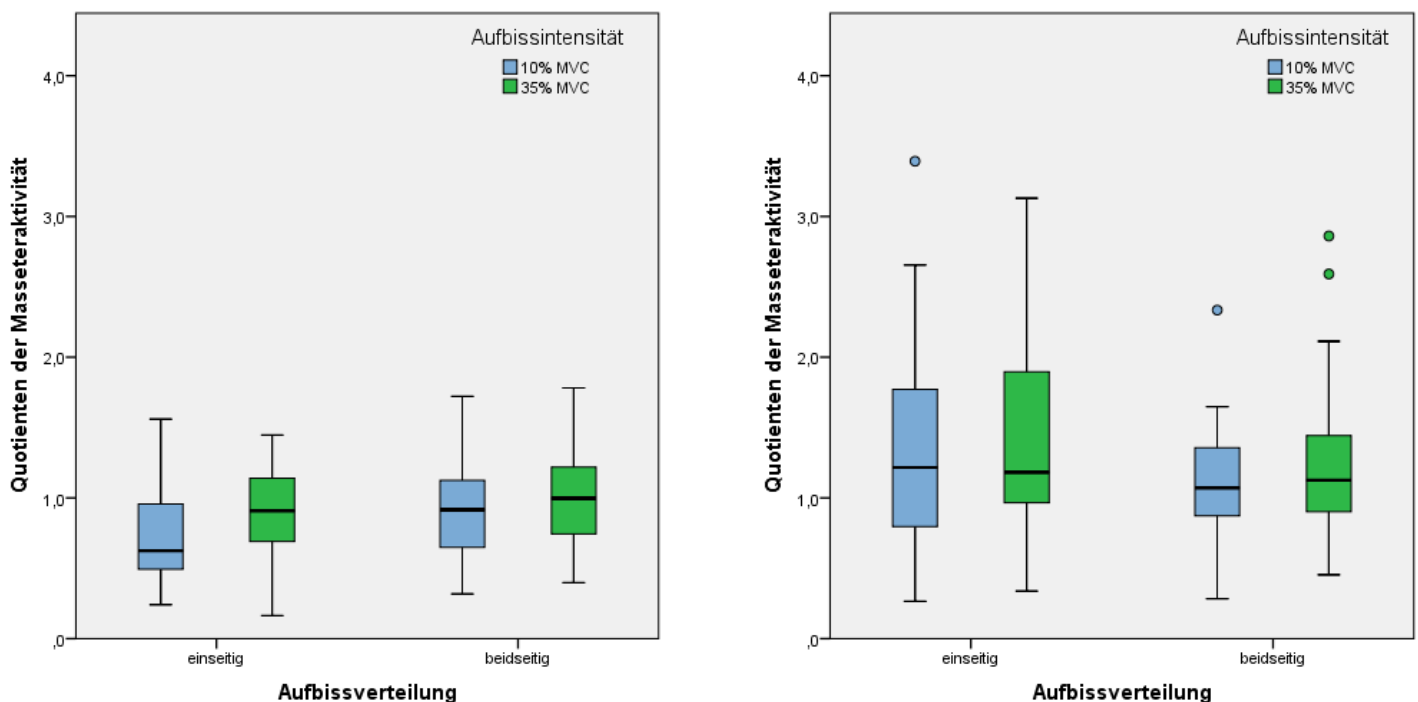


Abb. 8: **Boxplotdarstellung der Quotienten der Masseteraktivität an der Position P1** (links: 1. Hauptuntersuchung, rechts: 2. Hauptuntersuchung); MVC=Maximale voluntäre Kontraktion

Die Mediane der Quotienten der 1. Hauptuntersuchung liegen bei der einseitigen und beidseitigen Aufbissverteilung bei ca. 1 mit Ausnahme des gering unter 1 liegenden Median für die einseitige Aufbissverteilung bei 10% MVC. Neben den ähnlichen Streuungen befinden sich die Maximalwerte bei ca. 1,5 und die Minimalwerte bei ca. 0,5. Ein signifikanter Unterschied in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung zeigt sich mit $P<0,001$.

In der 2. Hauptuntersuchung befinden sich die Mediane beider Aufbissverteilungen gering über 1, dabei übersteigen die Mediane der einseitigen Aufbissverteilung die Mediane der beidseitigen Verteilung. Die Streuungen bei der einseitigen Aufbissverteilung fallen größer aus als bei der beidseitigen Verteilung. Die größten Maximalwerte zeigen sich bei der einseitigen Verteilung im Vergleich zu den maximalen Werten bei der beidseitigen Verteilung. Alle Minimalwerte liegen bei ca. 0,5. Ein signifikanter Unterschied in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung ($P=0,040$) liegt vor.

Im Vergleich der beiden Untersuchungen fallen die bei ca. 1 liegenden Mediane der Aktivitätsquotienten auf, mit Ausnahme der Mediane der einseitigen Aufbissverteilung bei einer Aufbissintensität von 10% MVC der beiden Untersuchungen. Die Streuungen sind ähnlich groß, ausgenommen der vergrößerten Streuung bei der einseitigen Aufbissverteilung der 2. Hauptuntersuchung. Eine zusätzliche Übereinstimmung sind die bei ca. 0,5 liegenden Minimalwerte. Die Maximalwerte befinden sich bei beiden Untersuchungen zwischen 1,5 und 2 mit Ausnahme der zwischen 2,5 und 3 liegenden Maximalwerte der einseitigen Aufbissverteilung der 2. Untersuchung. In beiden Untersuchungen lassen sich ebenfalls signifikante Unterschiede in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung feststellen.

4.1.8 Quotienten der Muskelaktivität des M. temporalis bei Aufbiss im Bereich des ersten Prämolaren (P1)

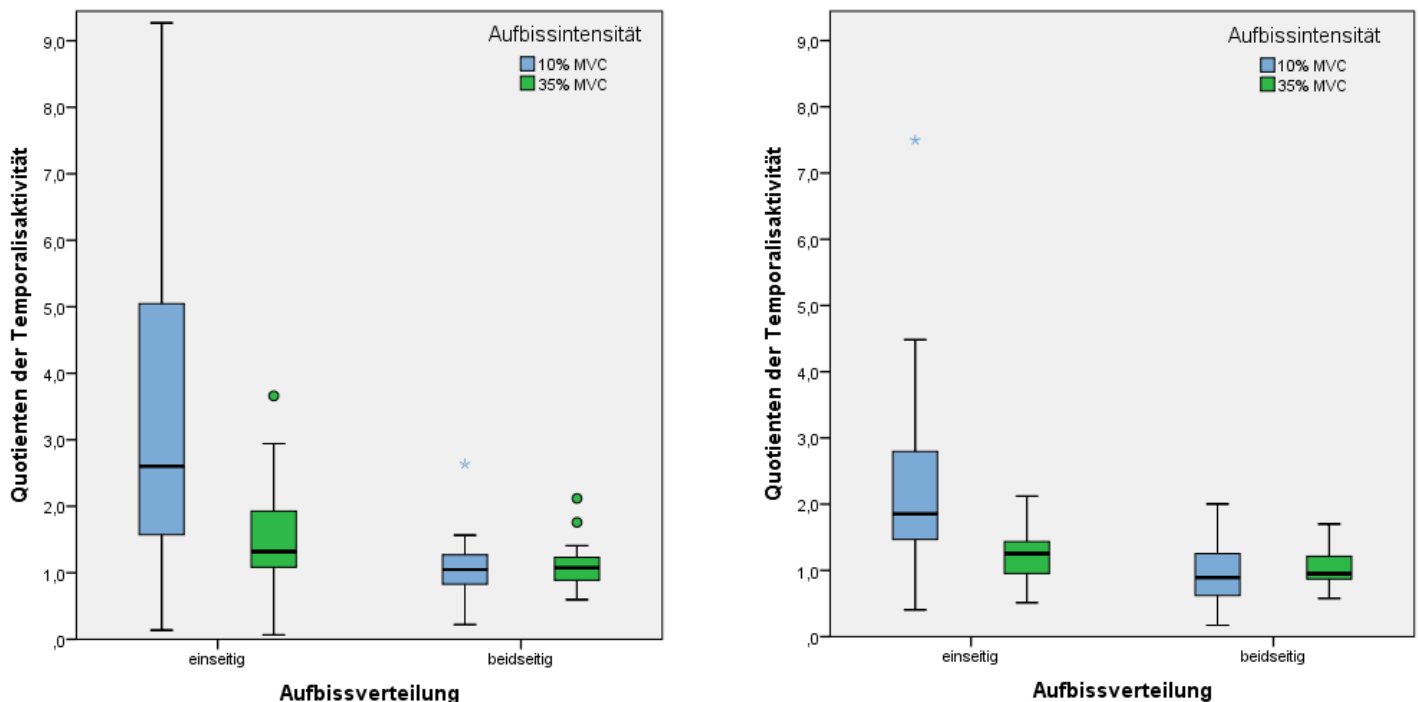


Abb. 9: **Boxplotdarstellung der Quotienten der Temporalisaktivität an der Position P1** (links: 1. Hauptuntersuchung, rechts: 2. Hauptuntersuchung); MVC=Maximale voluntäre Kontraktion

In der 1. Hauptuntersuchung zeigt sich der größte Median mit einer Größe von ca. 2,5 bei der einseitigen Aufbissverteilung und einer Intensität von 10% MVC. Es folgt der Median mit ca. 1,5 der einseitigen Aufbissverteilung bei 35% MVC. Die Mediane der Quotienten der beidseitigen Aufbissverteilung liegen bei ca. 1. Die größte Streuung und der größte Maximalwert (ca. 9) zeigen sich bei der einseitigen Aufbissverteilung und einer Aufbissintensität von 10% MVC. Alle Minimalwerte sind kleiner als 0,5. Signifikante Unterschiede in Bezug auf die Faktoren Aufbissintensität, Aufbissverteilung sowie deren Wechselwirkung liegen mit $P < 0,001$ vor.

Die Mediane der 2. Hauptuntersuchung zeigen bei der beidseitigen Aufbissverteilung Werte von ca. 1. Bei der einseitigen Aufbissverteilung und 10% MVC ist der Median bei ca. 2 und bei 35% MVC bei ca. 1,5. Die Maximalwerte liegen bei ca. 2 mit Ausnahme des bei ca. 4,5 liegenden Maximalwertes bei der einseitigen Aufbissverteilung mit 10% MVC. Die größte Streuung findet sich ebenfalls bei der einseitigen Verteilung und einer Aufbissintensität von 10% MVC. Die Minimalwerte liegen unter 0,5. Signifikante

Unterschiede in Bezug auf die Faktoren Aufbissverteilung ($P < 0,001$), Aufbissintensität ($P = 0,008$) sowie deren Wechselwirkung ($P = 0,006$) liegen vor.

Im Vergleich grenzen sich der Median, der Maximalwert und die Streuung der einseitigen Aufbissverteilung bei 10% MVC in der 1. Untersuchung durch ihre Größen von den anderen Werten ab. Die anderen Mediane finden sich bei ca. 1 ein. Die Maximalwerte der 1. Untersuchung liegen zwischen 1,5 und 3 und lassen sich gut mit den bei ca. 2 liegenden Maximalwerten der 2. Untersuchung vergleichen. Alle Minimalwerte befinden sich unterhalb 0,5. Signifikante Unterschiede treten in beiden Untersuchungen in Bezug auf die Faktoren Aufbissverteilung, Aufbissintensität und deren Wechselwirkung auf.

4.1.9 Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter bei Aufbiss im Bereich des Eckzahnes (E)

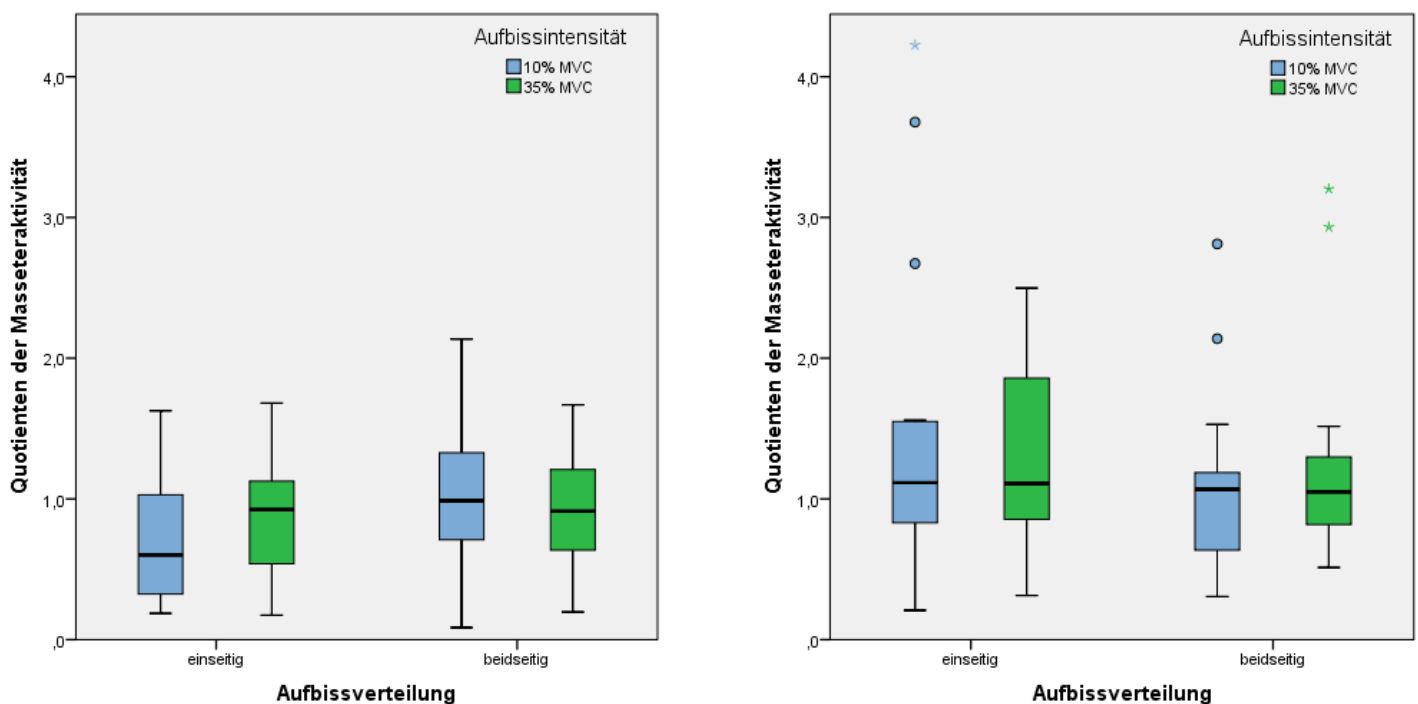


Abb. 10: **Boxplotdarstellung der Quotienten der Masseteraktivität an der Position E** (links: 1. Hauptuntersuchung, rechts: 2. Hauptuntersuchung); MVC=Maximale voluntäre Kontraktion

Die Mediane der Quotienten der Masseteraktivität liegen in der 1. Hauptuntersuchung für die einseitige und beidseitige Aufbissverteilung bei ca. 1, ausgenommen des Medians (ca. 0,5) der einseitigen Aufbissverteilung und 10% MVC Aufbissintensität. Die Streuungen für die Aufbissverteilungen weisen etwa dieselbe Größe auf. Die Maximalwerte befinden sich

bei ca. 1,5 mit Ausnahme des bei ca. 2 liegenden Maximalwertes für die beidseitige Aufbissverteilung mit einer Intensität von 10% MVC. Die Minimalwerte finden sich bei ca. 0,25 ein. Signifikante Unterschiede in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung ($P=0,006$) und auf die Wechselwirkung der Faktoren Aufbissintensität und Aufbissverteilung ($P=0,017$) werden deutlich.

Bei ca. 1 liegen die Mediane der Masseteraktivitätsquotienten der 2. Hauptuntersuchung. Die Streuung ist für die einseitige Aufbissverteilung bei 35% MVC am größten. Die minimalsten Werte sind kleiner als 0,5, während die Maximalwerte bei ca. 1,5 liegen, ausgenommen des Maximalwertes von ca. 2,5 der einseitigen Aufbissverteilung und 35% MVC.

Im Vergleich der beiden Untersuchungen fallen die bei ca. 1 liegenden Mediane der Masseteraktivitätsquotienten auf - mit Ausnahme des Medians (ca. 0,5) der einseitigen Aufbissverteilung und 10% MVC der ersten Untersuchung.

Die Minimalwerte liegen bei der 2. Untersuchung geringfügig höher als bei der 1. Untersuchung. Die Maximalwerte weisen in beiden Untersuchungen ähnliche Werte (ca. 1,5) auf, ausgenommen der erhöhten Maximalwerte der beidseitigen Aufbissverteilung mit 10% MVC der 1. Untersuchung und der einseitigen Aufbissverteilung mit 35% MVC der 2. Untersuchung. Signifikante Unterschiede in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung und auf die Wechselwirkung der Faktoren Aufbissintensität und Aufbissverteilung zeigen sich nur in der 1. Untersuchung.

4.1.10 Quotienten der Muskelaktivität des M. temporalis bei Aufbiss im Bereich des Eckzahnes (E)

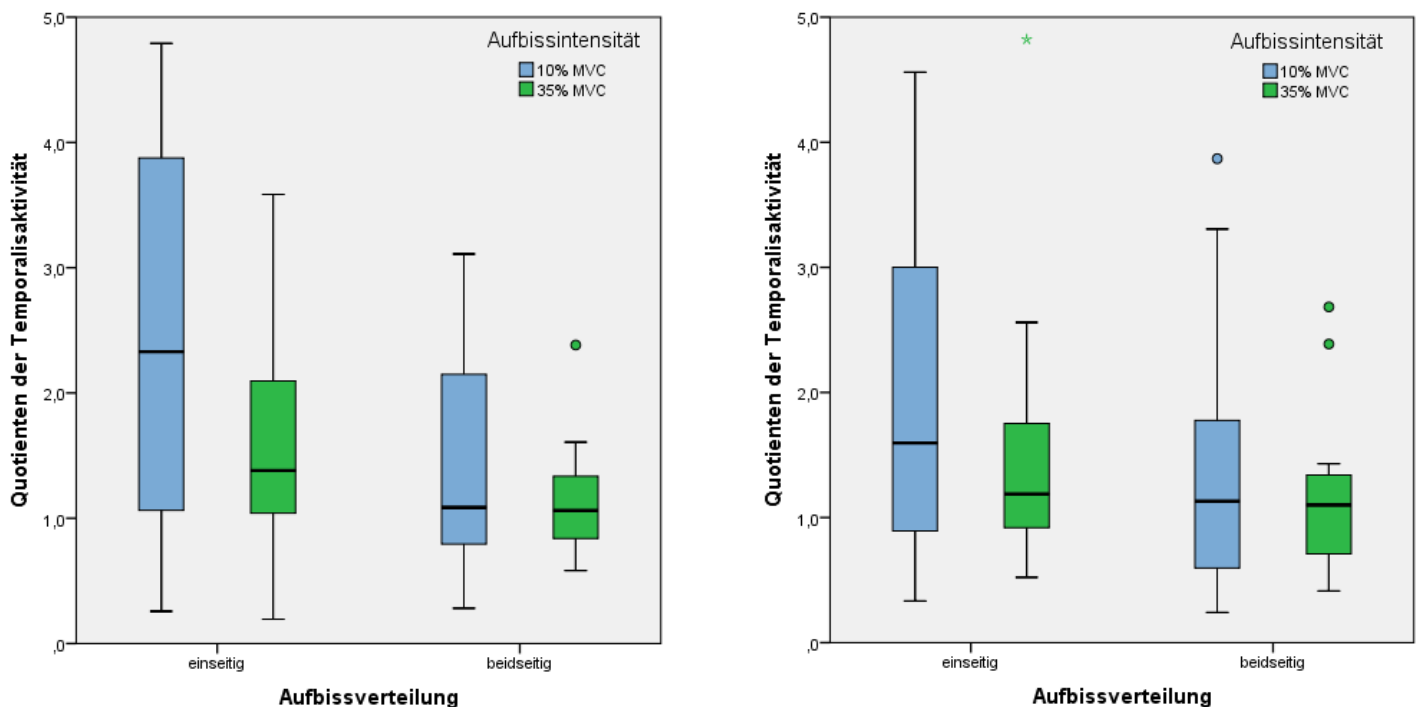


Abb. 11: **Boxplotdarstellung der Quotienten der Temporalisaktivität an der Position E** (links: 1. Hauptuntersuchung, rechts: 2. Hauptuntersuchung); MVC=Maximale voluntäre Kontraktion

Der Median der Quotienten in der 1. Hauptuntersuchung weist für die einseitige Aufbissverteilung bei 10% MVC eine Größe von ca. 2,5 und bei 35% MVC eine Größe von ca. 1,5 auf. Die Mediane der beidseitigen Aufbissverteilung befinden sich bei ca. 1.

Die Streuungen sind insgesamt sehr hoch, während die größte Streuung bei der einseitigen Aufbissverteilung und 10% MVC und die kleinste Streuung bei der beidseitigen Verteilung und 35% MVC zu finden ist. Die Maximalwerte variieren deutlich. Der größte maximale Wert mit ca. 4,5 liegt bei der einseitigen Aufbissverteilung und 10% MVC vor, gefolgt von dem bei ca. 3,5 liegenden Maximalwert der einseitigen Verteilung und 35% MVC. Für die beidseitige Aufbissverteilung schließt sich für 10% MVC der Maximalwert von ca. 3 und für 35% MVC der Maximalwert von ca. 1,5 an. Die Minimalwerte befinden sich zwischen 0,25 und 0,5. Ein signifikanter Unterschied zeigt sich nur in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung ($P=0,016$).

