

Aus der
Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Tübingen
Abteilung Poliklinik für Kieferorthopädie

**Prospektive Untersuchung der habituellen Okklusion in
Abhängigkeit der Körperhaltung und -lage**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

**vorgelegt von
Kreutzer, Daniel**

2025

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. B. Koos

2. Berichterstatter: Professor Dr. Dr. B. Lethaus

Tag der Disputation: 22.07.2025

Meinen Eltern und Großeltern

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
1 Einleitung	2
1.1 Okklusion	2
1.1.1 Definition und Betrachtungskonzepte	2
1.1.2 Statische Okklusionskonzepte	8
1.1.3 Dynamische Okklusionskonzepte	8
1.1.4 Physiologie der Okklusion	9
1.1.5 Zusammenhang zwischen Körperhaltung und Okklusion	12
1.1.6 Pathologie und Auswirkung von Malokklusion, Parafunktion	15
1.1.7 Klinische- und apparative Diagnostik	16
1.2 Studienziele	19
1.2.1 Nullhypothesen	20
2 Material, Methodik und Studienpopulation	21
2.1 Studiendesign	21
2.2 Genehmigung durch die Ethikkommission, Registrierung der Studie	22
2.3 Material	22
2.3.1 Digitale Okklusionsanalyse: T-Scan ® III	22
2.3.2 Intraoralscan: Trios 3	25
2.3.3 Zahnärztliche Behandlungseinheit: Kavo Estetica E80 Vision	25
2.4 Studienpopulation	27
2.4.1 Einschlusskriterien	28
2.4.2 Ausschlusskriterien	28
2.5 Methodik	28
2.6 Zielparameter und Auswertung	32
2.6.1 Digitale Okklusionsanalyse: T-Scan ® III	33
2.6.2 Statistische Methoden	35
3 Ergebnisse	37
3.1 Charakteristik der Studienpopulation	37
3.2 Kieferorthopädisches Screening	38

3.3	T-Scan ® III: Bereich-Position – deskriptiv _____	42
3.4	T-Scan ® III: singuläre Betrachtung der okkludierenden Zähne ____	45
3.5	Statistische Bewertung _____	49
3.6	Zusammenfassung der Ergebnisse _____	71
3.6.1	Gesamte Studienpopulation _____	71
3.6.2	„Ideale Okklusion“ _____	72
3.6.3	Abweichung „ideale Okklusion“ _____	72
3.6.4	Angle Klasse I _____	72
3.6.5	Angle Klasse II _____	73
3.6.6	Angle Klasse III _____	73
4	Diskussion _____	74
4.1	Kritische Bewertung Studiendesign und -durchführung _____	74
4.1.1	Material _____	74
4.1.2	Methodik _____	77
4.1.3	Probanden/-innen _____	80
4.1.4	Bewertung der Ergebnisse _____	81
4.2	Schlussfolgerung _____	88
5	Zusammenfassung _____	90
6	Tabellenverzeichnis _____	92
7	Abbildungsverzeichnis _____	93
8	Literaturverzeichnis _____	95
9	Erklärung zum Eigenanteil _____	103
10	Publikationen _____	104
11	Danksagung _____	105

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

DGFDT	Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie
IKP	Interkuspitation
max. IKP	maximale Interkuspitation
CMD	Craniomandibuläre Dysfunktion
FZ	Frontzähne
PM	Prämolaren
M	Molaren
SZ	Seitenzähne
RKP	retrale Kontaktposition
MLV	Mittellinienverschiebung
IOCP	initiales okklusales Kontaktmuster
etc.	et cetera
bzw.	beziehungsweise
z.B.	zum Beispiel
EMG	Elektromyogramm/Elektromyographie
SKD	Schneidekantendistanz
MÖ	Mundöffnung
SD	Standardabweichung (standard deviation)
p	p-Wert (probabilitas)
Si	sitzend (Probanden/-innen Positionierung)
Li	liegend (Probanden/-innen Positionierung)
St	stehend (Probanden/-innen Positionierung)

1 Einleitung

1.1 Okklusion

1.1.1 Definition und Betrachtungskonzepte

Der Begriff „Okklusion“ bezeichnet gemäß Nomenklatur und Terminologie der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFDT) jeden Kontakt zwischen den Zähnen des Ober- und Unterkiefers. Als Synonym hierfür wird von Interkuspitation (IKP) oder Zusammenschluss gesprochen. Zahnkontakte, welche infolge einer Exkursionsbewegung des Unterkiefers entstehen, werden als dynamische Okklusion definiert. Zahnkontakte ohne Bewegung des Unterkiefers in IKP kennzeichnen den Begriff der statischen Okklusion (Ahlers et al., 2006). Okkludieren Zähne statisch in einem maximalen Vielpunktkontakt zueinander, liegt eine maximale Interkuspitation vor (Ahlers et al., 2006). In dieser ist die intermaxilläre Lage der Kiefer zueinander dreidimensional definiert (Schmitter et al., 2010). Die gewohnheitsgemäß eingenommene statische Okklusion wird gemäß der DGFDT als habituelle Okklusion bezeichnet. Bei gleichzeitigem Vorliegen von maximaler IKP und zentrischer Kondylenposition, ist von zentrischer Okklusion die Rede (Ahlers et al., 2006). Trotz Präferenzierung für die zahnärztliche therapeutische Rehabilitation kann eine Übereinstimmung zwischen zentrischer Okklusion und maximaler IKP bei den meisten Patienten nicht nachgewiesen werden (Kattadiyil et al., 2021).

Die systematische Betrachtung der individuellen Okklusion kann in sagittaler, transversaler und vertikaler Ebene erfolgen, singulär bezogen auf Stellung und Position der Zähne sowie des gesamten stomatognathen Systems.

Clark und Evans führten 2001 in ihrem systematischen Review auf, dass die Grundlage für die Bewertung und Einstufung adulter Okklusion auf Arbeiten von E. Angle (1899) und Andrews (1972,1989) zurückzuführen ist (Clark and Evans, 2001). Aus der bereits 1899 von E. Angle aufgestellten Klassifikation von Kieferanomalien lässt sich die mesio-distale Beziehung der ersten Molaren in der Sagittalen bewerten (Sander et al., 2011). Bei Vorliegen einer „Angle Klasse I“ okkludieren die mesiobukkale Höckerspitze des oberen ersten Molaren und die

Einleitung

bukkale Fissur des ersten unteren Molaren in Projektion. Eine distale Position des unteren Molaren oder mesiale Verschiebung des oberen Molaren wird als „Angle Klasse II“ definiert. Angle untergliederte die Klasse II anhand der sagittalen und vertikalen Stellung der oberen Frontzähne in zwei Gruppen. Die „Angle Klasse II/1“ ist durch einen erhöhten Overjet mit proklinierten Frontzähnen (FZ), die „Angle Klasse II/2“ durch eine Retrusion der FZ sowie einem vergrößerten Overbite gekennzeichnet. Die mesiale Lageverschiebung des unteren Molaren in Bezug auf den oberen Molaren wird als „Angle Klasse III“ eingestuft (Angle, 1899).

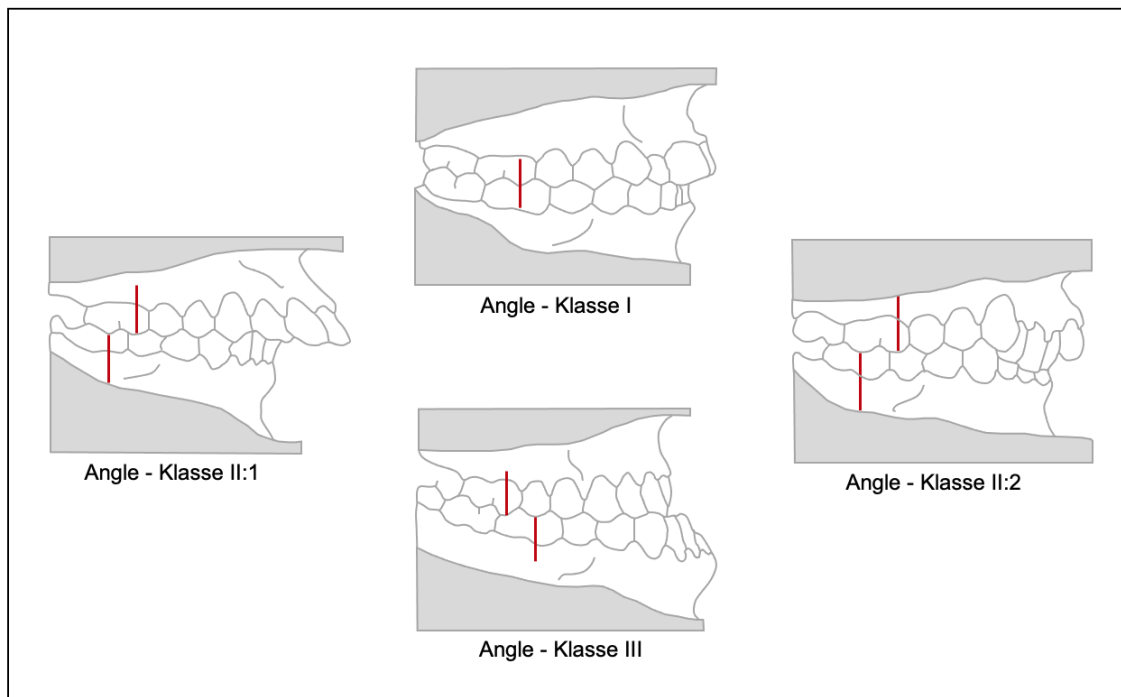


Abb. 1: Darstellung der Angle-Klassifikation nach Pancherz (2018)

Die horizontale Distanz der Labialflächen von Frontzähnen in der Sagittalen, der Overjet, wird im eugnathen Gebiss mit ca. 2 – 3 mm bemessen. Nach Ausprägung dieser sagittalen Frontzahnstufe wird eine physiologische Größe von der vergrößerten (positiven) bzw. verringerten (negativen) Frontzahnstufe unterschieden (Sander et al., 2011, Schopf, 2008).