In der 2. Hauptuntersuchung liegen die Mediane der Quotienten der Temporalisaktivität bei ca. 1 mit Ausnahme des bei ca. 1,5 liegenden Medians der einseitigen

Aufbissverteilung und 10% MVC. Die Streuungen und Maximalwerte sind für die sowohl einseitige als auch beidseitige Aufbissverteilung bei einer Aufbissintensität von 10% MVC deutlich größer als bei einer Intensität von 35% MVC. Dabei sind die Streuung und der Maximalwert (ca. 4,5) für die einseitige Aufbissverteilung und 10% MVC am größten, gefolgt von der Streuung und dem Maximalwert (ca. 3,5) für die beidseitige Verteilung und 10% MVC. Bei einer Aufbissintensität von 35% MVC liegen die Maximalwerte der einseitigen Verteilung bei ca. 2,5 und der beidseitigen Verteilung bei ca. 1,5. Die Minimalwerte liegen unter 0,5. Ein signifikanter Unterschied liegt in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung ($P=0,042$) vor.

Der Vergleich zeigt, dass in beiden Untersuchungen die Mediane bei der einseitigen Aufbissverteilung und 10% MVC am größten sind, gefolgt von den Medianen der einseitigen Verteilung bei 35% MVC und den Medianen der beidseitigen Verteilung. Die Streuungen sind bei beiden Untersuchungen sehr hoch, während die größte Streuung jeweils bei der einseitigen Aufbissverteilung und 10% MVC und die kleinste Streuung bei der beidseitigen Verteilung und 35% MVC zu finden ist. Neben den zwischen 0,25 und 0,5 liegenden Minimalwerten, befinden sich die größten Maximalwerte (ca. 4,5) bei den einseitigen Aufbissverteilungen und 10% MVC. Die kleinsten Maximalwerte (ca. 1,5) liegen bei beiden Untersuchungen bei den beidseitigen Aufbissverteilungen und 35% MVC.

Signifikante Unterschiede werden in beiden Sitzungen in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung deutlich.

4.2 Quotienten der Muskelaktivitäten des M. masseter und M. temporalis bei verschiedenen Aufbisslagen

4.2.1 Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter bei 10% MVC bei verschiedenen Aufbisslagen

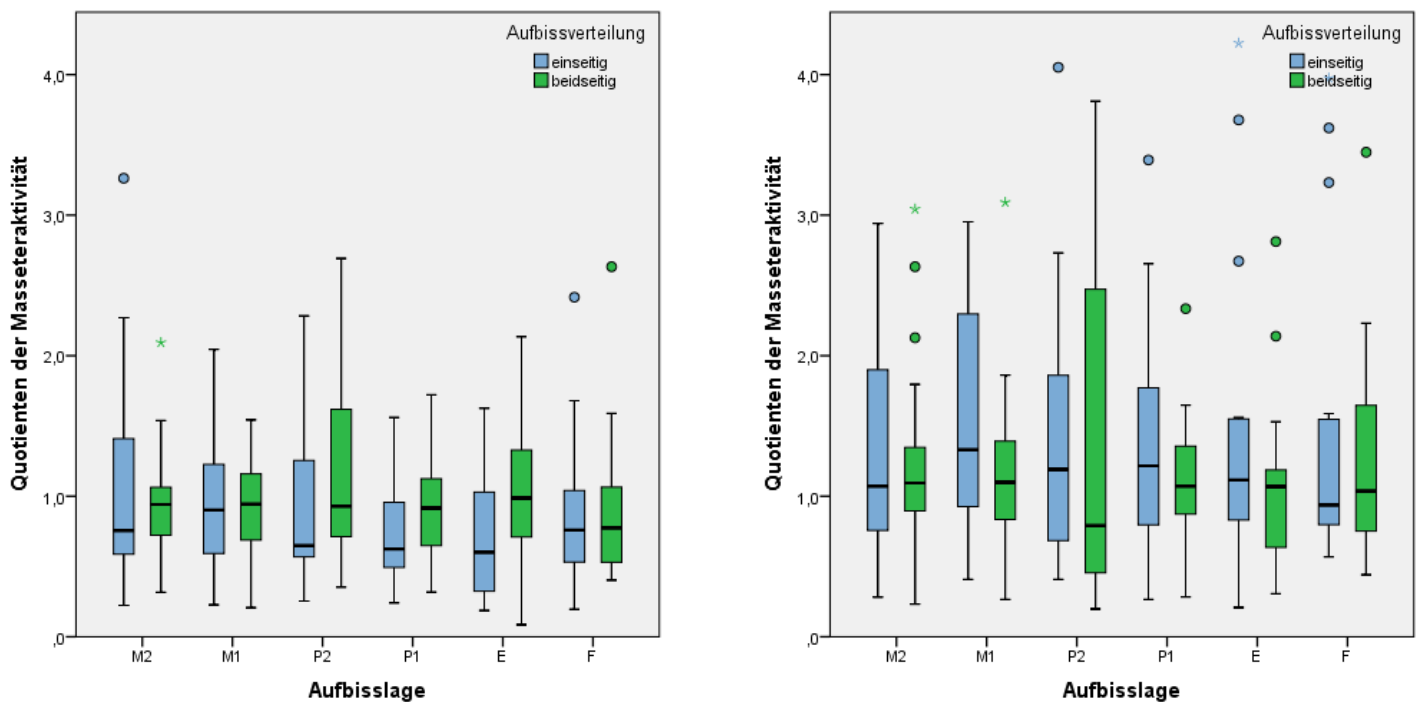


Abb. 12: **Boxplotdarstellung der Quotienten der Masseteraktivität bei 10% MVC** (links: 1. Hauptuntersuchung, rechts: 2. Hauptuntersuchung); M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn, F=Frontzahnbereich

In der 1. Hauptuntersuchung liegen die Mediane der Quotienten der Masseteraktivität sowohl für die einseitige als auch für die beidseitige Aufbissverteilung unter 1. Dabei fällt auf, dass die Mediane der beidseitigen Verteilung die Mediane der einseitigen Verteilung tendenziell übersteigen. An der Position des 1. Molaren (M1) liegt der größte Median für die einseitige Aufbissverteilung vor, während an der Position des Eckzahnes (E) der größte Median für die beidseitige Verteilung zu finden ist. Die Minimalwerte für alle Aufbisslagen liegen unter 0,5, wohingegen die Maximalwerte zwischen 1,5 und 3 liegen. Die höchsten Maximalwerte befinden sich bei der einseitigen Aufbissverteilung an den Aufbisslagen M2, M1 und P2 und bei der beidseitigen Aufbissverteilung an den Aufbisslagen P2 und E. Die Streuungen sind bei der beidseitigen Verteilung tendenziell geringer als bei der einseitigen Verteilung. Ein signifikanter Unterschied in Bezug auf die

Wechselwirkung der Faktoren Aufbisslage und Aufbissverteilung liegt mit $P=0,015$ vor. Dieser ergibt sich unter anderem aus einer signifikanten Interaktion des Faktors Aufbissverteilung und der Aufbisslage an der Position P2 ($P=0,047$) und an der Position E ($P=0,010$). Ein einzelner signifikanter Unterschied ($P=0,025$) in Bezug auf die einseitige Aufbissverteilung tritt an den Aufbisslagen M2 und E auf.

Bei der 2. Hauptuntersuchung liegen die Mediane sowohl für die einseitige als auch für die beidseitige Aufbissverteilung über 1, ausgenommen der unter 1 liegenden Medianen für die beidseitige Verteilung der Aufbisslage P2 und der einseitigen Verteilung der Aufbisslage F. Tendenziell sind die Mediane innerhalb einer Aufbisslage für die einseitige Aufbissverteilung größer als für die beidseitige Verteilung. Ausnahmen bestehen für die etwa gleich großen Mediane der beiden Verteilungen an den Aufbisslagen M2 und F. Die Minimalwerte liegen unter 0,5, während die Maximalwerte stark variieren. Der größte Maximalwert (ca. 4) und die größte Streuung zeigen sich bei der beidseitigen Aufbissverteilung der Aufbisslage P2. Es liegen für beide Aufbissverteilungen viele Ausreißer vor.

Beim Vergleich der beiden Untersuchungen fällt auf, dass die Mediane in der zweiten Hauptuntersuchung grundsätzlich über 1 und in der ersten Sitzung unter 1 liegen. In der 1. Untersuchung sind innerhalb einer Aufbisslage die Mediane der beidseitigen Verteilung größer als die Mediane der einseitigen Verteilung. In der 2. Untersuchung verhält es sich umgekehrt. Sowohl in der ersten als auch in der zweiten Untersuchung liegt der größte Median bei einseitiger Aufbissverteilung an der Position des 1. Molaren. Signifikante Unterschiede zeigen sich nur in der ersten Untersuchung in Bezug auf die Wechselwirkung der Faktoren Aufbisslage und Aufbissverteilung.

4.2.2 Quotienten der Muskelaktivität des M. temporalis bei 10% MVC bei verschiedenen Aufbisslagen

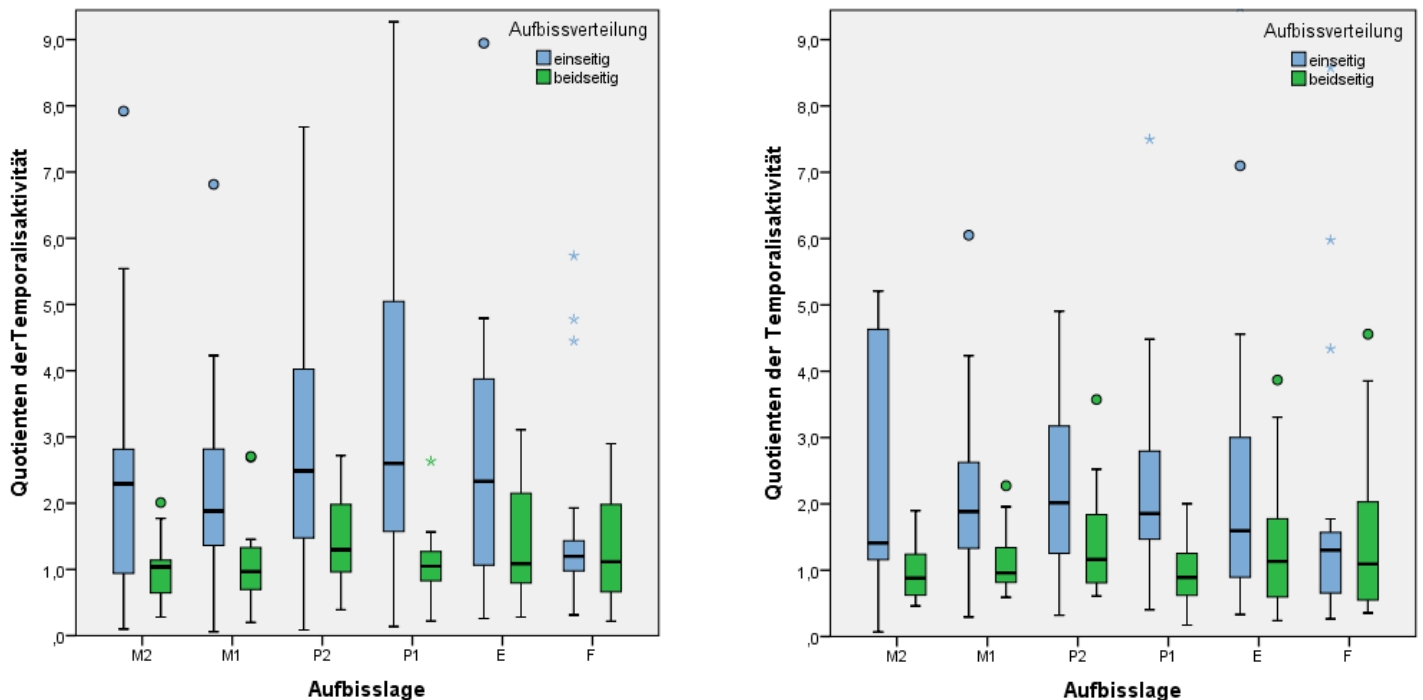


Abb. 13: **Boxplotdarstellung der Quotienten der Temporalisaktivität bei 10% MVC** (links: 1. Hauptuntersuchung, rechts: 2. Hauptuntersuchung); M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn. F=Frontzahnbereich

Die Mediane der Temporalisaktivitätsquotienten bei der 1. Hauptuntersuchung befinden sich zwischen 1 und 3. Dabei ist auffällig, dass die Mediane der einseitigen Aufbissverteilung deutlich über den bei ca. 1 liegenden Medianen der beidseitigen Verteilung liegen. Der höchste Median (ca. 3) zeigt sich für die einseitige Aufbissverteilung der Aufbisslage des 1. Prämolaren. Die Streuungen sind für die einseitige Verteilung, ausgenommen an der Position F, deutlich größer als für die beidseitige Verteilung. Es liegen signifikante Unterschiede in Bezug auf die Faktoren Aufbisslage ($P=0,037$) und Aufbissverteilung ($P=0,002$) vor. Für den Faktor Aufbisslage zeigt sich der signifikante Unterschied zwischen den Aufbisslagen P2 und F ($P=0,041$).

Die Mediane bei der 2. Hauptuntersuchung haben Werte zwischen 1 bis 2. Hier zeigen sich bei einseitiger Aufbissverteilung deutlich höhere Mediane im Vergleich zu den bei ca. 1 liegenden Medianen der beidseitigen Verteilung. Die größten Mediane werden bei einseitiger Aufbissverteilung an den Aufbisslagen M1, P2, P1 deutlich. Die größte Streuung zeigt sich an der Aufbisslage des 2. Molaren bei einseitiger Aufbissverteilung.

Ein signifikanter Unterschied in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung liegt mit $P=0,003$ vor.

Die Mediane der 1. und 2. Hauptuntersuchungen weisen im Vergleich ähnliche Werte auf. Dabei fällt auf, dass die Mediane der einseitigen Aufbissverteilung größer als die Mediane der beidseitigen Aufbissverteilung sind. Signifikante Unterschiede in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung zeigten sich in beiden Untersuchungen. In der ersten Untersuchung wurde zusätzlich noch ein signifikanter Unterschied in Bezug auf den Faktor Aufbisslage deutlich.

4.2.3 Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter bei 35% MVC bei verschiedenen Aufbisslagen

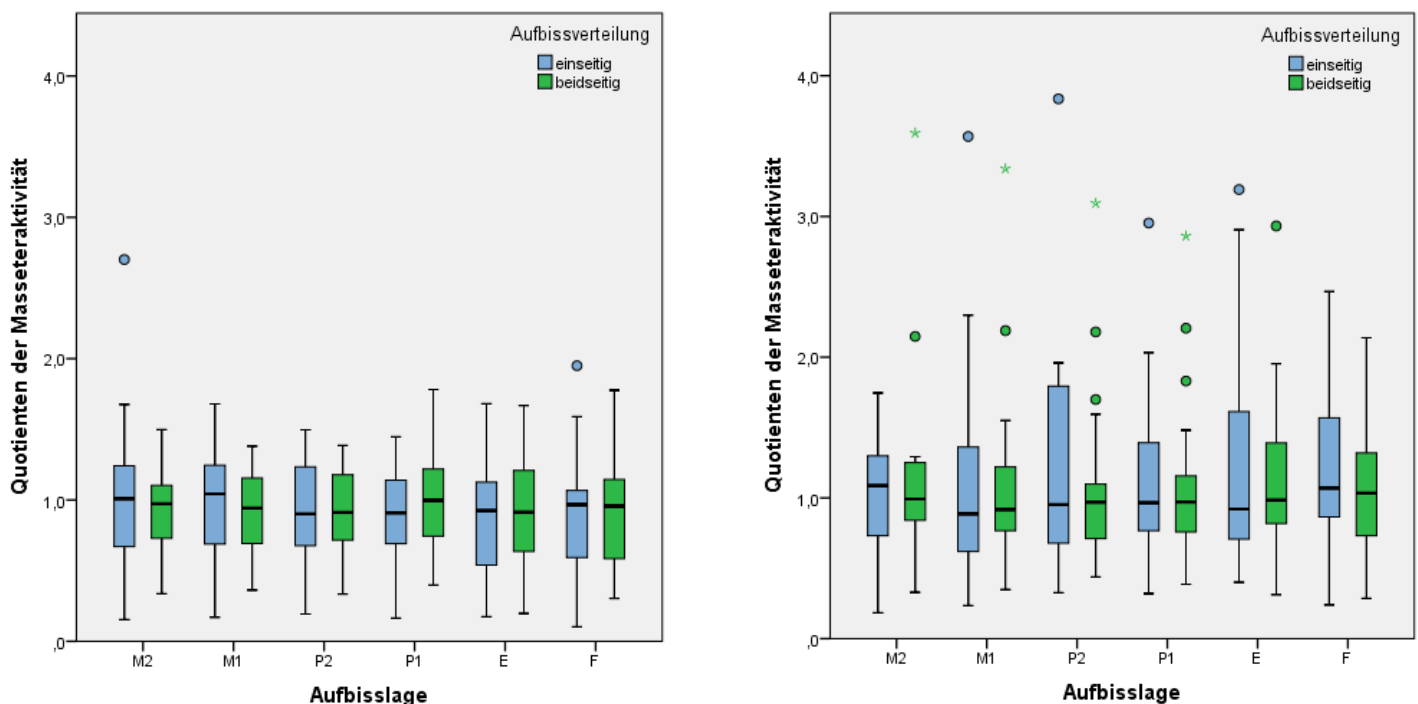


Abb. 14: **Boxplotdarstellung der Quotienten der Masseteraktivität bei 35% MVC** (links: 1. Hauptuntersuchung, rechts: 2. Hauptuntersuchung); M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn, F=Frontzahnbereich

Die Mediane der Masseteraktivitätsquotienten in der 1. Hauptuntersuchung liegen sowohl für die einseitige als auch für die beidseitige Aufbissverteilung bei ca. 1. Neben den geringen Streuungen befinden sich die Minimalwerte zwischen 0,25 und 0,5 und die Maximalwerte zwischen 1,5 und 2. Signifikante Unterschiede in Bezug auf die

Wechselwirkung der Faktoren Aufbissverteilung und Aufbisslage zeigen sich mit $P=0,011$. Diese ergeben sich unter anderem aus einer signifikanten Interaktion des Faktors Aufbissverteilung und der Aufbisslage an der Position M2 ($P=0,047$). Signifikante Unterschiede treten in Bezug auf die einseitige Aufbissverteilung zwischen den Aufbisslagen M2 und E ($P=0,003$) auf und mit $P=0,026$ zwischen den Aufbisslagen M2 und F.

In der 2. Hauptuntersuchung befinden sich die Mediane der Quotienten der Masseteraktivität bei ca. 1. Die Streuungen der einseitigen Aufbissverteilung sind größer als die der beidseitigen Aufbissverteilung. Die Minimalwerte liegen unter 0,5, während sich die Maximalwerte zwischen 1 und 3 befinden.

Im Vergleich liegen die Mediane der ersten und zweiten Hauptuntersuchung bei ca. 1 und die Minimalwerte unter 0,5. Die Maximalwerte nehmen in der 2. Untersuchung höhere Werte an als in der ersten Untersuchung. Signifikante Unterschiede in Bezug auf die Wechselwirkung der Faktoren Aufbissverteilung und Aufbisslage zeigen sich nur in der ersten Untersuchung.