Einleitung

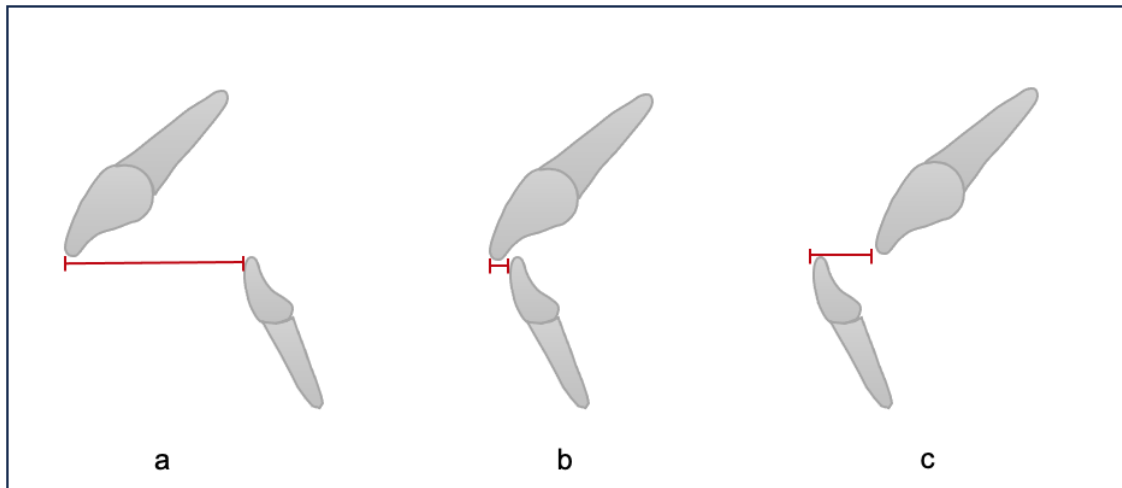


Abb. 2: Darstellung der sagittalen Frontzahnstufe (a=positive Stufe, b=regelrechte Stufe, c=negative Stufe) nach Sander et al. (2011)

Bei transversaler Betrachtung der adulten Okklusion weisen in IKP die lateralen (bukkalen) Höcker der Oberkieferseitenzähne und die medialen (lingualen) Höcker der Unterkieferseitenzähne keinen antagonistischen Kontakt auf. Ein okkludierender Kontakt der bukkalen Höckerspitzen resultiert in einem Kopfbiss, Kontakte der oberen bukkalen und unteren lingualen Höcker in einem Kreuzbiss (Lehmann et al., 2014, Smith, 1982, Woda et al., 1979).

Idealisierte Okklusionskonzepte beschreiben in der Transversalen eine Tripodisierung der Okklusion. So weisen die bukkalen Höcker antagonistischer Zähne (A-Kontakt), die tragenden Höcker des Ober- und Unterkiefers (B-Kontakt) sowie die oralen Höcker (C-Kontakt) einen Kontakt auf (Gernet et al., 2017).

Einleitung

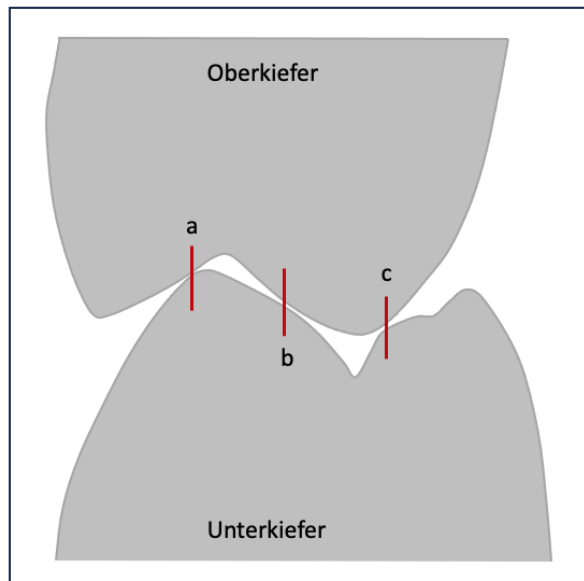


Abb. 3: Transversale Darstellung: Tripodisierung der Okklusion mit A-Kontakt (a), B-Kontakt (b) und C-Kontakt (c) nach Gernet et al. (2017)

Gemäß Smith bestehen in der vertikalen Betrachtung der Okklusion antagonistische Kontakte im Seitenzahnbereich (Smith, 1982). Vertikale Diskrepanzen können in Form eines offenen- oder tiefen Bisses auftreten und stellen sich als Indikatoren kieferorthopädischen Handlungsbedarfes dar. Die vertikale inzisale Relation der Frontzähne, gemessen in der Sagittalebene, wird als Overbite bezeichnet. Im eugnathen adulten Gebiss beträgt er im Mittel 2 – 3 mm. Abweichungen hiervon bilden vertikal offene oder tiefe Frontzahnüberbisse (Sander et al., 2011, Schopf, 2008).

Einleitung

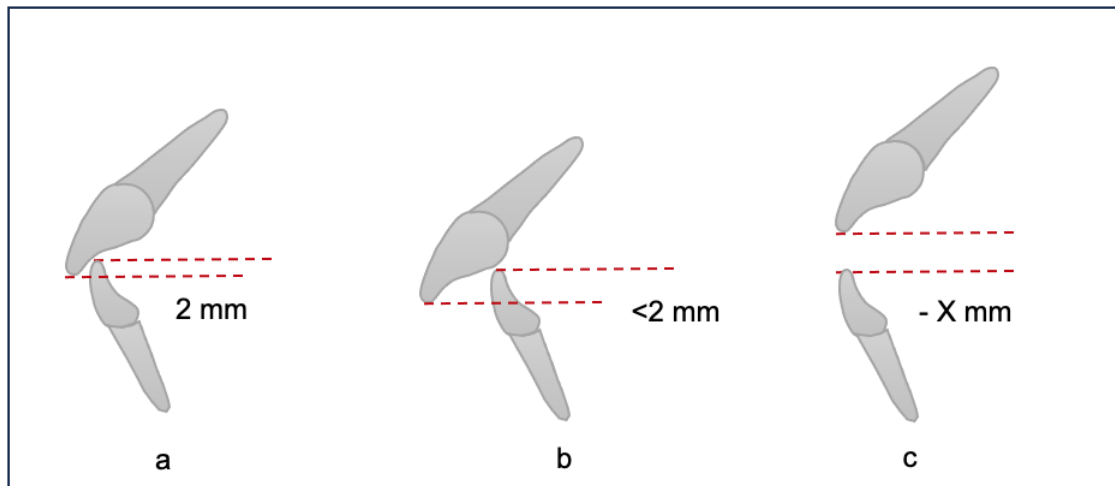


Abb. 4: Darstellung der vertikalen Frontzahnstufe (a=regelmäßiger vertikaler Überbiss, b=tiefer Biss, c=offener Biss) nach Sander et al. (2011)