4.2.4 Quotienten der Muskelaktivität des M. temporalis bei 35% MVC bei verschiedenen Aufbisslagen

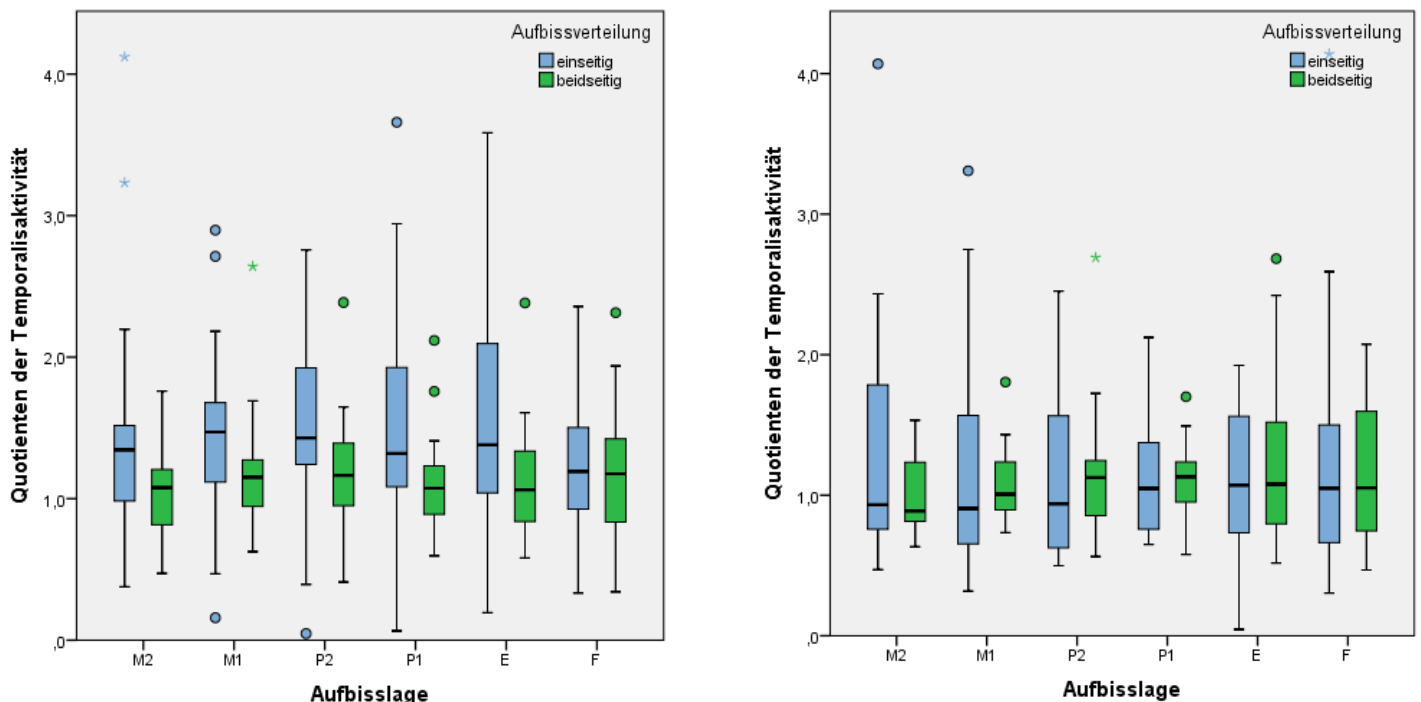


Abb. 15: **Boxplotdarstellung der Quotienten der Temporalisaktivität bei 35% MVC** (links: 1. Hauptuntersuchung, rechts: 2. Hauptuntersuchung); M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn, F=Frontzahnbereich

Die Mediane der Quotienten in der 1. Hauptuntersuchung für die einseitige Aufbissverteilung (ca. 1,5) befinden sich über den bei ca. 1 liegenden Medianen der beidseitigen Aufbissverteilung. Neben den erhöhten Streuungen bei der einseitigen Aufbissverteilung sind auch die Maximalwerte mit Werten zwischen 2 und 4 für die einseitige Aufbissverteilung deutlich höher als die Maximalwerte der beidseitigen Verteilung mit Werten zwischen 1,5 und 2. Die Minimalwerte befinden sich unter 0,5. Signifikante Unterschiede in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung zeigen sich mit $P=0,006$.

In der 2. Hauptuntersuchung ordnen sich die Mediane um den Wert 1 an. Die Streuungen und Maximalwerte sind mit Ausnahme für die Aufbisslage des Eckzahnes und der Front für die einseitige Aufbissverteilung größer als für die beidseitige Verteilung. Die Minimalwerte liegen tendenziell unter 0,5.

Im Vergleich werden die bei ca. 1 liegenden Mediane der beidseitigen Aufbissverteilung in beiden Untersuchungen deutlich. In der zweiten Untersuchung befinden sich die Mediane

der einseitigen Aufbissverteilung ebenfalls bei 1 und nur die Mediane der einseitigen Verteilung der ersten Untersuchung liegen bei ca. 1,5. Die Streuungen und Maximalwerte sind für die einseitige Verteilung deutlich größer als für die beidseitige Verteilung. Die signifikanten Unterschiede in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung zeigen sich nur in der ersten Untersuchung.

4.3 Vergleich der Quotienten der Muskelaktivitäten des M. masseter und M. temporalis bei exemplarischen Aufbisslagen

Im Folgenden wird für drei exemplarische Aufbisslagen (zweiter Molar, zweiter Prämolare und Eckzahn) jeweils das Boxplot mit den Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter mit dem Boxplot mit den Quotienten der Muskelaktivität des M. temporalis verglichen.

4.3.1 Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter und M. temporalis bei Aufbiss im Bereich des zweiten Molaren (M2)

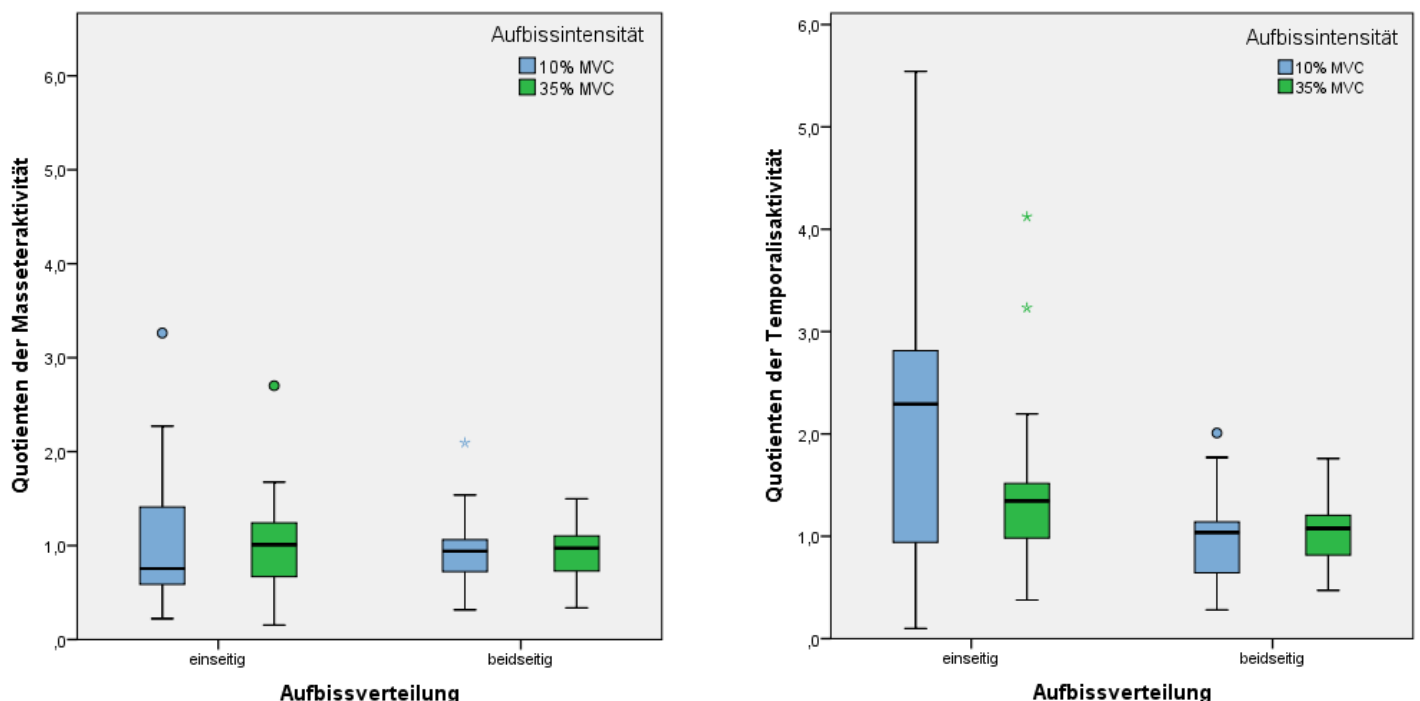


Abb. 16: Boxplotdarstellung der Quotienten der Masseter- und Temporalisaktivität an der Position M2 der 1. Hauptuntersuchung (links: Masseteraktivität, rechts: Temporalisaktivität); MVC=Maximale voluntäre Kontraktion

Im Vergleich liegen die Mediane der Quotienten der Muskelaktivitäten des M. masseter für sowohl einseitige als auch beidseitige Aufbissverteilungen und des M. temporalis für beidseitige Verteilungen bei ca. 1. Die Mediane der Quotienten der Temporalisaktivität befinden sich für die einseitige Aufbissverteilung bei 10% MVC bei ca. 2,5 und für 35% MVC bei ca. 1,5. Signifikante Unterschiede zeigen sich in Bezug auf die Faktoren Aufbissintensität ($P=0,023$) und Aufbissverteilung ($P=0,004$) und deren Wechselwirkung ($P=0,011$) nur für den M. temporalis.

4.3.2 Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter und M. temporalis bei Aufbiss im Bereich des zweiten Prämolaren (P2)

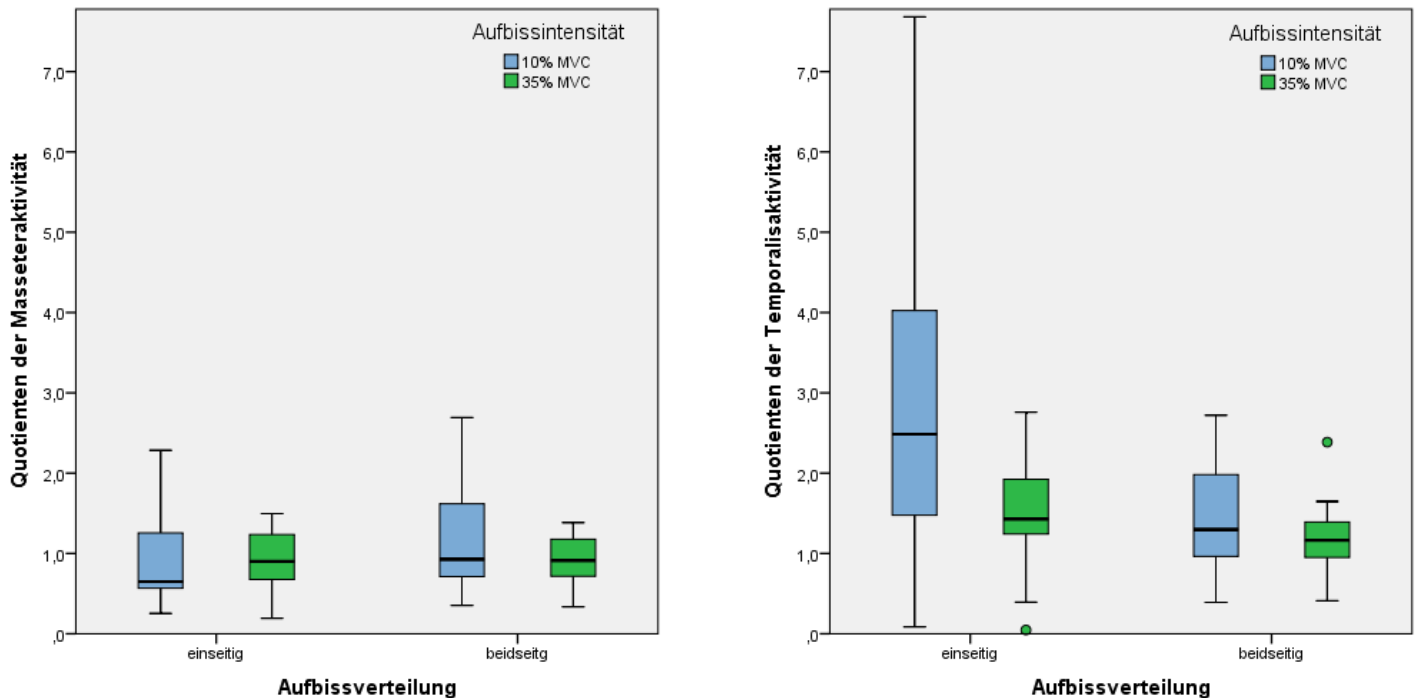


Abb. 17: **Boxplotdarstellung der Quotienten der Masseter- und Temporalisaktivität an der Position P2 der 1. Hauptuntersuchung** (links: Masseteraktivität, rechts: Temporalisaktivität); MVC=Maximale voluntäre Kontraktion

Die Mediane der Quotienten der Masseteraktivität liegen - mit Ausnahme des unter 1 liegenden Median der einseitigen Aufbissverteilung und 10% MVC - bei ca. 1. Die Mediane der Quotienten der Temporalisaktivität liegen dagegen mit ca. 1,5 etwas höher und der höchste Median liegt bei ca. 2,5 für die einseitige Aufbissverteilung bei 10% MVC. Nur für den M. temporalis zeigen sich signifikante Unterschiede in Bezug auf die Faktoren Aufbissintensität ($P=0,008$), Aufbissverteilung ($P=0,014$) und deren Wechselwirkung ($P=0,027$).

4.3.3 Quotienten der Muskelaktivität des M. masseter und M. temporalis bei Aufbiss im Bereich des Eckzahnes (E)

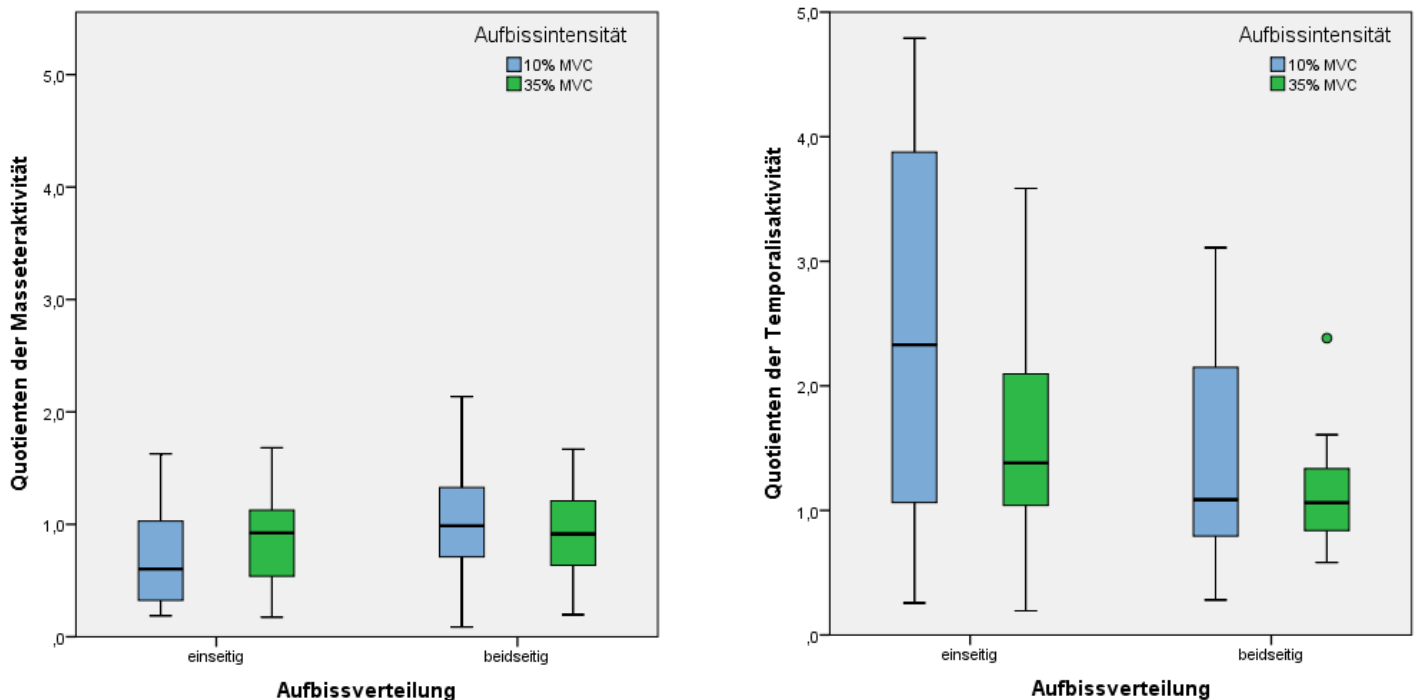


Abb. 18: Boxplotdarstellung der Quotienten der Masseter- und Temporalisaktivität an der Position E der 1. Hauptuntersuchung (links: Masseteraktivität, rechts: Temporalisaktivität); MVC=Maximale voluntäre Kontraktion

Die Mediane der Quotienten der Masseteraktivität befinden sich - mit Ausnahme des Medians (ca. 0,5) der einseitigen Aufbissverteilung und 10% MVC - bei ca. 1. Die Mediane der Quotienten der Temporalisaktivität für die beidseitige Aufbissverteilung liegen ebenfalls bei ca. 1. Für die einseitige Aufbissverteilung der Temporalisaktivität zeigen sich bei 10% MVC ein Median von ca. 2,5 und für 35% MVC ein Median von ca. 1,5.

Signifikante Unterschiede in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung zeigen sich für den M. temporalis ($P=0,016$) und für den M. masseter ($P=0,006$). Der M. masseter weist zusätzlich noch einen signifikanten Unterschied in Bezug auf die Wechselwirkung der Faktoren Aufbissintensität und Aufbissverteilung ($P=0,017$) auf.

4.4 Reliabilitätsanalysen

4.4.1 Intraklassenkorrelationskoeffizient (ICC)

Die Reliabilität der Muskelaktivitäten des M. masseter und M. temporalis für alle Aufbisssituationen bei jeweils 10% und 35% MVC der beiden Hauptuntersuchungen wurde mittels des Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) ermittelt.

Im Folgenden werden die Intraklassenkoeffizienten für den M. masseter und M. temporalis für einseitige Aufbisssituationen (Tabelle 2) und beidseitige Aufbisspositionen (Tabelle 3) aufgeführt. Bei den rotmarkierten Ziffern handelt es sich um ICC > 0,5, die einer mittleren bzw. hohen Reproduzierbarkeit entsprechen.

<u>Einseitige Aufbisssituationen</u>	M. Masseter			M. Temporalis		
	ICC	95% Konfidenzintervall Untergrenze Obergrenze		ICC	95% Konfidenzintervall Untergrenze Obergrenze	
M2-10% MVC	0,22	0,230	0,600	0,40	0,41	0,79
M2-35% MVC	0,59	0,214	0,816	0,58	0,200	0,811
M1-10% MVC	0,18	0,272	0,570	0,01	0,440	0,426
M1-35% MVC	0,43	-0,005	0,727	0,14	-0,312	0,540
P2-10% MVC	0,18	-0,279	0,565	0,33	-0,117	0,669
P2-35% MVC	0,34	-0,112	0,672	-0,19	-0,449	0,417
P1-10% MVC	-0,34	-0,460	0,405	0,56	0,164	0,798
P1-35% MVC	0,16	-0,294	0,554	-0,26	-0,454	0,412
E-10% MVC	0,38	-0,64	0,698	0,32	-0,128	0,663
E-35% MVC	0,35	-0,94	0,982	0,89	0,741	0,954
F-10% MVC	0,99	-0,349	0,510	0,70	0,385	0,870
F-35% MVC	0,18	-0,278	0,566	0,75	0,465	0,892

Tabelle 2: **ICC für einseitige Aufbisssituationen für M. masseter und M. temporalis**
(M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn, F=Frontzahnbereich;
MVC=Maximale voluntäre Kontraktion)

Beidseitige Aufbisssituationen	M. Masseter			M. Temporalis		
	ICC	95% Konfidenzintervall Untergrenze Obergrenze		ICC	95% Konfidenzintervall Untergrenze Obergrenze	
M2M2-10% MVC	0,95	-0,352	0,507	0,29	0-0,161	0,644
M2M2-35% MVC	0,77	-0,368	0,494	0,66	0,310	0,847
M1M1-10% MVC	-0,17	-0,558	0,289	0,59	0,207	0,813
M1M1-35% MVC	0,26	-0,193	0,624	0,42	-0,22	0,719
P2P2-10% MVC	0,11	-0,337	0,520	0,53	0,130	0,785
P2P2-35% MVC	-0,17	-0,446	0,419	0,18	-0,274	0,569
P1P1-10% MVC	-0,07	-0,488	0,374	0,18	-0,278	0,566
P1P1-35% MVC	0,19	-0,267	0,573	0,21	-0,245	0,589
EE-10% MVC	0,19	-0,267	0,574	0,59	0,211	0,815
EE-35% MVC	0,22	-0,241	0,592	0,69	0,368	0,865
FF-10% MVC	0,10	-0,349	0,510	0,39	-0,048	0,706
FF-35% MVC	0,29	-0,167	0,640	0,48	0,065	0,758

Tabelle 3: ICC für beidseitige Aufbisssituationen für M. masseter und M. temporalis (M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn, F=Frontzahnbereich; MVC=Maximale voluntäre Kontraktion).

Wie in Tabelle 2 zu erkennen, sind bei einseitigen okklusalen Aufbisspositionen die ICC-Werte des M. masseter für eine Aufbissposition bei 10% MVC geringer als bei 35% MVC, ausgenommen für die Positionen des ersten Prämolaren, des Eckzahnes und der Front. Der ICC-Wert von 0,59 für den M. masseter bei einem einseitigem Aufbiss des zweiten Molaren bei einer Aufbissintensität von 35% MVC spricht für eine mittlere Reproduzierbarkeit der Muskelaktivität. Bei dem Aufbiss mit 10% MVC in der Front kann man von einer hohen Reproduzierbarkeit für den M. masseter (ICC: 0,99) sprechen.

Bei dem M. temporalis sind bei einseitigen okklusalen Aufbisspositionen die ICC-Werte für eine Aufbissposition bei 10% MVC geringer als bei 35% MVC mit Ausnahme der Positionen des ersten und zweiten Prämolaren.