Einheitlichere Definitionsversuche einer „optimalen adulten Okklusion“ unter Berücksichtigung weiterer anatomischer Strukturen des stomatognathen System liegen durch Arbeiten von Stallard und Stuart (1963 und 1966), Andrews (1972) und Okeson vor.

Stallard und Stuart postulierten in ihrem Okklusionskonzept das Vorliegen zeitgleicher okklusaler Kontakte der Arbeitshöcker in den zentralen Gruben des okklusalen Reliefs des Antagonisten in maximaler IKP, wobei die transversale Achse des Kieferschlusses durch beide Kondylen in der retralsten Lage innerhalb der Gelenkgruben verläuft. Diese Kondylenposition wurde als „rearmost, uppermost and midmost position“ definiert. Laterotrusive Exkursionsbewegungen führen zu Disklusion der Zahnreihen über die antagonisierenden Eckzähne, protrusive Bewegungen des Unterkiefers führen über die oberen und unteren Inzisiven ebenfalls zu einer Entkopplung, gemäß einer Front-Eckzahngeschützten Okklusion (Stallard, 1963). Andrews definierte in seiner Veröffentlichung 1972 die „sechs Schlüssel der Okklusion“, welche sowohl im natürlichen Gebiss zu finden sind als auch nach erfolgreicher kieferorthopädischer Behandlung vorliegen sollten. Hierzu zählen eine gemäß der Angle Klassifikation neutrale Molarenrelation, die korrekte Angulation und

Einleitung

Inklination der klinischen Zahnkrone, das Fehlen von Rotationen und approximalen Lücken sowie eine flach ausgeprägte Speekurve (Andrews, 1972).

In Bezug auf die einheitliche Betrachtung einer soliden Okklusion, rückte die Position des Kiefergelenkes ab den 1970er Jahren sowohl in der Kieferorthopädie als auch in der zahnärztlichen Prothetik in den Fokus (Okeson, 2015). Eine „orthopädisch stabile“ Gelenkstellung wurde von Okeson als superiorste und anteriorste Position der Kondylen in der Gelenkgrube in Bezug auf den posterioren Abhang des Gelenkhöckers definiert. Die Gelenkscheibe liegt in physiologischer Position zwischen den knöchernen Strukturen. In dieser Einstellung soll eine konstante gleichzeitige statische Interkuspitation aller seitlichen Zähne vorliegen. Die Okklusion frontaler Zähne kann sich in abgeschwächter Form darstellen. Das Vorliegen laterotrusiver Kontakte in dynamischer Okklusion, bzw. eine Eckzahnführung führt zur Disklusion der Zahnreihen ohne Auftreten mediotrusiver Balancekontakte. Der Einfluss der Körperhaltung wurde ebenfalls bewertet. Eine aufrechte Körperhaltung stellte sich mit einer Verteilung der maximalen IKP zugunsten des Seitenzahngbietes dar.

Das Vorliegen unterschiedlichster Betrachtungskonzepte und Definitionen, welche sowohl den wissenschaftlichen Auffassungen als auch den Behandlungsschwerpunkten im Wandel der Zeit entsprechen, verdeutlicht die Komplexität der Thematik menschlicher Okklusion. Für die unterschiedlichen Fachrichtungen (zahnärztliche Prothetik, konservierende Zahnheilkunde, Kieferorthopädie, Oralchirurgie und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie) stellt die zentrische Okklusion und somit deren Definition zwar eine hohe klinische Relevanz dar (Okeson, 2015, Sheridan et al., 2016, Wiens et al., 2018), jedoch konnte keine einheitliche Definition assoziiert werden (Goldstein et al., 2017).

1.1.2 Statische Okklusionskonzepte

Im Folgenden sollen kurz und schematisch gängige statische Okklusionskonzepte aufgeführt werden.

Gemäß der Terminologie der DGFDT wird die statische Okklusion als Summe der Zahnkontakte beschrieben, welche ohne exkursive Bewegungen des Unterkiefers auftreten. Es wird zwischen maximaler Interkuspidation und habitueller Interkuspidation unterschieden (Ahlers et al., 2006). Eine maximale IKP liegt bei maximalen Vielpunktkontakten der antagonistischen Zähne des Ober- und Unterkiefers vor, wohingegen die habituelle IKP die Summe der gewohnheitsgemäßen Kontakte der oberen und unteren Zähne bei Einnahme des Schlussbisses beschreibt. Eine Übereinstimmung muss nicht obligat vorliegen (Engelhardt et al., 2002, Utz et al., 2015).

Im Bezug zur physiologischen Position des Kondylus, entsprechend einer retralen, kranialen und somit zentralen Kontaktposition (RKP), wurden statische Okklusionskonzepte definiert.

Die Übereinstimmung von zentrischer Kondylenposition mit habitueller Interkuspidationsposition wird als point centric bezeichnet, wohingegen ein Spielraum zwischen IKP und zentraler Kondylenposition (RKP) als freedom in centric oder freedom in movement beschrieben wird (Sander et al., 2011). Ein Abgleiten von der RKP nach anterior in die IKP wird als unphysiologische slide in centric definiert (Sander et al., 2011).

1.1.3 Dynamische Okklusionskonzepte

Unter dynamischer Okklusion werden alle Zahnkontakte zwischen Ober- und Unterkiefer zusammengefasst, welche in Folge von Exkursionsbewegungen des Unterkiefers entstehen können. Diese werden in vier Okklusionskonzepte unterteilt (Ahlers et al., 2006).

Das eckzahngeschützte Okklusionskonzept oder die Eckzahnführung beschreibt eine sofortige Disklusion der Seitenzähne bei lateralen, protrusiven oder lateroprotrusiven Bewegungen der Mandibula über antagonistische Kontakte der

Einleitung

oberen und unteren Eckzähne zueinander (Lehmann et al., 2014, Sander et al., 2011). Analog hierzu führt eine frontzahngeschützte Okklusion oder Frontzahnführung zu einem Kontaktverlust der oberen und unteren Seitenzähne bei Ventral- oder Lateralschub des Unterkiefers aus der IKP heraus (Ahlers et al., 2006). Beide Konzepte liegen häufig in Kombination vor und zeichnen sich durch ihren protektiven Charakter aufgrund der Verminderung transversaler, nicht axial gerichteter Kräfte auf die Seitenzähne aus (Okeson, 2015).

Weitere dynamische Okklusionskonzepte stellen die unilateral balancierte und bilateral balancierte Okklusion dar. Bei unilateraler Balance führen gruppierte Kontakte aller Seitenzähne der Laterotrusionsseite zur Disklusion der Zahnreihen auf der kontralateralen Mediotrusionsseite. Die bilateral balancierte Okklusion zeichnet sich durch das Fehlen einer Disklusion der Mediotrusionsseite und dem Vorkommen möglichst vieler Balancekontakte auf der gleichen aus (Ahlers et al., 2006, Lehmann et al., 2014, Sander et al., 2011).

Panek et al. bewerteten in einer prospektiven Studie die Prävalenz aufgeführter Okklusionskonzepte an natürlichen Dentitionen. Eine Korrelation zwischen zunehmenden Alter der Probanden/-innen und abnehmender Eckzahn- oder unilateral geführter Okklusion, bis hin zu gruppengeführten Schemata stellte sich auffällig dar (Panek et al., 2008).

In der restaurativen, chirurgischen als auch kieferorthopädischen Zahnmedizin werden sowohl eckzahngeführte als auch gruppengeführte Okklusionskonzepte in Abhängigkeit von dem Alter des Patienten, der Anzahl der vorhandenen Zähne bzw. Implantate, wie auch der Größe und des Umfangs der geplanten Therapie postuliert (Panek et al., 2008).

1.1.4 Physiologie der Okklusion

Die Physiologie des Kieferschlusses stellt sich komplex dar. Gemäß Kobes besteht das Kauorgan nicht aus einer singulär abgrenzbaren anatomischen Struktur, sondern bildet eine nach kybernetischen Grundsätzen abgestimmte Funktionseinheit, bestehend aus Zähnen, Parodontium, Ober- und Unterkiefer,

Einleitung

Kau- und Nackenmuskulatur, Zungen- und Halsmuskulatur, Speicheldrüsen, vaskulärer und neuronaler Versorgung, Haut und Schleimhäuten, zentralem Nervensystem sowie dem Kiefergelenk (Kobes, 1977). Vorhandene ligamentäre Strukturen begrenzen und führen hierbei die Bewegung des Unterkiefers (Rocabado and Iglarsh, 1991).

Die beteiligten muskulären Komponenten werden in Kaumuskulatur und akzessorische Kaumuskulatur unterteilt. Zur Kaumuskulatur werden die paarig angelegten Mm. temporales, Mm. masseteres, Mm. pterygoidei mediales und Mm. pterygoidei laterales gezählt. Eine funktionelle Unterscheidung kann gemäß des anatomischen Muskelfaserverlaufes in kieferöffnende (M. pterygoideus lateralis) und kieferschließende, elevatorische Muskulatur (M. temporalis, M. masseter, M. pterygoideus medialis) erfolgen (Schünke et al., 2015).

Die akzessorische Kaumuskulatur umfasst die supra- und infrahyoidale Muskulatur sowie die Nackenmuskulatur, welche die Unterkieferposition und die Kieferöffnung beeinflussen (Bumann et al., 2000b, Hugger et al., 2006).

Die suprahyoidale Muskulatur, bestehend aus ebenfalls paarigen Mm. digastrici, Mm. mylohyoidei, Mm. geniohyoidei und Mm. stylohyoidei bilden als funktionelle Einheit den Mundboden und fungieren bei fixiertem Hyoid als kieferöffnende Muskulatur, bei relaxierter infrahyoidaler Muskulatur als initiiierende Muskelgruppe des Schluckaktes. Zur infrahyoidalen Muskulatur werden, ebenfalls paarig angelegt, die Mm. sternohyoidei, Mm. sternothyroidei, Mm. thyrohyoidei und Mm. omohyoidei gezählt. Die infrahyoidale Muskelgruppe fixiert das Hyoid und ist funktionell, terminal am Schluckakt und der Lautbildung beteiligt (Schünke et al., 2015).