Eine mittlere Reproduzierbarkeit der Temporalisaktivität zeigt sich für den einseitigen Aufbiss beim zweiten Molaren und 35% MVC (ICC: 0,58), beim ersten Prämolaren und 10% MVC (ICC: 0,56) und der Front bei 10% MVC (ICC: 0,70) und 35% MVC (ICC: 0,75). Eine hohe Reproduzierbarkeit liegt für den M. temporalis an der Position des Eckzahnes bei 35% MVC Aufbissintensität vor (ICC: 0,89).

In Tabelle 3 liegen die ICC-Werte innerhalb der beidseitigen Aufbisspositionen für die unterschiedlichen Aufbissintensitäten für den M. masseter nah beieinander. Der ICC von 0,77 steht für eine mittlere Reproduzierbarkeit der Masseteraktivität bei beidseitigem Aufbiss der zweiten Molaren bei 35% MVC, während eine hohe Reproduzierbarkeit für den Masseter bei 10% MVC des beidseitigen Aufbisses der zweiten Molaren vorliegt (ICC: 0,95).

Beim M. temporalis sind mit Ausnahme der Positionen M1 und P2 die ICC-Werte innerhalb einer Aufbissposition für 10% MVC geringer als für 35% MVC. Eine mittlere Reproduzierbarkeit der Temporalisaktivität zeigt sich beim beidseitigen Aufbiss an der Position der zweiten Molaren und 35% MVC (ICC: 0,66), bei einer Intensität von 10% MVC im Bereich der ersten Molaren (ICC: 0,59) und der zweiten Prämolaren (ICC: 0,53) sowie im Bereich der Eckzähne bei 10% MVC (ICC: 0,59) und bei 35% MVC (ICC: 0,69).

4.4.2 Muskelaktivitätsunterschiede in den Untersuchungsterminen

In den folgenden Tabellen wurden zur Analyse der Reproduzierbarkeit der Daten für jeden der vier einzelnen Kaumuskeln zusätzlich die mittleren Muskelaktivitäten für die jeweiligen Aufbisspositionen bei den verschiedenen Aufbissintensitäten innerhalb der einzelnen Untersuchungstermine in μV dargestellt, gefolgt von den in μV angegebenen mittleren Differenzen zwischen den Muskelaktivitäten der beiden Untersuchungssitzungen für die verschiedenen Aufbisspositionen und Intensitäten, deren Standardabweichung, Minimal- und Maximalwerte und deren Bereich. Ebenso werden die auf die mittleren Muskelaktivitäten bezogenen signifikanten Unterschiede ($P < 0,05$) der beiden Untersuchungssitzungen angegeben. Die Unterschreitung des Schwellenwertes ($P < 0,05$) für signifikante Unterschiede wird durch rotmarkierte Ziffern verdeutlicht.

Bei Mittelwerten im positiven μV -Bereich liegt beim ersten Untersuchungstermin eine höhere Muskelaktivität des Muskels bei derselben Aufbissposition und Aufbissintensität gegenüber dem zweiten Termin vor. Umgekehrt ergeben sich negative Werte bei höheren Muskelaktivitäten während des zweiten Untersuchungstermins. Der Bereich zwischen den minimalen und maximalen Werten gibt Aufschluss über die interindividuelle Variabilität.

APo	AI (% MVC)	MA H1 (µV)	MA H2 (µV)	Diff (µV)	SA (µV)	Min (µV)	Max (µV)	B (µV)	P
M2	10%	40,5	42,4	-1,9	17,8	-37,3	42,3	79,6	0,64
M2	35%	133,9	134,4	-0,5	54,8	-103,1	109,2	212,2	0,97
M1	10%	45,1	44,7	0,4	19,0	-23,8	40,2	64,0	0,93
M1	35%	132,7	126,6	6,1	43,1	-59,7	104,1	163,8	0,54
P2	10%	45,0	44,9	0,1	18,6	-28,7	40,8	69,5	0,97
P2	35%	121,3	124,2	-2,9	42,3	-94,6	90,8	185,3	0,76
P1	10%	43,4	44,6	-1,2	21,7	-22,5	57,1	79,6	0,81
P1	35%	117,9	124,0	-6,1	43,4	-93,3	93,3	186,6	0,54
E	10%	46,4	47,2	-0,8	20,3	-26,0	54,9	80,9	0,86
E	35%	116,2	117,1	-0,9	39,0	-53,0	96,8	149,8	0,92
F	10%	48,8	44,3	4,6	19,7	-29,4	43,6	73,0	0,31
F	35%	115,5	117,0	-1,5	46,7	-96,7	71,5	168,2	0,88

Tabelle 4: **Darstellung Muskelaktivitätsunterschiede bei den Untersuchungsterminen bei einseitigen Aufbisspositionen für den rechten M. masseter**

(APo=Aufbisspositionen; M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn, F=Front; AI=Aufbissintensität; MA H1=mittlere Muskelaktivität bei 1. Hauptuntersuchung; MA H2=mittlere Muskelaktivität bei 2. Hauptuntersuchung; Diff=Differenz zwischen MA H1 und MA H2; SA=Standardabweichung; Min=Minimum Muskelaktivität; Max=Maximum Muskelaktivität; B=Bereich zwischen Min und Max; P=P-Wert-Angabe mit rotmarkierten signifikanten Unterschieden bei $P < 0,05$)

In Tabelle 4 fällt auf, dass sich die mittelwertigen Differenzen für die einseitigen Aufbisspositionen des rechten Masseter vorrangig negativ verhalten und alle Differenzen sehr klein sind und sich um den Nullpunkt anordnen. Mit $-6,1 \mu V$ bei 35% MVC an der Position P1 ist dies der negativste Wert, während der höchste Wert mit $+6,1 \mu V$ bei 35% MVC bei M1 zu finden ist, gefolgt von $+4,6 \mu V$ in der Front mit 10% MVC. Die Tendenz liegt dabei bei geringgradig höheren Muskelaktivitäten des rechten Masseter beim zweiten Untersuchungstermin mit den höchsten Muskelaktivitäten an der Position M2 bei 35% MVC mit $134,4 \mu V$ in der 2. Sitzung und $133,9 \mu V$ in der 1. Sitzung. Der Bereich zwischen Minimum und Maximum ist in allen Fällen für die Aufbissintensität von 35% MVC fast doppelt so hoch wie bei 10% MVC und verdeutlicht bei höherer Aufbissintensität eine höhere interindividuelle Variabilität zwischen den Untersuchungsterminen.

APo	AI (% MVC)	MA H1 (μ V)	MA H2 (μ V)	Diff (μ V)	SA (μ V)	Min (μ V)	Max (μ V)	B (μ V)	P
M2	10%	49,0	62,4	-13,4	28,4	-77,4	34,6	112,0	0,05
M2	35%	125,4	136,0	-10,6	37,7	-70,7	80,2	150,8	0,22
M1	10%	54,5	68,4	-13,9	32,2	-60,7	92,3	153,0	0,07
M1	35%	129,9	140,2	-10,3	46,8	-73,1	133,6	206,8	0,34
P2	10%	54,9	64,9	-10,1	23,3	-59,5	45,8	105,3	0,07
P2	35%	119,1	131,0	-11,9	45,2	-80,3	139,8	220,2	0,25
P1	10%	43,8	59,0	-15,2	27,4	-61,5	62,9	124,4	0,02
P1	35%	118,5	134,3	-15,8	46,0	-98,4	138,3	236,6	0,14
E	10%	41,0	54,3	-13,3	22,6	-87,7	12,4	100,1	0,02
E	35%	97,9	107,8	-9,9	25,8	-78,4	32,8	111,2	0,10
F	10%	37,9	48,7	-10,8	33,6	-112,9	39,5	152,4	0,17
F	35%	92,4	113,1	-20,6	46,0	-150,0	68,7	218,7	0,06

Tabelle 5: Darstellung Muskelaktivitätsunterschiede in den Untersuchungsterminen bei einseitigen Aufbisspositionen für den rechten M. temporalis

(APo=Aufbisspositionen; M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn, F=Front; AI=Aufbissintensität; MA H1=mittlere Muskelaktivität bei 1. Hauptuntersuchung; MA H2=mittlere Muskelaktivität bei 2. Hauptuntersuchung; Diff=Differenz zwischen MA H1 und MA H2; SA=Standardabweichung; Min=Minimum Muskelaktivität; Max=Maximum Muskelaktivität; B=Bereich zwischen Min und Max; P=P-Wert-Angabe mit rotmarkierten signifikanten Unterschieden bei $P < 0,05$)

In Tabelle 5 sind die mittleren Differenzen der Muskelaktivitäten des rechten M. temporalis bei einseitigen Aufbisspositionen negativ und befinden sich zwischen $-9,9 \mu\text{V}$ und $-20,6 \mu\text{V}$, während die Differenzwerte innerhalb einer Aufbissposition für die unterschiedlichen Aufbissintensitäten mit Ausnahme der Front sehr nah beieinanderliegen. Bei allen Positionen liegen höhere Muskelaktivitäten der zweiten Untersuchung vor, während sie innerhalb einer Aufbissposition bei 35% MVC zu 10% MVC deutlich höher liegen. Die höchsten Aktivitäten des rechten Temporalis zeigen sich bei 35% MVC der 2. Sitzung an den Positionen des zweiten Molaren ($136 \mu\text{V}$) und des ersten Molaren ($140,2 \mu\text{V}$). Die Bereiche liegen über $100 \mu\text{V}$ und zeigen aufgrund der höheren Werte bei der Aufbissintensität von 35% MVC eine geringere Reliabilität. Signifikante Unterschiede bezogen auf die mittleren Muskelaktivitäten des rechten M. temporalis der beiden Untersuchungssitzungen zeigen sich bei einer Aufbissintensität von 10% MVC an den Aufbisspositionen P1 und E.

APo	AI (% MVC)	MA H1 (μ V)	MA H2 (μ V)	Diff (μ V)	SA (μ V)	Min (μ V)	Max (μ V)	B (μ V)	P
M2	10%	43,5	46,3	-2,8	26,0	-55,6	64,9	120,5	0,63
M2	35%	122,7	125,2	-2,5	52,9	-66,2	154,3	220,5	0,84
M1	10%	46,4	53,7	-7,3	29,6	-82,3	41,5	123,8	0,29
M1	35%	125,8	139,1	-13,3	73,5	-218,4	138,2	356,6	0,43
P2	10%	45,7	48,1	-2,4	24,1	-46,3	62,8	109,1	0,66
P2	35%	118,3	123,8	-5,4	59,9	-149,0	153,2	302,2	0,69
P1	10%	44,6	47,6	-3,0	28,9	-71,0	69,5	140,4	0,64
P1	35%	111,2	127,4	-16,2	70,2	-155,2	168,6	323,7	0,31
E	10%	43,0	41,7	1,3	27,2	-51,6	80,5	132,1	0,83
E	35%	106,6	115,1	-8,5	63,8	-160,7	147,0	307,7	0,56
F	10%	45,6	45,8	-0,2	23,1	-49,1	62,0	111,0	0,97
F	35%	108,0	114,5	-6,5	62,0	-169,4	93,8	263,2	0,65

Tabelle 6: Darstellung Muskelaktivitätsunterschiede in den Untersuchungsterminen bei einseitigen Aufbisspositionen für den linken M. masseter

(APo=Aufbisspositionen; M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn, F=Front; AI=Aufbissintensität; MA H1=mittlere Muskelaktivität bei 1. Hauptuntersuchung; MA H2=mittlere Muskelaktivität bei 2. Hauptuntersuchung; Diff=Differenz zwischen MA H1 und MA H2; SA=Standardabweichung; Min=Minimum Muskelaktivität; Max=Maximum Muskelaktivität; B=Bereich zwischen Min und Max; P=P-Wert-Angabe mit rotmarkierten signifikanten Unterschieden bei $P < 0,05$)

In Tabelle 6 zeigen sich ausgenommen der Eckzahnposition (+1,3 μ V), bei 10% MVC nur negative Differenzen zwischen -0,2 μ V und -8,5 μ V mit Ausreißern beim ersten Molaren mit -13,3 μ V und dem ersten Prämolaren mit -16,2 μ V bei jeweils 35% MVC. Leicht höhere Aktivitäten des linken Masseter werden bei einseitigen Aufbisspositionen in der zweiten Untersuchungssitzung deutlich, ebenso wie die fast dreifach höheren Masseteraktivitäten einer Aufbissposition bei der höheren Aufbissintensität von 35% MVC. Die Bereiche zwischen den Minimal- und Maximalwerten liegen über 100 μ V. Dabei sind die Bereiche innerhalb einer Aufbissposition für 35% MVC mehr als doppelt so hoch wie die Bereiche für 10% MVC.

APo	AI (% MVC)	MA H1 (μ V)	MA H2 (μ V)	Diff (μ V)	SA (μ V)	Min (μ V)	Max (μ V)	B (μ V)	P
M2	10%	45,4	47,7	-2,4	39,6	-60,5	98,8	159,3	0,79
M2	35%	125,4	126,6	-1,2	78,3	-119,9	187,3	307,2	0,95
M1	10%	58,4	61,9	-3,5	54,1	-92,1	177,0	269,1	0,78
M1	35%	128,5	139,1	-10,7	68,9	-126,1	204,7	330,8	0,50
P2	10%	50,7	57,6	-6,9	30,6	-68,5	83,6	152,1	0,32
P2	35%	114,8	131,3	-16,4	60,9	-133,5	179,0	312,6	0,24
P1	10%	39,5	56,7	-17,3	31,1	-73,6	60,4	133,9	0,02
P1	35%	110,6	129,6	-19,0	55,2	-118,9	168,2	287,1	0,14
E	10%	43,5	54,2	-10,7	34,8	-97,7	46,4	144,0	0,18
E	35%	95,6	109,2	-13,6	37,1	-107,1	61,1	168,2	0,12
F	10%	35,1	42,9	-7,8	30,9	-84,2	40,8	125,1	0,27
F	35%	85,3	104,5	-19,3	54,8	-128,1	119,8	247,9	0,13

Tabelle 7: Darstellung Muskelaktivitätsunterschiede in den Untersuchungsterminen bei einseitigen Aufbisspositionen für den linken M. temporalis

(APo=Aufbisspositionen; M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn, F=Front; AI=Aufbissintensität; MA H1=mittlere Muskelaktivität bei 1. Hauptuntersuchung; MA H2=mittlere Muskelaktivität bei 2. Hauptuntersuchung; Diff=Differenz zwischen MA H1 und MA H2; SA=Standardabweichung; Min=Minimum Muskelaktivität; Max=Maximum Muskelaktivität; B=Bereich zwischen Min und Max; P=P-Wert-Angabe mit rotmarkierten signifikanten Unterschieden bei $P < 0,05$)

In Tabelle 7 liegen die insgesamt negativen Differenzen innerhalb der einseitigen Aufbisspositionen für den zweiten Molaren, den ersten Prämolaren und den Eckzahn bei den verschiedenen Aufbissintensitäten nah beieinander. Die Differenzwerte innerhalb einer Aufbissposition unterscheiden sich in den Positionen des ersten Molaren, des zweiten Prämolaren und der Front in ihrer Größe deutlich und weisen negativere Mittelwerte bei 35% MVC auf. Beim linken Temporalis übersteigen die Muskelaktivitäten des zweiten Untersuchungstermins die des ersten Termins. Deutlich werden die in beiden Untersuchungssitzungen höheren Muskelaktivitäten bei 35% MVC einer Aufbissposition, die an der Position des ersten Molaren mit 128,5 μ V in der ersten Sitzung und mit 139,1 μ V in der zweiten Sitzung am höchsten liegen.

Der Bereich zwischen den Minimal- und Maximalwerten ist für den intensiveren Aufbiss mit 35% MVC deutlich größer als bei 10% MVC. Beim zweiten Prämolaren zeigt sich ein Bereich von 152,1 μ V bei 10% MVC zu 312,6 μ V bei 35% MVC.

Signifikante Unterschiede bezogen auf die mittleren Muskelaktivitäten des linken M. temporalis der beiden Untersuchungssitzungen zeigen sich für 10% MVC der einseitigen Aufbissposition P1.

APo	AI (% MVC)	MA H1 (µV)	MA H2 (µV)	Diff (µV)	SA (µV)	Min (µV)	Max (µV)	B (µV)	P
M2 - M2	10%	50,2	47,1	3,1	23,4	-28,8	73,1	101,9	0,56
M2 - M2	35%	140,2	134,8	5,3	49,0	-57,5	146,3	203,9	0,63
M1 - M1	10%	50,7	44,8	5,9	26,9	-49,4	74,0	123,4	0,34
M1 - M1	35%	140,8	134,0	8,5	53,2	-73,1	158,1	231,2	0,49
P2 - P2	10%	45,0	107,0	-62,0	38,0	-129,4	-4,7	124,7	-
P2 - P2	35%	139,6	126,7	12,9	44,2	-45,4	140,2	185,6	0,21
P1 - P1	10%	45,8	46,6	-0,8	25,3	-37,8	76,1	113,8	0,89
P1 - P1	35%	134,6	130,6	4,0	49,0	-86,7	127,8	214,5	0,72
E - E	10%	48,5	47,7	0,9	29,8	-35,3	83,9	119,2	0,90
E - E	35%	137,2	131,3	5,9	57,5	-70,6	194,8	265,4	0,65
F - F	10%	45,5	45,2	0,4	18,9	-34,4	58,0	92,4	0,93
F - F	35%	127,0	124,6	2,4	53,4	-84,5	148,0	232,5	0,85

Tabelle 8: Darstellung Muskelaktivitätsunterschiede in den Untersuchungsterminen bei beidseitigen Aufbisspositionen für den rechten M. masseter

(APo=Aufbisspositionen; M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn, F=Front; AI=Aufbissintensität; MA H1=mittlere Muskelaktivität bei 1. Hauptuntersuchung; MA H2=mittlere Muskelaktivität bei 2. Hauptuntersuchung; Diff=Differenz zwischen MA H1 und MA H2; SA=Standardabweichung; Min=Minimum Muskelaktivität; Max=Maximum Muskelaktivität; B=Bereich zwischen Min und Max; P=P-Wert-Angabe mit rotmarkierten signifikanten Unterschieden bei $P < 0,05$)

Bei den beidseitigen Aufbisspositionen in Tabelle 8 liegen die mittleren Differenzen der Untersuchungssitzungen im positiven Bereich zwischen +0,4 µV und +12,9 µV mit Ausnahme der negativen Differenz von -62 µV beim beidseitigen Aufbiss auf die zweiten Prämolaren bei 10% MVC und beim beidseitigen Aufbiss auf die ersten Prämolaren bei ebenfalls 10% MVC mit -0,8 µV. Die erhöhten Masseteraktivitäten beim ersten Untersuchungstermin werden deutlich. In beiden Sitzungen zeigen sich ähnliche Muskelaktivitäten für die jeweilige Aufbissintensität von 10% oder 35% MVC unabhängig der Aufbissposition. So liegen die Muskelaktivitäten bei 10% MVC zwischen 40- 50 µV (Ausnahme P2-P2 der 2. Sitzung) und bei 35% MVC zwischen 125- 140 µV. Der Bereich zwischen Minimal- und Maximalwerten (101,9 µV bis 232,5 µV) weist erhöhte Werte bei 35% MVC auf.

APo	AI (% MVC)	MA H1 (µV)	MA H2 (µV)	Diff (µV)	SA (µV)	Min (µV)	Max (µV)	B (µV)	P
M2 - M2	10%	49,3	55,4	-6,2	25,6	-51,0	47,6	98,6	0,30
M2 - M2	35%	124,3	128,0	-3,7	37,8	-65,3	71,1	136,5	0,67
M1 - M1	10%	56,6	56,9	-0,3	26,6	-71,0	53,4	124,4	0,96
M1 - M1	35%	132,7	136,3	-3,3	42,8	-91,9	92,0	183,9	0,74
P2 - P2	10%	47,7	60,4	-12,7	25,8	-85,9	18,5	104,4	0,04
P2 - P2	35%	136,0	133,6	2,4	48,8	-82,2	137,5	219,7	0,83
P1 - P1	10%	48,1	61,0	-12,9	26,6	-75,0	20,8	95,8	0,04
P1 - P1	35%	123,2	132,2	-9,1	34,4	-63,6	56,8	120,4	0,25
E - E	10%	36,6	57,4	-20,8	27,2	-80,2	17,9	98,1	0,003
E - E	35%	119,7	123,3	-3,6	33,0	-54,8	81,2	136,0	0,63
F - F	10%	38,0	48,5	-10,5	30,5	-104,2	35,6	139,7	0,14
F - F	35%	101,8	118,3	-16,5	43,7	-127,3	42,0	169,3	0,11

Tabelle 9: **Darstellung Muskelaktivitätsunterschiede in den Untersuchungsterminen bei beidseitigen Aufbisspositionen für den rechten M. temporalis**

(APo=Aufbisspositionen: M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn, F=Front; AI=Aufbissintensität; MA H1=mittlere Muskelaktivität bei 1. Hauptuntersuchung; MA H2=mittlere Muskelaktivität bei 2. Hauptuntersuchung; Diff=Differenz zwischen MA H1 und MA H2; SA=Standardabweichung; Min=Minimum Muskelaktivität; Max=Maximum Muskelaktivität; B=Bereich zwischen Min und Max); P=P-Wert-Angabe mit rotmarkierten signifikanten Unterschieden bei $P < 0,05$)

Tabelle 9 weist negative Differenzen der mittleren Aktivitäten des rechten Temporalis der beiden Untersuchungstermine für die beidseitigen Aufbisspositionen auf, mit dem negativsten Wert von -20,8 µV bei 10% MVC bei beidseitigem Aufbiss auf den Eckzähnen. Die Ausnahme ist der positive Differenzwert bei 35% MVC beim beidseitigen Aufbiss im Bereich der zweiten Prämolaren. Es zeigen sich gering höhere Muskelaktivitäten in der 2. Untersuchungssitzung innerhalb einer Aufbissposition, während die Aktivitäten für 10% MVC unabhängig der beidseitigen Aufbissposition zwischen 35 und 61 µV und die von 35% MVC zwischen 124 und 136 µV liegen.