Die Kieferöffnung ist durch eine initiale Rotation des Kondylus sowie den Übergang in eine Translationsbewegung gekennzeichnet (Ferrario et al., 1996). Die Aktivität der suprahyoidalen Muskulatur führt zu beschriebener initialer Rotation des caput mandibulae, die Kontraktion des M. pterygoideus lateralis zur Translation und weiterführenden Kieferöffnung.

Einleitung

Die Nackenmuskulatur kann topographisch zur Halsmuskulatur gezählt werden. Diese zur autochthonen Rückenmuskulatur zählende Gruppe wird in toto als M. erector spinae (M. semispinalis capitis, M. semispinalis cervicis, M. splenius capitis, M. splenius cervicis, M. longissimus capitis, M. iliocostalis cervicis, M. suboccipitalis) bezeichnet. Funktionell ist diese Muskelgruppe durch Dorsalextension, Lateralflexion, Rotation und Stabilisierung der Kopfposition gekennzeichnet. Die oberflächliche Halsmuskulatur wird durch den M. trapezius, M. sternocleidomastoideus sowie dem Platysma gebildet. Der pars descendens des M. trapezius neigt den Kopf zur ipsilateralen Seite oder rotiert den Kopf kontralateral. Der große Kopfwender, M. sternocleidomastoideus, ist funktionell durch Lateralflexion, Rotation und Dorsalextension des Kopfes gekennzeichnet. Die prävertebrale Muskulatur (M. longus capitis, M. longus colli, M. rectus capitis anterior, M. rectus capitis lateralis) ist ebenfalls an der Lateralflexion, Rotation und Ventralflexion des Kopfes, der Halswirbelsäule sowie Lateralflexion und Ventralflexion des Atlantookzipitalgelenkes funktionell involviert. Die Mm. scaleni bilden die tiefe seitliche Halsmuskulatur mit der Funktion von Lateralflexion der Halswirbelsäule und Ventralflexion des Halses (Schünke et al., 2015).

Bei physiologischer Ruhelage des Unterkiefers besteht kein intermaxillärer Zahnkontakt. Aus dieser Ruhelage, bedingt durch den Ruhetonus der Kaumuskulatur welche der Schwerkraft entgegenwirkt, kann die Kieferöffnung oder der Kieferschluss erfolgen. Multiple Faktoren beeinflussen diese nicht reproduzierbare Position der Mandibula, wie die Kopf- und Körperhaltung, physische, psychische und soziale Stressfaktoren, Medikamente und Alkohol (Lotzmann, 1998).

Das Parodontium stellt durch seinen strukturellen Aufbau ebenfalls eine wichtige Komponente der Okklusion dar. Dentoalveoläre Kollagenfasern fungieren als Ableitung der wirkenden Kaukräfte auf den Alveolarknochen des Ober- und Unterkiefers, wandeln den wirkenden Kaudruck in Zugkräfte um und limitieren den Kieferschluss (Schünke et al., 2015). Die aus der bindegewebigen Verankerung der Zähne in den Alveolarfächern resultierende physiologische Zahnbeweglichkeit (0,06 mm – 0,15 mm unter fünf Newton Kaufkraft) variiert je nach Ausmaß der Wurzeloberfläche, Qualität und Quantität des

Alveolarknochens, als auch der intermittierend wirkenden Kaukraft in kombinierter axialer-vertikaler und horizontaler Richtung (Wolf et al., 2012).

Die bestehende neurophysiologische Rückkopplung der parodontalen Mechanorezeptoren und der Aktivität der Kaumusculatur und akzessorischer Kaumusculatur, fungiert als Schutzfunktion und führt zur reflektorischen Depression des Unterkiefers (Bumann et al., 2000a, Hugger et al., 2006, Samandari and Mai, 2009).

1.1.5 Zusammenhang zwischen Körperhaltung und Okklusion

Die wechselseitige Beziehung und die Korrelation zwischen Körperhaltung und dentaler Okklusion ist Gegenstand zahlreicher Studien.

Bereits 1928 wies Schwarz über röntgenologische Darstellung der knöchernen Schädelbestandteile in der Sagittalen eine posteriore Verschiebung des Unterkiefers bei Extensionsbewegung des Kopfes sowie eine anteriore Verschiebung bei Flexionsbewegungen nach (Schwarz, 1928). Diese Korrelation zwischen Kopfhaltung und Okklusion konnte durch Wachsregistrierung in den 1950er Jahren (Posselt, 1952) und durch Okklusogramme (Brenman, 1963) bestätigt werden. Veränderungen der Körperposition vom Liegen in die Aufrechte zeigten bei elektrisch stimuliertem Kieferschluss eine Zunahme der Schließkraft und eine anteriore Verschiebung dentaler Kontakte (Mc Lean et al., 1973). Ebenso konnte durch Goldstein et al. ein Zusammenhang zwischen der anterior-posterioren Halsrotation und der Trajektorie des Kieferschlusses in die maximale IKP aufgezeigt werden (Goldstein et al., 1984). Zusätzlich zur Betrachtung der Korrelation dentaler Okklusion und der Kopfposition und -rotation, erfolgten Untersuchungen der Aktivität kieferschließender Muskelgruppen mittels Elektromyogram (EMG). So stellten Funakoshi et. al eine gesteigerte EMG-Aktivität des M. digastricus bei Ventroflexion des Kopfes und eine gesteigerte Aktivität des M. temporalis bei Dorsoflexion fest (Funakoshi et al., 1976). Eine Koaktivierung des M. sternocleidomastoideus, der Mm. semispinales, Mm. multifidi während des Kieferschlusses wurde durch Hellmann bestätigt (Hellmann et al., 2012). 1989 wies Makofsky einen weiteren

Einleitung

mechanischen Zusammenhang zwischen Körperhaltung und initialen Zahnkontakten nach, welcher als „sliding cranium theory“ bezeichnet wurde. Bei Dorsoflexion erfolgt eine anteriore Translation des Hinterhauptes am Atlas. Diese Verschiebung impliziert aufgrund einer relativen Positionsänderung des Ober- zum Unterkiefer eine posteriore Muskelkontaktposition der Zähne (Makofsky, 1989). Durch Veränderung der sagittalen Kopfneigung zeigte Chapman 1991 in einer kleinen Studienpopulation Abweichungen der initialen dentalen Vorkontakte bei Kieferschluss auf und vermutete einen Zusammenhang zwischen Okklusion und Körperhaltung (Chapman et al., 1991). Zusammenhänge zwischen der Kopffrotation in der Sagittalen und dem initialen okklusalen Kontaktmuster (IOCP) bestätigten Makofsky et. al durch Verwendung des T-Scan® II Systems. Signifikante Unterschiede der erfassten Zahnkontakte bei Dorso- und Ventroflexion des Kopfes ergaben sich hier jedoch erst bei Probanden/-innen der Testgruppe mit einem Alter über 30 Jahren (Makofsky et al., 1991). Eine Korrelation zwischen nach vorne gestreckter Kopfhaltung, ohne Rotation in der Sagittalen und dem IOCP, konnte nicht nachgewiesen werden. Eine lineare Regressionsanalyse zeigte jedoch wieder eine Beziehung zwischen dem Alter und den IOCP (Makofsky, 2000). Die Bewertung der Körperhaltung und Okklusion durch Sakaguchi et al., veranschaulichte den Zusammenhang zwischen stabiler Körperhaltung und stabiler zentrischer Okklusion. Eine Veränderung der Körperhaltung durch initiale einseitige Abwandlung der Beinlänge führt zu einer gesteigerten okklusalen Kraftverteilung der ipsilateralen Körperseite (Sakaguchi et al., 2007). Von gleichfalls großer Relevanz für die reziproke Beziehung zwischen Körperhaltung und Okklusion ist das Zusammenspiel der einzelnen unterschiedlichen anatomischen Strukturen im Kopf-Hals-Bereich. Die aufrechte Haltung des Kopfes wird durch eine ausgewogene Spannung zwischen den kraniozervikalen Knochen, den myofaszialen Strukturen und dem Zahnschluss aufrechterhalten (Michelotti et al., 2011).

Das stomatognathe System und die obere Halswirbelsäule sind anatomisch und funktionell verbunden und bilden somit eine relevante Einheit (Korbmacher et al., 2004). Hierbei bilden die Kaumuskulatur, die suprahyoidale und infrahyoidale

Einleitung

Muskulatur eine vordere Funktionskette, welche antagonistisch zur Nackenmuskulatur als hintere Funktionskette wirkt (Sander et al., 2011).

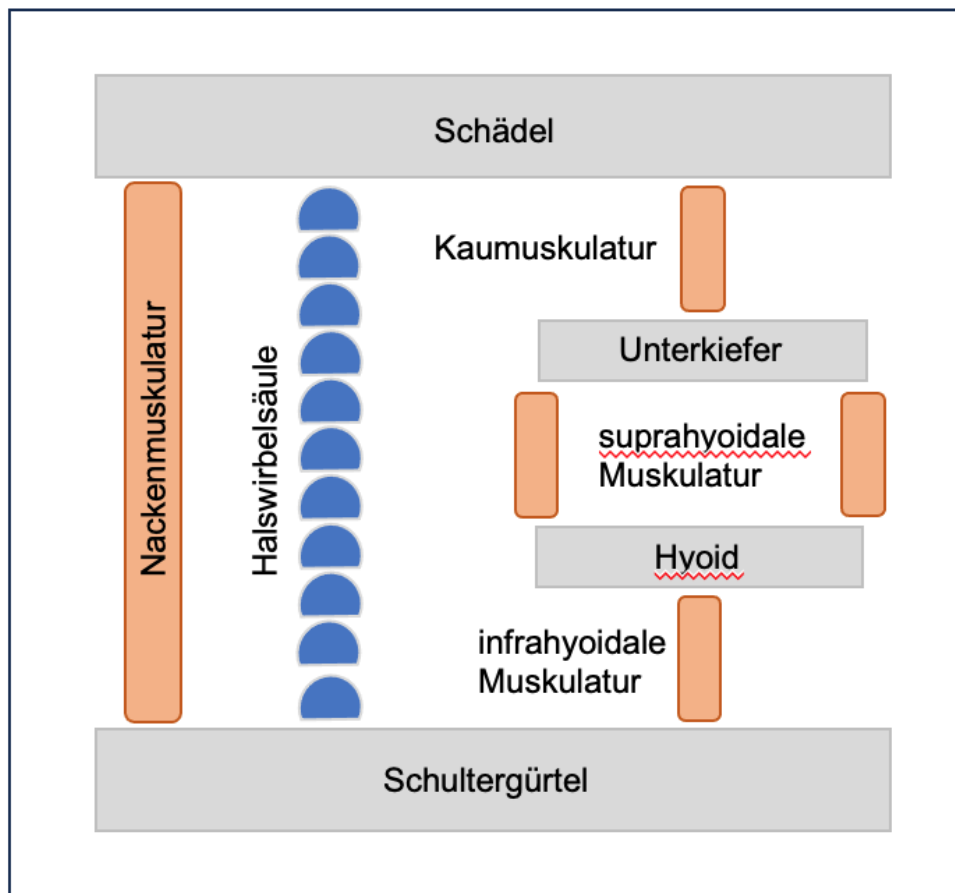


Abb. 5: Darstellung der Kieferregion als integraler Bestandteil der anterioren Funktionskette im Gleichgewicht mit hinterer Funktionskette nach Sander et al. (2011)