Die über 98,6 µV- liegenden Bereiche sind bei einer Intensität von 35% MVC höher als die Bereiche von 10% MVC und weisen somit eine erhöhte interindividuelle Variabilität auf. Signifikante Unterschiede bezogen auf die mittleren Muskelaktivitäten des rechten M. temporalis der beiden Untersuchungssitzungen zeigen sich für 10% MVC der beidseitigen Aufbisspositionen P2, P1 und E.

APo	AI (% MVC)	MA H1 (µV)	MA H2 (µV)	Diff (µV)	SA (µV)	Min (µV)	Max (µV)	B (µV)	P
M2 - M2	10%	47,4	50,8	-3,4	20,5	-41,8	35,4	77,3	0,47
M2 - M2	35%	139,1	136,7	2,4	52,9	-82,3	120,7	203,0	0,84
M1 - M1	10%	49,4	49,6	-0,2	23,6	-55,2	35,5	90,7	0,97
M1 - M1	35%	137,2	142,2	-8,4	54,6	-130,3	110,3	240,6	0,51
P2 - P2	10%	47,6	48,3	-0,7	22,2	-43,1	46,7	89,8	0,89
P2 - P2	35%	135,1	133,8	1,3	59,5	-160,5	107,6	268,1	0,92
P1 - P1	10%	46,8	50,1	-3,3	22,7	-39,0	48,6	87,6	0,53
P1 - P1	35%	135,0	133,2	1,8	55,5	-93,4	121,8	215,2	0,89
E - E	10%	46,6	46,0	0,6	21,1	-33,1	54,0	87,1	0,89
E - E	35%	129,2	125,6	3,7	50,4	-72,2	110,1	182,3	0,75
F - F	10%	48,0	53,3	-5,3	25,3	-72,3	51,3	123,7	0,36
F - F	35%	129,0	129,0	0,0	61,0	-147,1	127,6	274,7	1,00

Tabelle 10: Darstellung Muskelaktivitätsunterschiede in den Untersuchungsterminen bei beidseitigen Aufbisspositionen für den linken M. masseter

(APo=Aufbisspositionen: M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn, F=Front; AI=Aufbissintensität; MA H1=mittlere Muskelaktivität bei 1. Hauptuntersuchung; MA H2=mittlere Muskelaktivität bei 2. Hauptuntersuchung; Diff=Differenz zwischen MA H1 und MA H2; SA=Standardabweichung; Min=Minimum Muskelaktivität; Max=Maximum Muskelaktivität; B=Bereich zwischen Min und Max); P=P-Wert-Angabe mit rotmarkierten signifikanten Unterschieden bei $P < 0,05$)

In Tabelle 10 fallen die negativen Differenzen bei einer Aufbissintensität von 10% MVC und die positiven Differenzen bei 35% MVC auf. Bei beidseitigem Aufbiss in der ersten Molarenregion sind dagegen die Differenzen bei 10% und 35% MVC negativ und mit -8,4 µV ist die Differenz bei 35% MVC auch der negativste Wert. Die mittleren Differenzen bei der beidseitigen Eckzahnposition sind dagegen sowohl für 10% als auch für 35% MVC positiv.

Bei einer Aufbissintensität von 10% MVC sind die Muskelaktivitäten des linken Masseter beim zweiten Untersuchungstermin geringfügig höher als während des ersten Termins mit Ausnahme der beidseitigen Eckzahnposition. Sie weisen in beiden Sitzungen Aktivitäten zwischen 46 und 54 µV auf. Die Masseteraktivitäten bei 35% MVC in der ersten Untersuchungssitzung sind geringfügig höher als in der zweiten Sitzung ausgenommen bei den beidseitigen Aufbisspositionen der ersten Molaren und der Front. Dabei fällt auf, dass die Aktivitäten unabhängig der beidseitigen Aufbisspositionen für die einzelnen Aufbissintensitäten ähnliche Werte aufweisen. Die mehr als doppelt so großen Bereiche zwischen dem Minimum und Maximum bei einer Aufbissintensität von 35% MVC sind bei allen Aufbisspositionen erkennbar.

APo	AI (% MVC)	MA H1 (µV)	MA H2 (µV)	Diff (µV)	SA (µV)	Min (µV)	Max (µV)	B (µV)	P
M2 - M2	10%	42,5	52,8	-10,3	27,7	-50,9	60,7	111,6	0,11
M2 - M2	35%	115,5	127,4	-11,9	32,6	-69,5	50,0	119,5	0,12
M1 - M1	10%	51,4	54,8	-3,4	26,8	-71,7	37,2	108,9	0,58
M1 - M1	35%	130,9	132,5	-0,9	45,3	-59,6	135,4	195,0	0,93
P2 - P2	10%	45,2	58,2	-13,0	28,7	-75,0	29,8	104,9	0,06
P2 - P2	35%	135,6	131,7	3,9	53,7	-63,8	185,6	249,3	0,75
P1 - P1	10%	50,1	55,7	-5,6	31,0	-98,0	36,4	134,4	0,43
P1 - P1	35%	122,1	126,9	-4,8	44,3	-80,0	106,2	186,3	0,64
E - E	10%	39,5	53,3	-13,7	33,4	-80,0	29,1	109,1	0,08
E - E	35%	114,3	120,2	-5,9	45,3	-69,7	118,4	188,1	0,57
F - F	10%	34,8	45,2	-10,3	38,0	-98,7	52,6	151,3	0,24
F - F	35%	101,8	112,3	-10,6	65,7	-166,4	98,5	264,9	0,5

Tabelle 11: **Darstellung Muskelaktivitätsunterschiede in den Untersuchungsterminen bei beidseitigen Aufbisspositionen für den linken M. temporalis**

(APo=Aufbisspositionen: M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn, F=Front; AI=Aufbissintensität; MA H1=mittlere Muskelaktivität bei 1. Hauptuntersuchung; MA H2=mittlere Muskelaktivität bei 2. Hauptuntersuchung; Diff=Differenz zwischen MA H1 und MA H2; SA=Standardabweichung; Min=Minimum Muskelaktivität; Max=Maximum Muskelaktivität; B=Bereich zwischen Min und Max); P=P-Wert-Angabe mit rotmarkierten signifikanten Unterschieden bei $P < 0,05$)

In Tabelle 11 zeigen sich mit Ausnahme für die beidseitige Aufbissposition an den zweiten Prämolaren bei 35% MVC negative Differenzen von -0,9 µV bis -13 µV für den linken Temporalis. Die mittleren Differenzen zwischen den Aktivitäten der ersten und zweiten Sitzung von 10% MVC und 35% MVC liegen dabei abgesehen von den Positionen P2 und E innerhalb einer Aufbissposition nah beieinander. Die Muskelaktivität des linken Temporalis ist in der 2. Sitzung für sowohl 10% als auch für 35% MVC größer als in der 1. Sitzung. Zwischen Minimum und Maximum sind die Bereiche bei 35% MVC innerhalb einer Aufbissposition größer als bei 10% MVC.

4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

In dieser Studie zeigte sich, dass in der Übersicht der Quotienten der Muskelaktivitäten für die verschiedenen Aufbisslagen die Mediane der Muskelaktivitätsquotienten des M. masseter bei 10% MVC sowohl in der ersten als auch in der zweiten Hauptuntersuchung bei beidseitigen Aufbissen bei ca. 1 lagen. Bei der einseitigen Aufbissverteilung wiesen die Mediane der Masseteraktivitätsquotienten in der ersten Hauptuntersuchung Werte unter 1 und in der 2. Hauptuntersuchung Werte über 1 auf. Bei 35% MVC waren die Mediane bei einseitigen und beidseitigen Erhöhungen ähnlich hoch (ca. 1).

Die Aktivitätsquotienten des M. temporalis wiesen bei der beidseitigen Aufbissverteilung und 10% MVC Mediane von ca. 1 auf, während die Mediane bei einseitigen Aufbissen Werte deutlich über 1 aufzeigten, vor allem im Bereich P1 und P2. Beidseitige Aufbisse bei 35% MVC führten beim M. temporalis in beiden Hauptuntersuchungen zu Medianen um den Wert 1, ebenso wie die Mediane bei einseitiger Aufbissverteilung in der 2. Hauptuntersuchung. Die Mediane der ersten Untersuchung befanden sich für die einseitigen Aufbisse über 1.

Wie in Tabelle 12 ersichtlich lagen signifikante Unterschiede in Bezug auf die Faktoren Aufbisslage und Aufbissverteilung für den M. temporalis vor. Die signifikanten Unterschiede zeigten sich in Bezug auf den Faktor Aufbisslage für den Temporalis in der ersten Untersuchung bei 10% MVC. Für den Faktor Aufbissverteilung lagen die signifikanten Unterschiede bei 10% MVC der beiden Hauptuntersuchungen und bei 35% MVC der ersten Hauptuntersuchung.

Für den M. masseter lagen nur signifikante Unterschiede in Bezug auf die Wechselwirkung der Faktoren Aufbisslage und Aufbissverteilung in der ersten Untersuchung für 10% und 35% MVC vor.

Untersuchung	Muskel	Signifikate Unterschiede in Bezug auf Faktor <u>Aufbisslage</u>	Signifikate Unterschiede in Bezug auf Faktor <u>Aufbissverteilung</u>	Signifikate Unterschiede in Bezug auf die <u>Wechselwirkung</u> der Faktoren <u>Aufbisslage</u> und <u>-verteilung</u>
H1 10% MVC	Masseter			P= 0,015
H1 10% MVC	Temporalis	P= 0,037	P= 0,002	
H2 10% MVC	Masseter			
H2 10% MVC	Temporalis		P= 0,003	
H1 35% MVC	Masseter			P= 0,011
H1 35% MVC	Temporalis		P= 0,006	
H2 35% MVC	Masseter			
H2 35% MVC	Temporalis			

Tabelle 12: **Darstellung signifikanter Unterschiede der gesamten Aufbisslagen für M. masseter und M. temporalis**

(H1=1. Hauptuntersuchung, H2=2. Hauptuntersuchung; Aufbisslage: M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn, F=Front; Aufbissintensität: 10% MVC, 35% MVC; Aufbissverteilung: einseitig, beidseitig)

Die Mediane der Masseteraktivitätsquotienten der einzelnen Aufbisslagen lagen bei beidseitigen Aufbissverteilungen für sowohl 10% und 35% MVC bei ca. 1. Davon ausgenommen war die 2. Untersuchung mit 10% MVC an der Aufbisslage P2. Einseitige Aufbisse wiesen ebenfalls Mediane von ca. 1 für verschiedene Aufbisslagen auf. Jedoch waren die Mediane für die Aufbisslagen P2 und P1 in der ersten Untersuchung kleiner 1 und in der zweiten Untersuchung größer 1. Der Median bei einseitiger Aufbissverteilung für die Aufbisslage des Eckzahnes wies in der ersten Untersuchung bei 10% MVC einen Wert von ca. 0,5 auf.

Die Mediane der Muskelaktivitätsquotienten des M. temporalis lagen bei 10% MVC und 35% MVC für alle Aufbisslagen bei ca. 1. Die einseitigen okklusalen Aufbisse führten zu höheren Medianen bei 10% MVC gegenüber 35% MVC. Dabei befanden sich die Mediane bei 10% MVC zwischen 2 und 2,5 und die Mediane von 35% MVC bei etwa 1,5.

In Tabelle 13 erkennt man, dass für die verschiedenen Aufbisslagen vermehrt signifikante Unterschiede in Bezug auf den Faktor Aufbissverteilung für den M. masseter und M. temporalis vorlagen. Dagegen waren nur für den M. temporalis signifikante Unterschiede in Bezug auf den Faktor Aufbissintensität vorzufinden.

Unter- suchung	Aufbisslage	Muskel	Signifikante Unterschiede in Bezug auf Faktor <u>Aufbissintensität</u>	Signifikante Unterschiede in Bezug auf Faktor <u>Aufbissverteilung</u>	Signifikante Unterschiede in Bezug auf die <u>Wechselwirkung der</u> Faktoren Aufbissintensität und - verteilung
H1	E	Masseter Temporalis		P= 0,006 P= 0,016	P= 0,017
H2	E	Masseter Temporalis		P= 0,042	
H1	P1	Masseter Temporalis	P< 0,001	P< 0,001 P< 0,001	P< 0,001
H2	P1	Masseter Temporalis	P= 0,008	P= 0,040 P< 0,001	P= 0,006
H1	P2	Masseter Temporalis	P= 0,008	P= 0,014	P= 0,027
H2	P2	Masseter Temporalis	P= 0,002	P= 0,007	P= 0,015
H1	M1	Masseter Temporalis	P= 0,036	P= 0,022	P= 0,040
H2	M1	Masseter Temporalis	P= 0,011	P= 0,021 P= 0,003	P= 0,016
H1	M2	Masseter Temporalis	P= 0,023	P= 0,004	P= 0,011
H2	M2	Masseter Temporalis		P= 0,02	

Tabelle 13: Darstellung signifikanter Unterschiede der einzelnen Aufbisslagen für M. masseter und M. temporalis

(H1=1. Hauptuntersuchung, H2=2. Hauptuntersuchung; Aufbisslage: M2=2. Molar, M1=1. Molar, P2=2. Prämolare, P1=1. Prämolare, E=Eckzahn, F=Front; Aufbissintensität: 10% MVC, 35% MVC; Aufbissverteilung: einseitig, beidseitig)

Der Vergleich der Masseter- und Temporalisaktivität an den exemplarischen Aufbisslagen (M2, P2, E) zeigte, dass die Mediane der Aktivitätsquotienten beim Masseter sowohl bei einseitigen als auch bei beidseitigen Aufbissverteilungen bei ca. 1 lagen. Hingegen wurde deutlich, dass bei dem M. temporalis bei einseitigen Aufbissen mit 10% MVC der Median bei allen Aufbissituationen bei etwa 2,5 lag.

In den Analysen zur Beurteilung der Reliabilität fanden sich für den M. masseter sowohl bei einseitigen als auch bei beidseitigen Aufbisspositionen nur wenige Intraklassenkoeffizienten, die für eine mittlere und hohe Reproduzierbarkeit standen. Eine mittlere Reproduzierbarkeit fand sich bei einer Aufbissintensität von 35% MVC für den einseitigen und beidseitigen Aufbiss an der Position M2. Eine hohe Reproduzierbarkeit lag bei einer Aufbissintensität von 10% MVC der einseitigen Aufbissposition der Front und der beidseitigen Position der zweiten Molaren vor.

Der Temporalis wies dagegen für die einseitigen und beidseitigen Aufbisspositionen eine erhöhte Anzahl an Intraklassenkoeffizienten auf, die für eine mittlere und hohe Reproduzierbarkeit stehen.

In den Analysen (s. 4.4.2), in der die mittleren Muskelaktivitäten muskelbezogen in μV für die einzelnen Untersuchungssitzungen bei den verschiedenen Aufbissintensitäten und Aufbisspositionen dargestellt wurden, fiel auf, dass die Muskelaktivitäten der rechten und linken Masseter- und Temporalismuskeln unabhängig von den einseitigen und beidseitigen Aufbisspositionen für die Aufbissintensitäten von 10% und 35% MVC ähnlich hoch lagen. Die Muskelaktivitäten bei dem intensiveren Aufbiss mit 35% MVC waren dabei größer als bei 10% MVC. Bei einseitigen Aufbissen wiesen beide Massetermuskeln bei 10% MVC Muskelaktivitäten zwischen 40 bis 54 μV , bei 35% MVC Aktivitäten zwischen 106 bis 140 μV auf.

Die Temporalismuskeln zeigten Aktivitäten zwischen 35 bis 69 μV bei 10% MVC und bei 35% MVC Aktivitäten zwischen 85 bis 141 μV . Beidseitige Aufbissserhöhungen führten zu ähnlichen Muskelaktivitäten mit Werten zwischen 44 bis 107 μV bei 10% MVC und Werten zwischen 124 bis 143 μV bei 35% MVC für die Massetermuskeln. Die Aktivitäten der Temporalismuskeln lagen bei 10% zwischen 34 und 61 μV und bei 35% MVC zwischen 101 und 137 μV .

Die mittleren Differenzen zwischen den Muskelaktivitäten der beiden Untersuchungssitzungen waren bei einseitigen Aufbissen für die linken und rechten Masseter- und Temporalismuskeln hauptsächlich negativ, was auf eine höhere Muskelaktivität in der zweiten Untersuchungssitzung zurückzuführen ist. Die Bereiche zwischen den minimalen und maximalen Werte waren für beide Muskelgruppen bei einseitigen und beidseitigen Aufbissverteilungen bei einer Intensität von 35% MVC deutlich größer als die bei 10% MVC und wiesen somit eine höhere interindividuelle Variabilität auf. Bei beidseitigen Aufbissen zeigten sich die Differenzen der rechten Masseteraktivitäten grundsätzlich negativ, ebenso wie bei dem linken Masseter bei einer Aufbissintensität von 10% MVC. Dies sprach für hauptsächlich höhere Muskelaktivitäten

in der zweiten Untersuchungssitzung. Bei 35% MVC fanden sich für den linken Masseter eher positive Differenzen zwischen den Muskelaktivitäten der beiden Sitzungen und so konnte von höheren Aktivitäten in der ersten Sitzung gesprochen werden. Die rechten und linken Temporalismuskeln zeigten bei den beidseitigen Aufbissen aufgrund der vermehrt negativen Differenzen höhere Muskelaktivitäten in der zweiten Untersuchung.

Signifikante Unterschiede bezogen auf die mittleren Muskelaktivitäten der beiden Untersuchungssitzungen waren nur vereinzelt für den M. temporalis bei den verschiedenen Aufbissintensitäten und Aufbisspositionen erkennbar.

5. Diskussion

5.1 Diskussion der verwendeten Materialien und Methoden

Das Ziel der vorliegenden Dissertation bestand in der Untersuchung der Wirkung verschiedener einseitiger und beidseitig transversaler okklusaler Veränderungen auf die elektromyographische Aktivität der Kaumuskeln M. masseter und M. temporalis bei submaximalem Zubiss mit 10% und 35% der maximalen voluntären Kontraktion (MVC) an einer Gruppe von zwanzig funktionsgesunden Probanden (Durchschnittsalter: 25,3 Jahre). Es sollte geklärt werden, ob Aktivitätsunterschiede zwischen den Muskeln bei unterschiedlichen Aufbisspositionen und Aufbissintensitäten zu beobachten sind und welche Reliabilität der durch Oberflächen-Elektromyographie (EMG) ermittelten Muskelaktivitäten in verschiedenen Messsituationen erreicht werden kann.

Die Untersuchungen unterteilten sich in eine Voruntersuchung und zwei identische Hauptuntersuchungen im Abstand von mindestens 14 Tagen. Umgesetzt wurden die okklusalen Veränderungen durch 0,4 mm dicke, zahnbezogen zugeschnittene Polykarbonatfolien, die auf den unteren Molaren, Prämolaren, Eck- und Frontzähnen reversibel positioniert wurden. Mittels visueller Feedbackkontrolle wurden bei den dreimalig wiederholten Aufbissen submaximale Muskelaktivitäten von 10% und 35% MVC erreicht. Zur Beurteilung der Effekte wurden die Aktivitätsverhältnisse (Ratios) der homonymen Muskeln berechnet und mittels zweifaktorieller Varianzanalysen (ANOVA) statistisch analysiert. Die Reliabilität wurde neben dem Intraklassenkoeffizienten (ICC) durch die muskelbezogenen Mittelwerte der Differenzen der mittleren Muskelaktivitäten der beiden Untersuchungen für jede Aufbissposition beurteilt.

Bei der Auswahl der experimentellen okklusalen Interferenzen waren die Ziele, dass es sich zum einen um okklusale Erhöhungen handeln sollte, die reversibel auf einzelne Zähne abhängig der zu untersuchenden Aufbissposition platziert werden konnten, ohne dass dadurch Zahnschäden entstehen konnten, zum anderen sollten die Interferenzen bei allen Probanden eine definierte vertikale Erhöhung von 0,4 mm aufweisen, die ebenfalls in beiden Untersuchungssitzungen gleich bleiben sollte, um die Reliabilität der Messungen zu erhöhen. Erfüllt wurden diese Anforderungen durch individuelle Tiefziehfolien aus Polykarbonat, die über die im Dentallabor hergestellten Hartgipsmodelle der zuvor abgeformten Unterkiefer hergestellt wurden. Diese Folien wurden anschließend zahnbezogen zugeschnitten, sodass in den Hauptuntersuchungen jedem Zahn eine okklusale Erhöhung von etwa 0,4 mm in Form des Folienzuschnittes reversibel aufgesetzt

werden konnte. Durch die Verwendung der Polykarbonatfolienzuschnitte wurde auch eine strukturierte okklusale Oberfläche geschaffen, die zu diskreten Veränderungen der okklusalen Situation führen konnte. Diese Veränderungen können Einfluss auf die Kinematik gehabt haben, was jedoch in dieser Studie nicht separat berücksichtigt wurde.

In vergleichbaren Studien beispielsweise bei Wang et al. (2009, 2010) und Forrester et al. (2010) sind häufig Watterollen als okklusale Interferenzen verwendet worden. Die Watterollen wurden meist nur seitenbezogen zwischen die Zahnreihen in die Molaren- / Prämolarenregion gelegt und konnten aufgrund ihrer weichen Beschaffenheit und abhängig der Stärke des Zubisses keine definierte und gleichbleibende Aufbisshöhe gewährleisten.

Zudem sollte in der vorliegenden Studie durch das kurzzeitige Tragen der Interferenzen eine Anpassung des Kausystems einschließlich der Muskulatur, wie es durch das Tragen von Interferenzen in Form von Overlays oder Füllungen über einen längeren Zeitraum kommen kann, vermieden werden.

Des Weiteren grenzt sich diese Arbeit von bestehenden Studien durch die Untersuchung von geringen submaximalen Aufbissintensitäten von 10% und 35% der zuvor ermittelten maximalen voluntären Kontraktion (MVC) ab. Es handelte sich dabei um definierte, nicht-subjektive submaximale Aufbisse, die von den Probanden durch eine visuelle Feedbackkontrolle in beiden Untersuchungssitzungen durchgeführt wurden. Hierzu wurde den Probanden eine auf die jeweils individuell ausgerichtete, maximale Aufbissaktivität (= 100% MVC) skalierte waagerechte Linie auf dem Bildschirm eingeblendet, die 10% MVC bzw. 35% MVC entsprach. Mittels der visuellen Feedbackkontrolle wurden die Probanden gebeten die Muskelaktivität (bezogen auf Masseter) so zu steuern, dass durch entsprechendes Zubeißen diese waagerechte Linie gerade eben überschritten wurde. Die jeweilige Aufbissintensität (10% bzw. 35% MVC) war für die Dauer von mindestens zwei Sekunden aufrecht zu erhalten. Hierzu ist anzumerken, dass sich die Aufbissintensitäten von 10% und 35% MVC und somit das visuelle Feedback nur auf die Massetermuskeln und nicht auf den Temporalis bezogen.

Die Auswirkungen auf die Muskelaktivitäten des M. masseters und den anterioren M. temporalis durch verschiedene Arten des visuellen Feedbacks untersuchten Lobbezoo et al. (1993). Hierzu wurden die Feedbacks der Massetermuskeln, der Temporalismuskeln und der gemeinsamen Masseter- und Temporalismuskeln verglichen. Es zeigte sich, dass die elektromyographische Muskelaktivität der Massetermuskeln nicht signifikant von der Art des visuellen Feedbacks abhing; das visuelle Feedback hatte geringe Effekte auf die Aktivität der anterioren Temporalismuskeln. Der anteriore Temporalis wies unabhängig

von der Art des Feedbacks nach Einsetzen einer Stabilisierungsschiene eine geringe Muskelaktivität auf. Anhand dieser Studie wird deutlich, dass der Bezug des visuellen Feedbacks keine markanten Auswirkungen auf die gemessenen Muskelaktivitäten des Masseter und Temporalis hat.

Damit eine Vergleichbarkeit der im Abstand von 14 Tagen liegenden identischen Hauptuntersuchungen gewonnenen Daten gewährleistet werden konnte, erfolgte die Oberflächen-Elektromyographie unter standardisierten Bedingungen.

5.2 Beeinflussung der Kaumuskelaktivität durch okklusale Interferenzen mit undefinierter vertikaler Höhe

Mit den Auswirkungen von okklusalen Interferenzen in Form von Watterollen auf die elektromyographische Aktivität der Kaumuskulatur des M. masseter und M. temporalis anterior bei einer maximalen voluntären Kontraktion (MVC) befassten sich Wang et al. (2009). An der Studie nahmen 47 gesunde Probanden mit einer Bezahnung von 28 Zähnen ohne das Vorhandensein von craniomandibulären Dysfunktionen und einem Durchschnittsalter von $22,9 \pm 1,3$ Jahren teil. Die Muskelaktivität der beidseitigen Mm. masseter und Mm. temporales anterior wurden mittels Oberflächenelektroden gemessen. Als okklusale Interferenzen dienten in dieser Studie Watterollen, durch deren Lage sechs verschiedene Aufbisspositionen untersucht wurden. Auf der unteren Zahnreihe der rechten Seite (1), der linken Seite (2) oder auf beiden Seiten (3) wurden sie entweder in der Molaren- oder Prämolarenregion positioniert. Die Molarenregion entsprach dem ersten Molaren und der posterioren Region und die Prämolarenregion umfing den ersten Prämolaren und die anteriore Region. Die Probanden wurden während der sechs Aufbissituationen aufgefordert, bei maximaler voluntären Kontraktion (MVC) in der Interkuspidation zuzubeißen. Dabei lagen keine Okklusionskontakte auf der Balanceseite vor.

Es zeigte sich, dass die normalisierte EMG-Aktivität durch die Wechsel der Interferenzen (Watterollen) beeinflusst wurde ($P < 0,001$), wobei sich keine Unterschiede zwischen den Muskeln fanden. Sowohl bei unilateralem als auch bei bilateralem Versetzen der Interferenz von der Molarenregion in die Prämolarenregion nahm die Muskelaktivität der beiden Muskeln signifikant ab ($P < 0,05$). Dabei war die normalisierte Muskelaktivität des Masseter in der Prämolarenregion höher als die des Temporalis anterior ($P = 0,002$). Eine Abnahme der Muskelaktivität zeigte sich beim anterioren Temporalis der Balanceseite

beim Wechsel der Interferenz von einer bilateralen zu einer unilateralen Positionierung, bei gleichzeitiger Aktivitätsabnahme der beiden Massetermuskeln ($P < 0,05$). Unilaterale Interferenzen in der Molarenregion bewirkten eine niedrigere Muskelaktivität des Masseter der Balanceseite und eine geringere Aktivität des anterioren Temporalis der Balanceseite im Vergleich zu der Temporalisaktivität der Arbeitsseite ($P < 0,05$).

In einer weiteren Studie untersuchten Wang et al. (2010) ebenfalls die Muskelaktivitätsveränderungen der Mm. masseter und der anterioren Mm. temporales bei wechselnden unilateralen Aufbisssituationen. 21 gesunden Probanden (Alter zwischen 22 und 24 Jahren) wurden aufgefordert, mit maximaler voluntärer Kontraktion auf unilateral okklusal platzierten Erhöhungen in Form von Watterollen in einer „zentrischen“ und „exzentrischen“ Unterkieferposition zuzubeißen. Dabei wurden die Muskelaktivitäten bei maximalen Aufbiss mit und ohne das Vorhandensein von Watterollen näher betrachtet, wobei sich die Lage der Watterolle mit der Unterkieferseite und der Positionierung auf Prämolaren und Molaren änderte. Bei exzentrischen Zubissen wurde ohne Watterollen eine niedrigere Muskelaktivität ($P < 0,043$) sichtbar als mit zwischen den Zähnen platzierten Watterollen. Zudem lag bei dem Zubiss mit einer Watterolle an der Position der Prämolaren immer eine geringere Aktivität vor als im Vergleich zur Position der Molaren ($P < 0,013$). Die Muskelaktivität des anterioren Temporalis war auf der Balanceseite niedriger als auf der Arbeitsseite ($P < 0,001$). Ein solcher Unterschied wurde beim Masseter nur beim zentrischen Zubiss mit Watterolle in der Molarenregion beobachtet ($P = 0,024$). Keine signifikanten Unterschiede gab es für den M. masseter zwischen den zentrischen und exzentrischen Zusammenbissen. Eine zudem niedrigere Muskelaktivität auf der Balanceseite des Temporalis bei exzentrischem Zubiss in der Molarenregion zeigte eine Signifikanz von $P = 0,026$.

Zusammenfassend zeigte sich, dass die Masseter- und anterioren Temporalismuskeln bei maximaler voluntärer Kontraktion in der Interkuspidation unterschiedlich auf okklusale Interferenzen reagierten, was wiederum Auswirkungen auf die Stabilität des Unterkiefers während intensiver Aufbisse haben könnte (Wang et al., 2009). Des Weiteren kommen dem Masseter und dem anterioren Temporalis verschiedene Rollen der Unterkieferpositionierung bei einseitigen maximalen Zubissen zu (Wang et al., 2010).

In der vorliegenden Studie wurden die Muskelaktivitätsveränderungen sowohl bei der Verwendung von unilateral als auch bei bilateral okklusal platzierten, nicht nachgiebigen Interferenzen untersucht. Diese wurden jedoch nicht nur in den Regionen der Prämolaren und Molaren positioniert, sondern mit einer Erhöhung von 0,4 mm auf den einzelnen

Unterkieferzähnen platziert. Ein weiterer Unterschied der vorliegenden Studie zum Aufbau der Studien von Wang et al. (2009, 2010) zeigt sich in der Umsetzung von submaximalen Aufbissintensitäten von 10% und 35% MVC bei den verschiedenen zentrischen Aufbisspositionen.

In der Studie von Wang et al. (2009) wurden reduzierte Muskelaktivitäten des M. masseter und M. temporalis beim Wechsel der unilateralen und bilateralen Interferenzen von der Molarenregion in die Prämolarenregion ($P < 0,05$) beobachtet, während dort die Muskelaktivität des Masseter in der Prämolarenregion höher war als die des Temporalis anterior ($P = 0,002$). Eine generell reduzierte Muskelaktivität zeigte sich auch in der Studie von Wang et al. (2010) bei Vorhandensein der unilateralen Interferenz an der Position der Prämolaren im Vergleich zu den Molaren ($P < 0,013$). In der vorliegenden Studie dagegen konnten diese Beobachtungen nicht gemacht werden. Dort wurden bei einseitigen Aufbisserhöhungen und einer Aufbissintensität von 10% MVC höhere Mediane der Muskelaktivitätsquotienten des anterioren Temporalis im Bereich der Prämolaren im Vergleich zu den Molaren sichtbar (siehe Abb. 13). Es lagen signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) in Bezug auf die Faktoren Aufbisslage ($P = 0,037$) und Aufbissverteilung ($P = 0,002$) aus ersten Hauptuntersuchung vor. Bei 35% MVC wurde dies aufgrund der etwa gleich großen Aktivitätsquotienten nicht vorgefunden. Ähnlich verhielt sich der Masseter, der bei 35% MVC nur geringfügige Unterschiede der Mediane der Aktivitätsquotienten für die einzelnen Aufbisslagen aufwies. Bei 10% MVC hingegen zeigte sich deutlich, dass die Mediane der Masseteraktivitätsquotienten an der Position des ersten Molaren am höchsten waren und oberhalb der Mediane an der Position der beiden Prämolaren lagen (s. Abb. 12) und somit ein umgekehrtes Verhalten zum M. temporalis vorlag.

Zudem bewirkten bei Wang et al. (2009) unilaterale Interferenzen in der Molarenregion eine niedrigere Muskelaktivität des Masseter und des anterioren Temporalis der Balanceseite verglichen mit dem Temporalis der Arbeitsseite ($P < 0,05$). Bei Wang et al. (2010) war die Muskelaktivität des anterioren Temporalis bei unilateralen Aufbisserhöhungen immer auf der Balanceseite niedriger als auf der Arbeitsseite ($P < 0,001$). Ein Vergleich der Muskelaktivitäten der einzelnen Seiten mit der vorliegenden Arbeit gestaltet sich schwierig. In der vorliegenden Studie wurden die Mediane der Muskelaktivitätsquotienten aus den beiden Masseter- und Temporalismuskeln bei submaximalen Kräften gewonnen. Die Quotientenbildung erfolgte durch die Division der Muskelaktivität der Seite mit okklusaler Erhöhung („Arbeitsseite“) durch die Gegenseite („Balanceseite“). Aufgrund dessen lag bei einem Median über 1 eine erhöhte Aktivität der Arbeitsseite bzw. geringere Aktivität der Balanceseite vor. In der vorliegenden Studie

zeigte sich in der ersten Untersuchung bei einer einseitigen Interferenz in der Höhe des ersten Molaren, dass bei einer Kraftintensität von 10% und 35% MVC die Mediane der Quotienten der Masseteraktivität bei ca. 1 lagen und somit eine gleichmäßige Verteilung zwischen der Balance- und Arbeitsseite vorlag. In der zweiten Untersuchung lagen die Mediane leicht oberhalb 1, was ähnlich zu den Beobachtungen von Wang et al. (2009) die Vermutung einer erhöhten Aktivität der Arbeitsseite bzw. einer niedrigeren Aktivität der Balanceseite des Masseter zulässt. Die medianen Quotienten der Temporalisaktivität befanden sich in beiden Untersuchungen bei 10% und 35% MVC bei allen einseitigen Interferenzen oberhalb von 1 (mit Ausnahme der 2. Untersuchung bei 35% MVC) und unterstützen die Beobachtungen der Studien von Wang et al. (2009, 2010) bezüglich einer geringeren Aktivität der Balanceseite (bzw. erhöhten Aktivität der Arbeitsseite). Für den Masseter konnten aufgrund der bei ca. 1 liegenden Mediane der Aktivitätsquotienten keine klaren Aussagen getroffen werden.

Zusammenfassend waren die Aktivitätsunterschiede zwischen Arbeits- und Balanceseite differenzierter als sie von Wang et al. (2009, 2010) für maximale Aufbisse beschrieben wurde, jedoch konnte eine reduzierte Muskelaktivität des Temporalis auf der Balanceseite (bzw. erhöhte Aktivität der Arbeitsseite) bei submaximalen Aufbissen auf unilaterale Aufbisserhöhungen ähnlich wie bei Wang et al. (2009, 2010) beobachtet werden.

Die Muskelaktivitäten der Kaumuskeln (beidseitige M. temporalis anterior, M. masseter superficial, M. sternocleidomastoideus, M. digastricus anterior und M. trapezius) bei maximaler voluntärer Kontraktion wurden von Forrester et al. (2010) bei verschiedenen posterioren uni- und bilateralen sowie anterioren Aufbisssituationen an 41 Probanden untersucht. Bei den posterioren Aufbissen wurden entweder eine (unilaterale) oder zwei (bilaterale) Watterollen zwischen den zweiten Prämolaren und den Molaren positioniert. Bei den anterioren Erhöhungen handelte es sich um einen anterioren „Beißstopp“, der auf die oberen Schneidezähne gesteckt wurde und bei Zubiss nur Kontakte zwischen den unteren Schneidezähnen und dem „Stopp“ bewirkte. Deutlich wurde eine signifikante Reduzierung ($P < 0,0001$) der Muskelaktivität der beiden anterioren M. temporalis (55-60%) und M. masseter (50%) unter Verwendung der anterioren Aufbisse. Dabei war die Muskelaktivität des M. masseter signifikant höher als die Aktivität des M. temporalis anterior ($P \leq 0,010$). Bei unilateral platzierten Watterollen auf Prämolaren und Molaren lag eine signifikante Reduzierung der Muskelaktivität um 15% des kontralateralen anterioren M. temporalis vor, während es sich bei dem ipsilateralen M. temporalis anterior und den beiden Mm. masseter ähnlich der habituellen Interkuspitation verhielt. Bilaterale

posteriore Aufbisssituationen zeigten eine signifikant größere Symmetrie der Muskelaktivitäten im Vergleich zu den anterioren Aufbisssituationen. Bei Aufbissen mit Watterollen und einem protrudierten Unterkiefer reduzierte sich die Muskelaktivität der beiden anterioren Temporalismuskeln verglichen zu den Zubissen bei einer stabilen zentrischen Unterkieferposition um etwa 35% und um circa 30% für die Masseter.

Zusammenfassend zeigten sich die höchsten und symmetrischsten Muskelaktivitäten bei bilateralen posterioren Aufbissen. Die geringsten Muskelaktivitäten wurden bei den anterioren Aufbisssituationen deutlich. Ähnlich wie bei Wang et al. (2009, 2010) und der vorliegenden Studie führten unilaterale Aufbisserrhöhungen (in der posterioren Region) zu einer reduzierten Muskelaktivität des kontralateralen M. temporalis anterior. Aus diesen Beobachtungen schlussfolgern Forrester et al. (2010), dass bei maximalen Zubissen einer gesunden Population die maximale Kaumuskelaktivität bilaterale posteriore Kontakte und eine stabile Unterkieferposition erfordern.

Ähnliche Beobachtungen konnten in der Studie von Baba et al. (1996) bei der Untersuchung der Veränderungen der Muskelaktivität (Masseter und beidseitigen anterioren und posterioren Temporalismuskeln) bei der Verwendung von okklusalen Interferenzen bei maximalen voluntären lateralen Zubissen gemacht werden. Dort führten unilaterale Aufbisserrhöhungen auf der Balanceseite bei einer Laterotrusion nach rechts zu einer Disklusion der anderen Zähne und einer signifikanten Reduzierung der Muskelaktivität der anterioren und posterioren Temporalismuskeln auf der kontralateralen Arbeitsseite sowie einer erhöhten Aktivität auf der ipsilateralen Balanceseite. Dagegen zeigte der Masseter eine gesteigerte Aktivität auf der kontralateralen Seite. Eine mögliche Begründung könnte die erhöhte Notwendigkeit von Muskelaktivität der Temporalismuskeln der ipsilateralen Balanceseite durch die Bewegung des Kondylus (Distraktion) nach inferior durch die gleichseitige Aufbisserrhöhung und eine geringere Aktivitätsnotwendigkeit durch die Elevation des Kondylus nach superior durch die Gegenseite sein (Baba et al., 1996).

5.3 Beeinflussung der Kaumuskelaktivität durch okklusale Interferenzen mit definierter vertikaler Höhe

Baba et al. (2000) berichten in ihrer Studie über die Veränderungen der Muskelaktivitäten der beiden Muskeln Masseter und Temporalis bei der Verwendung von reversibel aufgebrachten bilateralen und unilateralen okklusalen Kunststoff erhöhungen bei submaximaler Kraftaufbringung und deren Auswirkungen auf die Unterkieferbewegungen. Diese Erhöhungen in Form von Overlays wurden bei den sieben gesunden männlichen Probanden (Durchschnittsalter 25 Jahre) individuell für die beiden unteren ersten Prämolaren und die beiden zweiten Molaren mit einer Höhe von etwa 2 mm (ausgehend von den Frontzähnen) hergestellt. Während der einzelnen submaximalen Zübisse (50% MVC) wurden sechs verschiedene Aufbissituationen umgesetzt: (1) Overlays auf beiden Prämolaren und Molaren, (2) Overlays auf dem rechten Prämolare und Molar (Unilateral), (3) Overlays auf den Prämolaren beider Seiten (bilateral), (4) Overlays auf den Molaren beider Seiten (bilateral), (5) Overlay auf dem rechten Prämolare (unilateral), (6) Overlay auf dem rechten Molaren (unilateral).

Unilaterale und bilaterale Aufbiss erhöhungen im Bereich der ersten Prämolaren führten zu Unterkieferbewegungen nach kranial. Sowohl für die Muskelaktivitäten als auch für den Asymmetrieindex zeigten sich bei vier Aufbiss erhöhungen keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur normalen Interkuspitation. Nur der Unterschied des Asymmetrieindex des anterioren Temporalis bei den sechs verschiedenen Aufbissituationen war signifikant. Unilaterale Aufbisse führten dabei wie in der vorliegenden Studie sowie in anderen Studien (Wang et al., 2009, 2010; Forrester et al., 2010) zu einer Erhöhung der Muskelaktivität des ipsilateralen M. temporalis anterior bei reduzierter Aktivität des anterioren Temporalis der Gegenseite.

In den Studien von MacDonald et al. (1984) wurde die Beziehung zwischen okklusalen Interferenzen und der Muskelaktivität der Kaumuskeln (M. temporalis anterior, posterior, M. masseter, linker M. pterygoideus medialis) untersucht. Die erste Studie beschäftigte sich mit den Aktivitäten bei zentrischem Aufbiss unter Verwendung von okklusalen Interferenzen, während sich die zweite Studie mit exzentrischen Aufbissen (Latero-, Mediotrusion, Pro- und Retrusion) befasste. Zehn vollbezahnte männliche Probanden mit guten okklusalen Abstützungen über den Zahnbogen im Alter von 25 bis 44 Jahren (Median: 35,4 Jahre) nahmen an der ersten Studie teil. Sechs etwa 1 mm dicke, für jeden Probanden individuelle hergestellte okklusale Interferenzen aus Kunststoff verbanden

reversibel die oberen als auch die unteren zweiten Molaren einer Kieferseite, die Eckzähne einer Kieferseite, die Frontzähne und in Form eines inzisalen Blockes den Bereich zwischen beiden Eckzähnen. Durch die Verbindung der oberen und unteren Zähne sollten laterale Bewegungen vermieden werden. Der Proband wurde für jede der 14 verschiedenen Aufbisskombinationen in zehnmaliger Wiederholung aufgefordert, vertikal zuzubeißen: abwechselnd mit subjektiver maximaler und halber maximaler Kraft. Die Probanden der zweiten Studie unterlagen denselben Untersuchungsbedingungen und wiesen ein Alter zwischen 25 und 42 Jahren (Median: 33,5) auf. In dieser Studie wurden die okklusalen Interferenzen nur auf den beidseitigen Molaren sowie dem linken Eckzahn positioniert. Bei okklusalen Interferenzen im Bereich der Molaren erfolgten vertikalen Zubeisse, Laterotrusion, Mediotrusion, Protrusion und Retrusion, während bei Interferenzen in der Eckzahnregion nur vertikale und laterale Aufbisse durchgeführt wurden. Für jede der Kombinationen sollte der Proband fünf subjektive maximale Zubeisse unternehmen.

Die vorliegende Studie unterscheidet sich im Studiendesign in einigen Aspekten zu der von MacDonald et al. (1984). Es wurden nicht subjektiv maximale Kräfte und subjektiv halbmaximale Kräfte untersucht, sondern mittels visuellen Feedbacks kontrollierte Aufbissintensitäten von 10% bzw. 35% MVC aufgebracht. Es lag somit eine Untersuchung von submaximalen Kräften vor, die aufgrund der Biofeedbackkontrolle kontrollierbar und vergleichbar gemacht wurde. Ein weiterer Unterschied besteht in der fehlenden Fassung der oberen Antagonisten durch die okklusalen Interferenzen in dieser vorliegenden Studie, in der zahnbezogene Folienzuschnitte mit einer Dicke von nur 0,4 mm (MacDonald et al.: 2 mm) auf die unteren Zähne reversibel positioniert wurden.

Zusammenfassend zeigte sich bei MacDonald et al. (1984), dass bei allen abgeleiteten Muskeln die Muskelaktivitäten bei zentrischen Aufbissen in der natürlichen und simulierten Interkuspidation am höchsten waren im Vergleich zu den insgesamt niedrigeren Muskelaktivitäten bei exzentrischen Bewegungen. Bei der gezielten Veränderung der Aufbissituation von den Schneidezähnen zu den Molaren wurden steigende Muskelaktivitäten des ipsilateralen M. temporalis deutlich, während die Aktivitäten des ipsilateralen M. pterygoideus und der bilateralen M. masseter sanken. Im Vergleich zu MacDonald et al. (1984) lassen sich die erhöhten Muskelaktivitäten des ipsilateralen M. temporalis im Bereich des 2. Molaren im Gegensatz zu der Front in der vorliegenden Studie teilweise wiederfinden. Insgesamt lagen die Mediane der Aktivitätsquotienten des M. temporalis bei den Aufbissintensitäten von 10% und 35% MVC für die beiden Untersuchungen (Ausnahme 2. Untersuchung bei 35% MVC) mit einseitigen Aufbisserhöhungen im Bereich des 2. Molaren und der Front über 1. Dies

ergab für beide Aufbisslagen aufgrund der Quotientenbildung (s. 5.1) eine erhöhte Muskelaktivität des ipsilateralen Temporalis (Seite der Aufbisserrhöhung) bzw. eine verringerte Aktivität der Gegenseite. In der 1. Untersuchung bei 10% MVC zeigte sich für den Temporalis zudem ein deutlich höherer Median der Aktivitätsquotienten an der Position des 2. Molaren (ca. 2,5) im Vergleich zur Front (ca. 1,3) mit signifikanten Unterschieden in Bezug auf den Faktor Aufbisslage ($P=0,037$). Dies veranschaulicht, dass die Muskelaktivitäten bei einer Aufbisserrhöhung im Bereich des 2. Molaren auf der ipsilateralen Seite deutlich höher bzw. die Aktivität auf der kontralateralen Seite deutlich geringer sein musste als im Vergleich zu der Front. Bei einer Aufbissintensität von 35% MVC der 1. Untersuchung ist diese Tendenz weniger ausgeprägt zu beobachten, während die Medianen der Aktivitätsquotienten in den jeweiligen zweiten Untersuchungen bei 10% und 35% MVC für die Aufbisslagen der Front und des 2. Molaren gleiche Größen aufwiesen.

Die umgekehrt niedrigere Muskelaktivität der bilateralen Masseter im Molarenbereich ließ sich in der vorliegenden Studie nicht beobachten. Der Masseter wies unabhängig von der Aufbisslage des 2. Molaren und der Front sowie der Aufbissintensität in beiden Untersuchungen Werte von ca. 1 auf, was auf ein Gleichgewicht der Muskelaktivitäten der einzelnen Seiten zurückzuführen ist. Ebenso deutet es daraufhin, dass weder die Lage der Aufbisserrhöhung noch ein unterschiedlich intensiver Aufbiss großen Einfluss auf die Aktivitätsquotienten der Masseterseiten zu machen scheint. Dadurch lässt sich die von MacDonald et al. (1984) beobachtete signifikante erhöhte Muskelaktivität bei einseitiger Aufbisserrhöhung des 2. Molaren für die Massetermuskeln in der vorliegenden Studie nicht bestätigen. Der signifikante Anstieg der ipsilateralen Temporalisaktivität bei einseitigem Aufbiss im Bereich des Eckzahnes (MacDonald et al., 1984) fand sich auch in der vorliegenden Studie für die Aufbissintensitäten von 10% und 35% MVC der beiden Untersuchungen durch Mediane der Aktivitätsquotienten über 1 wieder.

Den Einfluss von interkuspidalen Okklusionsbeeinträchtigungen in Form von Amalgamfüllungen auf die Aktivitätsstruktur des anterioren Temporalismuskels und des Masseter während submaximalen (20% MVC) und maximalen Zubisse untersuchten Sheikholeslam et al. (1983) an elf komplett natürlich bezahnten Probanden. Die Amalgamfüllungen hatten einem Durchmesser von etwa 2 mm und einer Höhe von etwa 0,5 mm und wurden im Bereich der rechten oberen ersten Molaren (M1) platziert. Dabei wurden elektromyographische Aufzeichnungen vor und nach der Insertion der Füllung (nach einer Stunde, nach 48 Stunden und nach einer Woche) durchgeführt. Die

Okklusionsbeeinträchtigungen führten sowohl bei submaximalen und maximalen Zubissen zu einer Störung der Symmetrie der Muskelaktivität der beiden Muskelgruppen. Zudem war die Höhe der Muskelaktivität bei allen gemessenen Muskeln während des maximalen Zubisses signifikant gesunken. Bei manchen Probanden konnte eine Woche nach Insertion der Füllung ein signifikantes Sinken der Muskelaktivität des ipsilateralen Temporalis ($P < 0,01$) und Masseter ($P < 0,05$) bei submaximalen Aufbiss beobachtet werden. Nach Entfernung der Füllung wies die Muskelaktivität eine signifikante Steigerung und wiederhergestellte Struktur auf. In der vorliegenden Studie konnten die Muskelaktivitäten nicht bei Fehlen (vor Insertion) und Vorhandensein der okklusalen Interferenzen verglichen werden. Jedoch zeigte sich nach einer wiederholten Eingliederung (2. Untersuchung) der einseitigen okklusalen Interferenz von 0,4 mm nach mindestens zwei Wochen, dass die Muskelaktivitäten der Masseter- und Temporalismuskeln im Vergleich zur ersten Untersuchung gestiegen waren. Sheikholeslam et al. (1983) gaben an, dass die Störung der Koordination in Zusammenhang mit der Kaumuskelaktivität während des maximalen Zubeißens auf die Amalgamfüllung nach der Entfernung der Interferenz fast vollständig verschwand. Sie vermuteten, dass durch die veränderte Okklusion aufgrund der okklusalen Interferenz andere parodontale Mechanorezeptoren aktiviert würden und so ein unterschiedliches parodontales Feedback zu den Motoneuronen der Muskulatur oder höheren Zentren gelangen würde.

Schindler et al. (2009) untersuchten an zehn gesunden männlichen Probanden die unterschiedlichen Muskelaktivitäten (EMG) der beidseitigen M. masseter und M. temporalis anterior und posterior und des M. digastricus anterior bei kontrolliertem Zubiss mit 150 N in einer symmetrischen und anschließend asymmetrischen Okklusion mit okklusalen Interferenzen unterschiedlicher Stärke. Die gleichmäßige Beißkraft wurde durch die Verwendung von intraoralen Kraftsensoren und einer Feedbackkontrolle der Probanden gewährleistet. Die asymmetrische Okklusion wurde durch kleine Metallplättchen, die im rechten Molarenbereich mit einer Stärke zwischen 50 und 500 μm aufgelegt wurden, umgesetzt. Abhängig von der Dicke der Metallplättchen wurden signifikante Unterschiede in der Muskelaktivität ($P < 0,05$) sichtbar. Sowohl beim ipsilateral anterioren als auch posterioren M. temporalis nahm die Muskelaktivität bei zunehmender vertikaler Interferenz ab. Die kontralateralen Muskeln M. temporalis anterior, masseter und M. pterygoideus medialis zeigten einen zunehmenden Anstieg der Muskelaktivität bis 200 bzw. 300 μm vertikaler Erhöhung, während der posteriore Temporalis umgekehrt eine Abnahme der Aktivität aufwies. Das Rekrutierungsverhalten veränderte sich bei Verlust

der kontralateralen Abstützung bei einer Stärke der Erhöhung von 500 µm. In diesem Fall wurde im Vergleich zur einer Interferenz von 300 µm eine signifikante Abnahme der Muskelaktivität ($P < 0,05$) des kontralateralen anterioren Temporalis, Masseter und medialen Pterygoideus ersichtlich. Bei einer Erhöhung von 500 µm wurde die Aktivität der meisten homonymen Muskeln zwischen der ipsi- und kontralateralen Seite zunehmend symmetrisch balancierter. In der vorliegenden Studie lagen die Mediane der Aktivitätsquotienten in der ersten Untersuchung bei 10% MVC an den Positionen der ersten und zweiten Molaren bei einer einseitigen okklusalen Erhöhung von 0,4 mm zwischen 2 bis 2,5 und bei einer Aufbisserrhöhung von 0,8 mm der gemeinsamen Studie (Ostermann et al., 2015) zwischen 1,5 bis 2. Dieses Ergebnis könnte die von Schindler et al. (2009) beschriebene Tendenz zu einer zunehmend symmetrisch balancierten Aktivität der beiden Muskelseiten bei Verlust der kontralateralen Abstützung unterstützen. Bei einer Aufbissintensität von 35% MVC wiesen die Mediane der Aktivitätsquotienten für diese Aufbisslagen für beide Aufbissstärken jedoch ähnliche Werte auf und zeigten somit keine Unterschiede der Muskelaktivitäten (Ostermann et al., 2015).

Mit den Veränderungen der Kaumuskelaktivität (M. masseter und M. temporalis anterior) und dem Auftreten von orofazialer Symptome durch kurzzeitig aufgebrachte, unilaterale okklusale Interferenzen befassten sich Li et al. (2008). Sechs gesunden Probanden wurde über eine Dauer von sechs Tagen eine okklusale Aufbisserrhöhung in Form eines 0,5 mm dicken Onlays auf den ersten Unterkiefermolaren der rechten Seite platziert. Die Probanden wurden aufgefordert, dreimal täglich nach Einsetzen der Interferenz mittels einer visuellen Analogskala (VAS) die subjektiven orofazialen Schmerzen zu dokumentieren. Dabei lag eine Skala von 0 bis 10 mit den Extremen „kein Schmerz“ und „denkbar stärkster Schmerz“ vor. Die Lokalisation des Schmerzes wurde auf einer skelettalen Karte oder in Worten dokumentiert. Die Oberflächen-Elektromyographie (EMG) wurde vor dem Einsetzen der Aufbisserrhöhung, während des Tragens (3. und 6. Tag) und nach dem Entfernen der Interferenz durchgeführt. Hierfür mussten die Probanden für drei bis vier Sekunden maximal zubeißen (MVC). Zudem wurde der Asymmetrieindex der beiden Masseter und anterioren Temporales gemessen. Die unilateralen Interferenzen auf dem unteren rechten ersten Molaren bewirkten bei zentrischer Okklusion nur einen Kontakt auf der okklusalen Aufbisserrhöhung. Die Probanden beschrieben am dritten Tag mit der okklusalen Erhöhung die stärksten Kopfschmerzen im Bereich der rechten temporalen Region, was mit einem signifikanten Anstieg der Aktivität des rechten anterioren Temporalis ($P = 0,027$) einherging. Zudem zeigte sich am 3. und am 6. Tag mit der Interferenz eine signifikant reduzierte EMG-

Aktivität der beiden Mm. masseter und anterioren Mm. temporales während der maximalen voluntären Kontraktion (MVC). Der Asymmetrieindex der bilateralen anterioren Temporalismuskeln stieg signifikant während der maximalen voluntären Kontraktion am 3. Tag ($P=0,028$) und am 6. Tag ($P=0,046$). Alle Zeichen und Symptome von funktionellen Störungen verschwanden innerhalb einer Woche nach Entfernung der okklusalen Interferenz.

Zusammenfassend schien eine unilaterale okklusale Aufbisserhöhung eine Verspannung des ipsilateralen anterioren M. temporalis zu bewirken. Zudem wurde die Aktivität der bilateralen anterioren Mm. temporales während der MVC zunehmend asymmetrischer, während es hierbei Unterschiede zwischen den einzelnen Probanden gab. Nach Li et al. (2008) könnten die Wechsel der Muskelaktivität einen Zusammenhang mit den verspannungsartigen Kopfschmerzen in der temporalen Region haben. Auch die Studie von Li belegt im Grundsatz die asymmetrische Aktivierung des Temporalis (hier unter maximaler Muskelaktivierung) bei unilateraler Aufbissituation, wie sie in der vorliegenden Studie unter submaximalen Beißkräften gefunden wurde.

Learreta et al. (2007) befassten sich in ihrer Studie mit den Veränderungen der elektromyographischen Aktivitäten des M. temporalis, M. masseter, M. trapezius und des anterioren M. digastricus durch den maximalen Aufbiss auf Vorkontakte in Form von 0,4 mm dicken individuellen okklusalen Kronen an den Zähnen 17, 14, 13 und 11. Vorkontakte, wie sie in dieser Studie durch die Interferenzen simuliert wurden, führten bei maximaler Kontraktion zu einer Reduzierung der Muskelaktivität des anterioren Temporalis, Digastricus sowie der Massetermuskeln. Das Einsetzen der Interferenz auf den zweiten oberen Molaren bewirkte eine Verringerung von 65% der Temporalisaktivität zur Aktivität ohne verwendete Interferenzen. Im Bereich des ersten Prämolaren reduzierte sie sich um 31%, im Bereich des Eckzahnes um 26% und im Frontzahnbereich um 19%. Ebenfalls wurde eine zunehmende Reduzierung der Muskelaktivität zum Frontzahnbereich beim M. masseter ersichtlich (34,3%, 32,8%, 20,6%, 3,8%), sowie beim M. digastricus mit verringernden Aktivitäten von 28,5%, 21,4%, 7,14%, 7,14%. Erstaunlicherweise erhöhte sich die Aktivität des Trapezius bei der Verwendung der Interferenzen zu der vorher normal gemessenen Aktivität. Sie führte zu einem Anstieg um 37,67% in der Region des zweiten Molaren, um 51,76% in der Eckzahnregion und um 8,45% in der Front, während die größte Steigerung mit 65,49% in der ersten Prämolarenregion war.

In dieser Studie führten die Interferenzen zu Störungen der Muskelaktivität. Die Aktivitäten des anterioren Temporalis, Masseter und Digastricus reduzierten sich bei Vorhandensein der Interferenzen, was eine maximale Kontraktion verhinderte sowie eine Veränderung der Propriozeption bewirkte. Grund für die dagegen gestiegene Aktivität des Trapezius könnte durch eine zusammenhängende Beziehung zwischen Trapezius und Temporalis erklärt werden, bei der der Trapezius durch die Steigerung die reduzierte Aktivität des Temporalis zu kompensieren versucht. Das Aufbringen der geforderten Aufbissaktivitäten bei Vorhandensein der Interferenz konnte im Gegensatz zu Learreta et al. (2007) in der vorliegenden Studie umgesetzt werden. Hierfür könnten die verlangten submaximalen Aufbissaktivitäten von 10% und 35% der maximalen voluntären Kontraktion verantwortlich sein, die trotz Interferenz leichter zu erreichen waren als bei einer maximalen Kontraktion. Es ließ sich - wie im Ansatz von Li et al. (2008) - eine veränderte asymmetrische Aktivierung des Temporalis durch die Störung der Okklusion mittels einseitiger Interferenzen in Form einer reduzierten Muskelaktivität des Temporalis auf der Balanceseite (bzw. erhöhte Aktivität der Arbeitsseite) beobachten.

Bereits die Verwendung von Okklusionsindikatoren (Parkell, Seide, T-Scan Sensor und Artikulationspapier), die zur Bestimmung von Zahnkontakten verwendet werden, wirkt sich auf die elektromyographische Muskelaktivität der anterioren Temporalismuskeln und die superfizialen Masseter während der Okklusion aus (Forrester et al., 2011). Die Beeinflussung der Muskelaktivitäten bei einer solch geringen vertikalen Aufbisserhöhung verdeutlicht die hohe Sensibilität der Muskeln auf Störfaktoren, was ebenfalls bei einer höheren vertikalen Interferenz in der vorliegenden Studie beobachtet werden konnte.

5.4 Standardisierung und Reliabilität der Oberflächen-Elektromyographie

Botelho et al. (2011) befassten sich in ihrer Studie mit der Standardisierung von elektromyographischen Signalen durch die maximale isometrische voluntäre Kontraktion. Dafür analysierten sie die Oberflächen-Elektromyographie der Kaumuskulatur (M. masseter, M. temporalis anterior) bei maximaler voluntären Kontraktion (MVC) mit Interferenzen in Form von Watterollen zwischen den Zahnreihen und in der Interkuspitation ohne Interferenzen. Für alle Probanden und deren beide experimentelle Aufzeichnungen (mit und ohne Watterollen) wurde das quadratische Mittel (engl. RMS:

root mean square) der elektromyographischen Signale des M. temporalis anterior und M. masseter der beiden Seiten über fünf Sekunden ermittelt. Die separaten RMS-Werte für jeden Probanden und Muskel sowie für die Untersuchungen mit und ohne Watterollen wurden durch die Verwendung von durchschnittlichen EMG-Potentialen bei der Verwendung mit Watterollen standardisiert und in Prozent angegeben. So zeigte sich bei den Ergebnissen, dass eine große Variabilität in den nicht standardisierten RMS-Werten und hohe Variabilitätskoeffizienten bei beiden Untersuchungen mit Watterollen und in der Interkuspidation vorlagen. Diese Variabilität wurde durch die Datenstandardisierung reduziert. Hierzu wurden die Daten der ersten Untersuchung als 100% betrachtet und die Ergebnisse der zweiten Untersuchung als Prozentteil der ersten Untersuchung errechnet. Botelho et al. (2011) fassten zusammen, dass die Standardisierung der Intensität der EMG-Signale bei der maximalen voluntären Kontraktion für eine korrekte Analyse der EMG-Signale erforderlich ist. Zudem ist eine vorangegangene Standardisierung notwendig, um EMG-Signale der Probanden zu vergleichen und so die intraindividuellen Unterschiede zu verringern. Insgesamt ist laut Botelho et al. (2011) die Elektromyographie eine effiziente Methode, um die Muskeln des stomatognathen Systems zu analysieren, wenn geeignete Vorkehrungen getroffen wurden und ein standardisiertes Protokoll verfolgt wird.

Crawford et al. (2015) befassten sich in ihrer Studie dagegen mit der Frage, ob die Elektromyographie (gemessen an Mm. masseter und Mm. temporales) bei submaximalen Beißkräften standardisierbar ist. Die Probanden mussten mit maximalen und submaximalen (75%, 50% und 25%) Beißkräften zubeißen, während die Messung der Beißkraft durch ein individuell hergestelltes Beißkraftmessgerät erfolgte. Mittels des auf einem Bildschirm visuell dargestellten Feedbacks der Beißkraft wurden für die submaximalen Beißkräften jeweils horizontale Linien im Bildschirm eingeblendet. Die Probanden wurden daraufhin aufgefordert, mittels der visuellen Feedbackkontrolle die jeweilige Linie (75%, 50%, 25% MVBF) für zwei Sekunden zu erreichen, gefolgt von etwa zwei Sekunden Pause über einen Zeitraum von insgesamt zwanzig Sekunden. Zum Ende wurde der Proband aufgefordert, dies mit 20 N Beißkraft zu wiederholen. Eine Untergruppe von vier Frauen wurde sechs Monate später gebeten, die Messungen zu wiederholen, um die Reliabilität der Messungen zu untersuchen. Die Variationskoeffizienten (CV) und die Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) zeigten verglichen mit den nicht standardisierten EMG-Daten eine deutlich verbesserte Reliabilität bei standardisierten EMG-Daten. Crawford et al. (2015) haben einen linearen Zusammenhang von standardisierte EMG-Daten submaximaler Beißkräfte von 20 N mit

den Muskelaktivitäten bei submaximalen und maximalen Beißkräften hervorgehoben. Die Standardisierung reduzierte erfolgreich die Variabilität zwischen den Sitzungen im Vergleich zu den nicht standardisierten Daten. Die geringe Beißkraft von 20 N würde die Vergleiche zwischen Gruppen erleichtern und die natürliche Variation der Kaumuskelaktivitäten reduzieren. Dies würde sich bei der Untersuchung von Beißkräften und EMG bei Patienten mit muskuloskelettalen Erkrankungen oder in der alternden Bevölkerung als nützlich erweisen.

Zusammenfassend zeigen die Studien von Botelho et al. (2011) und Crawford et al. (2015), dass durch eine Datenstandardisierung bei maximalen und submaximalen Aufbissen eine Reduzierung der Variabilität zwischen den Sitzungen erreicht wurde. Durch eine solche Standardisierung können elektromyographische Daten verschiedener Sitzungen und Probanden verglichen werden. Die Beurteilung der Reliabilität der ermittelten Muskelaktivitäten in den verschiedenen Messsitzungen durch die Verwendung der Oberflächen-Elektromyographie (EMG) erfolgte in der vorliegenden Studie ebenfalls nach einer Standardisierung. Hierzu wurden - wie in der Studie von Castroflorio et al. (2005) angeraten - Hilfsmittel zur Relokalisierung der Position von Oberflächen-Elektroden in verschiedenen Untersuchungssitzungen verwendet, um dadurch die Reproduzierbarkeit der EMG-Daten zu sichern.

In der Studie untersuchten Castroflorio et al. (2005), ob die Messungen der Ruheaktivität von Masseter und Temporalis anterior durch Oberflächen-Elektromyographie innerhalb einer Sitzung als auch in zwei unterschiedlichen Sitzungen im Abstand von einer Woche reproduzierbar seien. Die erste Probandengruppe bestand aus neun funktionsgesunden Probanden, während die neun Probanden der zweiten Gruppe über craniomandibuläre Dysfunktionen verfügten. In der ersten Sitzung wurde die Position der Oberflächen-Elektroden für den Masseter und Temporalis anterior mittels Palpation bestimmt und deren Position mittels eines Gesichtsbogens festgehalten. In der zweiten Sitzung wurden zwei verschiedene standardisierte Methoden zur Positionierung der Oberflächen-Elektroden genutzt. In den ersten Messungen der zweiten Sitzung wurde die Lage der Elektroden mittels Palpation festgelegt, gefolgt von einer durch die Gesichtsbogen gestützte Repositionierung der Elektroden. Für die Probandengruppe mit craniomandibulären Dysfunktionen wurden signifikante elektromyographische Unterschiede für die beidseitigen Masseter und Temporalis anterior innerhalb der zweiten Sitzung zwischen den zwei verschiedenen standardisierten Methoden zur Positionierung

der Oberflächen-Elektroden deutlich. Dies konnte in der gesunden Probandengruppe nicht beobachtet werden.

In der vorliegenden Studie dagegen wurden die Oberflächen-Elektroden erst nach Palpation des Masseter und Temporalis bei maximaler voluntärer Kontraktion (MVC) reversibel mittig auf die Muskelbäuche aufgeklebt. Bei den Temporalis-Elektroden wurde neben einem Abstand zum Haaransatz auf eine möglichst weite Entfernung zum Auge geachtet, um mögliche Interferenzen mit der Aktivität der Augenmuskeln zu vermeiden. Um die Lage der Oberflächenelektroden in den folgenden Sitzungen zu reproduzieren, wurde auf Kunststoff-Klarsichtfolien, die an jede Gesichtsseite nach Bezugslinien angelegt und ausgerichtet wurden, die Umrisskontur der Elektroden dokumentiert. Die Verbindungslinie zwischen dem Oberrand des Tragus und dem lateralen Augenwinkel wurde für jede Gesichtsseite auf die Folie übertragen, sodass eine genaue Reproduktion der Elektrodenlage auf der Haut in den folgenden Hauptuntersuchungen gewährleistet werden konnte. Dies kommt dem Vorgehen in der Studie von Bodéré et al. (2005) sehr nah, die die Elektroden für den Masseter unter Zuhilfenahme der Verbindungslinie von Tragus und Mundwinkels positionierten.

Der Zwischenelektrodenabstand in der Oberflächen-Elektromyographie hat ebenfalls Einfluss auf die Reproduzierbarkeit von elektromyographischen Daten der Kaumuskulatur bei submaximalen Kontraktionen (Castroflorio et al., 2006). Mittels Oberflächen-Elektromyographie wurde in dieser Studie die Muskelaktivität der beidseitigen M. masseter und M. temporalis anterior gemessen, deren Oberflächenelektroden einen Zwischenelektrodenabstand von 10 bis 30 mm hatten. Durch die Verwendung eines intraoralen Drucksensors wurde die aufgebrachte Kaukraft in der Interkuspidation angezeigt und der Proband war durch die visuelle Feedbackkontrolle in der Lage, seine Kaukraft an die geforderten Bedingungen anzupassen. Während der drei Untersuchungen innerhalb von drei Tagen wurden die Probanden aufgefordert, dreimal bei maximaler voluntärer Kontraktion (MVC) für drei bis fünf Sekunden, mit Entspannungsphasen von fünf Minuten zwischen den Messungen, zuzubeißen. Es folgten drei voluntäre Kontraktionen mit 80% MVC, die mit Hilfe der visuellen Feedbackkontrolle für jeweils dreißig Sekunden umgesetzt wurden. Entspannungsphasen von zehn Minuten wurden zwischengeschaltet. Die submaximalen Kontraktionen entsprachen 80% des Maximums der ersten drei maximalen voluntären Kontraktionen. Der Intraklassenkorrelationskoeffizient (ICC) gab mit Werten von über 80% eine exzellente Reproduzierbarkeit der Messdaten an. Werte unter 60% entsprachen einer mangelnden

Reproduzierbarkeit, ICC zwischen 60% und 80% einer guten Reproduzierbarkeit. Bei allen Muskeln stellten Castroflorio et al. (2006) durch die Vergrößerung des Zwischenelektrodenabstandes eine Erhöhung der ICC und somit der Reproduzierbarkeit fest. So lag beim rechten M. temporalis mit einem Zwischenelektrodenabstand von 10 mm ein ICC von 8,5% vor, dieser stieg auf 42,8% bei 20 mm Abstand bis hin zu 75,4% bei 30 mm Elektrodenabstand.

In der vorliegenden Studie hatten die Oberflächen-Elektroden mit einem Durchmesser von 14 mm einen Interelektrodenabstand von 20 mm. Die Intraklassenkorrelationskoeffizienten berücksichtigten dabei nicht unterschiedliche Interelektrodenabstände, sondern die Reproduzierbarkeit der Aktivitätsquotienten der Kaumuskeln innerhalb der beiden Untersuchungssitzungen für sowohl einseitige als auch beidseitige Aufbissituationen bei submaximalen Aufbissen. Die ICC für den Masseter zeigten sowohl für einseitige als auch für beidseitige Aufbissituationen nur wenige Übereinstimmungen der Aktivitätsquotienten der beiden Untersuchungssitzungen, im Gegensatz zu den etwas vermehrten Übereinstimmungen bei dem M. temporalis. Zudem wurden erhöhte Muskelaktivitäten für den M. temporalis und M. masseter in der zweiten Untersuchungssitzung unabhängig von der Position der Aufbisserrhöhungen und der submaximalen Aufbissintensität deutlich.

Eine neuromuskuläre Anpassung der Kaumuskeln Masseter und Temporalis im Sinne eines Trainingseffektes und somit reduzierter Muskelaktivität konnten in der zweiten Untersuchungssitzung nicht wie in der Studie von Hellmann et al. (2011) festgestellt werden. Bei Hellmann et al. (2011) stellte sich für den Masseter und Temporalis bei koordinierten unilateralen und bilateralen Aufbissübungen bei Aufbissintensitäten von 100 N, 200 N und 300 N ein signifikanter Trainingseffekt durch eine um etwa 20% reduzierte EMG-Aktivität in der zweiten Untersuchungssitzung und um etwa 40% reduzierte EMG-Aktivität in der dritten Untersuchung gegenüber der initialen Untersuchung ein. In der vorliegenden Arbeit kann die erhöhte Temporalisaktivität in der 2. Sitzung gegenüber der 1. Sitzung als eine Anpassung des Temporalis in Form einer Versteifung der Muskulatur auf eine Provokation (Aufbisserrhöhung) interpretiert werden, während es sich in der Studie von Hellmann et al. (2011) bei den muskulären Anpassungen eher um Übungseffekte der Muskulatur bei Koordinationsanforderungen handelt.

6. Schlussfolgerung

Das Ziel der vorliegenden Dissertation bestand in der Untersuchung der Wirkung verschiedener (einseitiger und beidseitig transversaler) okklusaler Veränderungen auf die elektromyographische Aktivität der Kaumuskulatur (M. masseter und M. temporalis) bei submaximalen Zubissen von 10% und 35% MVC an einer Gruppe funktionsgesunder Probanden. Es sollte geklärt werden, ob Aktivitätsunterschiede zwischen den Muskeln (Masseter und Temporalis) bei unterschiedlichen einseitigen und beidseitig transversal positionierten Aufbisspositionen bei submaximalen Aufbissintensitäten zu beobachten sind und wie reliabel sich die durch Oberflächen-Elektromyographie ermittelten Muskelaktivitäten unter diesen Versuchsbedingungen in verschiedenen Messsituationen darstellen.

In dieser Studie zeigten sich signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) der Aktivitätsquotienten vorrangig für den M. temporalis in Bezug auf die einseitige und beidseitige Aufbissverteilung bei 10% und 35% MVC für die unterschiedlichen Aufbisspositionen, während sie für den Masseter nur vereinzelt zu finden waren. Signifikante Unterschiede in Bezug auf die Aufbissintensitäten von 10% und 35% MVC waren teilweise für den M. temporalis zu beobachten. Der M. temporalis zeigte bei unilateraler Aufbissituation unter submaximalen Beißkräften eine asymmetrische Aktivierung, die sich durch Aktivitätsunterschiede zwischen Arbeits- und Balanceseite differenzierter als beim M. masseter zeigte. Die Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass der Temporalis im Vergleich zum eher Kraft generierenden Masseter ein feinmotorischer Muskel ist und sensibler auf verschiedene Aufbissintensitäten und okklusale Aufbissserhöhungen reagiert.

Aufgrund der geringen Anzahl an hohen Intraklassenkoeffizienten konnten nur für wenige einseitige und beidseitige Aufbisspositionen eine mittlere und hohe Reproduzierbarkeit der Masseteraktivität nachgewiesen werden. Der Temporalis dagegen wies für die einseitigen und beidseitigen Aufbisspositionen eine erhöhte Anzahl an Intraklassenkoeffizienten auf, die für eine mittlere und hohe Reproduzierbarkeit standen. Die mittleren ICC-Werte der Ratios des Masseters von 0,3 und des Temporalis von 0,4 zeigten eine mäßige Reliabilität zwischen den beiden Hauptuntersuchungen. Trotz der Standardisierungen innerhalb des Studienaufbaus und der Elektromyographie könnten die Ursachen der mäßigen Reproduzierbarkeit in einer zu kleinen Probandengruppe (zwanzig Probanden) sowie in zu wenigen Untersuchungssitzungen begründet sein.

Deutlich wurden ebenfalls erhöhte Muskelaktivitäten für den M. temporalis und M. masseter in der zweiten Untersuchungssitzung unabhängig von der Position der

Erhöhungen und der submaximalen Aufbissintensität. Zudem wurde eine hohe interindividuelle Variabilität bei ein- und beidseitigen Aufbissen insbesondere bei 35% MVC beobachtet. Diese Ergebnisse lassen die Vermutung zu, dass Masseter und Temporalis keinen generellen Reaktionsmustern folgen und mit individuellen Strategien auf unterschiedliche Aufbisssituationen bei submaximalen Intensitäten reagieren und eine neuromuskuläre Anpassung der Kaumuskeln Masseter und Temporalis im Sinne eines Trainingseffektes und somit reduzierter Muskelaktivität in der zweiten Untersuchungssitzung nicht erfolgte. Mögliche Ursachen für die erhöhten Aktivitäten in der zweiten Sitzung in dieser Studie können die zu geringe Anzahl der wiederholenden Untersuchungssitzungen mit einem zu großen zeitlichen Abstand gewesen sein oder ein Anpassungsversuch in Form einer muskulären Versteifung an die wieder geforderte Provokationsübung.

7. Literatur- und Quellenverzeichnis

Baba, K., Ai, M., Mizutani, H., Enosawa, S., *Influence of experimental occlusal discrepancy on masticatory muscle activity during clenching.* J Oral Rehabil. **1996**;23(1):55-60.

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.

Bakke, M., Michler, L., Möller, E., *Occlusal control of mandibular elevator muscles.* Scand J Dent Res. **1992**;100(5):284-291.

Bodéré C., Téa, SH., Giroux-Metges, MA., Woda, A., *Activity of masticatory muscles in subjects with different orofacial pain conditions.* Pain. **2005**;116:33–41.

Botelho, AL., Gentil, FH., Sforza, C., Da Silva, MA., *Standardization of the electromyographic signal through the maximum isometric voluntary contraction.* Cranio. **2011**;29(1):23-31.

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.

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., Braccom P., Farina, D., *Surface electromyography in the assessment of jaw elevator muscles.* J Oral Rehabil **2008**;35(8):638-645.

Crawford, SR., Burden, AM., Yates, JM., Zioupos, P., Winwood, K., *Can masticatory electromyography be normalised to submaximal bite force?* J Oral Rehabil. **2015**;42(5):323-330.

Dworkin, SF., LeResche L., *Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders: review, criteria, examinations and specifications, critique.* J Craniomandib Disord. **1992**;6(4):301-355.

Forrester, SE., Allen, SJ., Presswood, RG., Toy, AC., Pain, MT., *Neuromuscular function in healthy occlusion.* J Oral Rehabil. **2010**;37(9):663-669.

Forrester, SE., Presswood, RG., Toy, AC., Pain, MT., *Occlusal measurement method can affect SEMG activity during occlusion.* J Oral Rehabil. **2011**;38(9):655-660.

Fox, SI., *Muscle: Mechanism of Contraction and Neural Control.* In: Fox, SI., (Hrsg) Human Physiology, MacGraw-Hill, **1999**, 324-361.

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.

Hugger, A., Schindler, HJ., *Unterkieferbewegungen und deren Simulation.* In: Hugger, A., Türp, JC., Kerschbaum, T., (Hrsg) Orale Physiologie. Quintessenz, Berlin **2006**, 53-83.

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.

Huppelsberg, J., Walter, K., *Muskulatur.* In: Huppelsberg, J., Walter, K., (Hrsg) Kurzlehrbuch Physiologie. Thieme, Stuttgart **2009**, 247-259.

Isabel, CA., Moysés, MR., van der Bilt, A., Gameiro, GH., Ribeiro, JC., Pereira, LJ., *The relationship between masticatory and swallowing behaviors and body weight*. *Physiol Behav.* **2015**;151:314-319.

Konrad P: *EMG-Fibel. Eine praxisorientierte Einführung in die kinesiologische Elektromyographie*. Köln **2005**.

Krentz, H.: *Statistische Analysen mit SPSS in der Medizin*. Shaker, Aachen **2008**, Band 1 und 2.

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

Learreta, JA., Beas, J., Bono, AE., Durst, A., *Muscular activity disorders in relation to intentional occlusal interferences*. *Cranio.* **2007**;25(3):193-199.

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.

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):876-82.

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.

Michels, H., Neumann, CL., *Allgemeine Anatomie*. In: Michels, H., Neumann, CL., (Hrsg) *Kurzlehrbuch Anatomie*. Elsevier GmbH, München **2007**, 11-56.

Mioche, L., Bourdiol, P., Peyron, MA., *Influence of age on mastication: effects on eating behaviour*. Nutr Res Rev. **2004**;17(1):43-54.

Ostermann, C., Koch, M., Kravchenko, A., Hugger, S., Schindler, HJ., Hugger, A., *Wirkung okklusaler Veränderungen auf die elektromyographische Aktivität der Kaumuskulatur*. Poster präsentiert auf der 48. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und –therapie (DGFDt). Bad Homburg, **2015**.

Paphangkorakit, J., Osborn, JW., *Effects on human maximum bite force of biting on a softer or harder object*. Arch Oral Biol. **1998**;43(11):833-839.

Paphangkorakit, J., Chaiyapanya, N., Sriladlao, P., Pimsupa, S., *Determination of chewing efficiency using muscle work*. Arch Oral Biol **2008**;53(6):533-537.

Rubin, A., *Statistics for Evidence-Based Practice and Evaluation*. Wadsworth Publishing Co Inc. **2009**, 140-143.

Rüdel, R., *Muskelphysiologie*. In: Schmidt, RF., (Hrsg) Neuro- und Sinnesphysiologie. Springer, Berlin **1998**, 85-112.

Samandari, F., Mai, JK., *Zähne und Gebiss*. In: Samandari, F., Mai, JK., (Hrsg) Curriculum Funktionelle Anatomie für Zahnmediziner. Quintessenz, Berlin **2008**,89-117.

Samandari, F., Mai, JK., *Aktiver Kauapparat*. In: Samandari, F., Mai, JK., (Hrsg) Curriculum Funktionelle Anatomie für Zahnmediziner. Quintessenz, Berlin **2008**,145-162.

Schindler, HJ., Türp, JC.: *Kaumuskulatur*. In: Hugger, A., Türp, JC., Kerschbaum, T.(Hrsg) Orale Physiologie. Quintessenz, Berlin **2006**,85-112.

Schindler, HJ., Hugger, A., *Kauphysiologie und Kieferreflexe*. In: Hugger, A., Türp, JC., Kerschbaum, T., (Hrsg) *Orale Physiologie*. Quintessenz, Berlin **2006**,113-142.

Schindler, HJ., Lenz, J., Türp, JC., Schweizerhof, K., Rues, S., *Small unilateral jaw gap variations: equilibrium changes, co-contractions and joint forces*. J Oral Rehabil. **2009**;36(10):710-718.

Sheikholeslam, A., Riise, C., *Influence of experimental interfering occlusal contacts on the activity of the anterior temporal and masseter muscles during submaximal and maximal bite in the intercuspal position*. J Oral Rehabil. **1983**;10(3):207-214.

Takaki, P., Vieira, M., Bommarito, S., *Maximum bite force analysis in different age groups*. Int Arch Otorhinolaryngol. **2014**;18(3):272-276.

Veyrone, JL., Lassauzay, C., Nicolas, E., Peyron, MA., Woda, A., *Mastication of model products in complete denture wearers*. Arch Oral Biol. **2007**;52(12):1180-1185.

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.

Wang, MQ., He, JJ., Zhang, JH., Wang, K., Svensson, P., Widmalm, SE., *SEMG activity of jaw-closing muscles during biting with different unilateral occlusal supports*. J Oral Rehabil **2010**;37(9):719-725.

Wintergest, AM., Garza-Ballesteros, AL., Garnica-Palazuelos, JC., *Bolus size for the evaluation of masticatory performance in 8-10-year-old children: a pilot study*. Cranio. **2015**

Woda, A., Foster, K., Mishellany, A., Peyron, MA., *Adaptation of healthy mastication to factors pertaining to the individual or to the food*. Physiol Behav. **2006**;89(1):28-35.

Wöstmann, B., *Ernährung und Zahnersatz*. In: Hugger, A., Türp, JC., Kerschbaum, T., (Hrsg) Orale Physiologie. Quintessenz, Berlin **2006**,267- 282.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei vielen Menschen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit sehr unterstützt haben.

Zu Beginn möchte ich mich bei Frau Professorin Dr. P. Gierthmühlen und ihrem Vorgänger Herrn Professor Dr. U. Stüttgen bedanken, die mir die Möglichkeit gegeben haben in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik zu promovieren.

Meinem Doktorvater Professor Dr. A. Hugger danke ich besonders für die Bereitstellung des Themas, die hervorragende Betreuung und seine ständige Diskussions- und Hilfsbereitschaft. Ebenfalls möchte ich mich herzlich bei Professor Dr. H.-J. Schindler für die wertvollen Anregungen und kritischen Kommentare bedanken, die zum guten Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Besonderer Dank gilt auch Frau Dr. A. Kravchenko und meinen Mitdoktoranden Kristina Nöh, Mara Koch und Luzie Winkler für die Hilfe und Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen und die regen Diskussionen.

Allen Probanden bin ich zu Dank verpflichtet, ohne deren Teilnahme es nie möglich gewesen wäre, diese Studie durchzuführen.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern, die mir das Studium der Zahnmedizin ermöglicht haben und die mir immerzu unterstützend und liebevoll zur Seite gestanden haben. Dankbar bin ich für den stetigen Rückhalt, die vorbehaltlose Unterstützung und Förderung meiner Geschwister und mir, ohne die wir heute nicht das wären, was wir jetzt sind.

Meinen Geschwistern danke ich für die Geduld und Nachsicht, die sie in den letzten Phasen des Schreibens mit mir hatten.

Bei Dick und Marlies Ponsioen, als auch bei der Familie Ponsioen-Bremmer, bedanke ich mich für das Interesse an dieser Arbeit und die fortlaufende Ermunterung, diese Doktorarbeit fertig zu stellen.

Den größten Dank schulde ich meinem Verlobten Bart. Er hat mich nicht nur durch seine konstruktiven, hinterfragenden Anmerkungen und durch sein akribisches Korrekturlesen unterstützt, sondern wusste mich in den richtigen Momenten zu motivieren und hat immer an mich geglaubt. Danke, dass Du immer für mich und unsere Tochter Fiora da bist!

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere an Eides statt, dass die Dissertation selbständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erstellt und die hier vorgelegte Dissertation nicht von einer anderen Medizinischen Fakultät abgelehnt worden ist.

08.04.2016, Charlott Sophie Victoria Ostermann