Auch auf neuronaler Ebene bestehen ausreichend wissenschaftliche Erkenntnisse zwischen der oralen und cervikalen Region. Afferenzen des Zahnhalteapparates, der Kaumuskulatur und des Kiefergelenks treffen zusammen mit sensorischen Fasern der Halswirbelsäule auf trigeminale Kerne, während die Projektion der trigeminalen Neuronen weiter nach kaudal zu den Halswirbelkörpern C5, C6, C7 und zu den vestibulären Kernen absteigt (Pinganaud et al., 1999).

1.1.6 Pathologie und Auswirkung von Malokklusion, Parafunktion

Der Begriff „Malokklusion“ bezeichnet jede Abweichung des physiologisch akzeptablen Kontaktes beider gegenüberliegender Zahnbögen (Ferro et al., 2017).

Zur Ätiologie für dentale Implantatverluste, craniomandibuläre Dysfunktionen, Wurzel- und Zahnfrakturen sowie parodontale Überbelastungen können eine ungleichmäßige Okklusion, bestehende Parafunktionen und exzentrische Vorkontakte gezählt werden.

Das okklusale Schema stellt ein wichtiges Kriterium für den klinischen Behandlungserfolg und die Langlebigkeit implantatgetragener Versorgungen dar (Misch and Bides, 1994). Eine okklusale Überlastung durch Bruxismus, eine unangemessene oder unzureichende Okklusion als Einzelfaktor oder die Kombination dieser Faktoren können eine Implantatfraktur verursachen (Stoichkov and Kirov, 2018). Zusätzlich ist diese mit fortgeschrittenem marginalen Knochenabbau assoziiert (Hsu et al., 2012, Koller et al., 2016) und kann zu einem kompletten Verlust der Osseointegration führen (Esposito et al., 1998, Isidor, 1996, Naert et al., 2012, Sheridan et al., 2016). Das parodontale Ligament der natürlichen Dentition stellt eine Schutzfunktion gegenüber okklusalen Kräften dar, wohingegen das Implantat durch ein Fehlen des parodontalen Faserapparates und der Propriozeption gekennzeichnet ist (Sheridan et al., 2016).

Die Korrelation zwischen craniomandibulärer Dysfunktion (CMD) und korrekter Okklusion bzw. Malokklusion wird bis heute kontrovers diskutiert. Eine monokausale strukturelle Ätiologie der CMD, unter anderem bedingt durch Malokklusion, wurde beginnend mit Costen 1934, Becker 1995 und Greene 2001 beschrieben (Becker, 1995, Costen, 1934, Greene, 2001). Diese monokausale Theorie scheint jedoch nicht in der Lage zu sein, die Ätiologie der CMD ausreichend zu erklären. Als evident erscheint, dass diese multifaktoriell bedingt ist. Die Okklusion könnte einen dieser Faktoren darstellen (John, 1996, Reissmann et al., 2013). Ebenso können bestehende okklusale Interferenzen

oder okklusale Traumata als prädisponierenden Faktoren für vertikale Wurzelfrakturen angesehen werden (Dai et al., 2013).

1.1.7 Klinische- und apparative Diagnostik

Die exakte Befundung und korrekte Interpretation der dentalen Okklusion ist zugleich fester Bestandteil der zahnärztlichen Diagnostik, als auch von entscheidender Bedeutung für die Behandlung von Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten (Alani and Patel, 2014, Patel and Alani, 2015, Sharma et al., 2013).

Im Folgenden werden geläufige Verfahren der klinischen und apparativen Okklusionsdiagnostik erläutert.

1.1.7.1 Okklusionsfolie

Als gängigstes und praktikables Mittel der Wahl zur Visualisierung bestehender okklusaler Verhältnisse und/oder Anpassung konservierender Restaurationen, prothetischer Versorgungen und kieferorthopädischer Hilfsmittel stehen Farbfolien zur Verfügung (Okeson, 2019).

Die klinisch geläufigen Materialstärken der metallisierten Polyester- oder Polyethylenfolien betragen 16 μm (z.B. Bausch – Gnatho Film, Dr. Jean Bausch GmbH & Co. KG, Köln, GER), 12 μm (Occlusion Foil, Coltene/Whaledent GmbH, Lanenau, GER) oder 8 μm (z.B. Bausch – Arti-Foil, Dr. Jean Bausch GmbH & Co. KG, Köln, GER) und entsprechen einer Bissperrung sowie Verzerrung der okklusalen Darstellung um diesen Betrag. Alternativ stehen auch heute noch Okklusionspapiere mit einer deutlich größeren Materialstärke von bis zu 40 μm zur Verfügung (z.B. Bausch Arti Check- Articulating paper, Dr. Jean Bausch GmbH & Co. KG, Köln, GER).

Durch antagonisierende Zahnkontakte kann bei Kieferschluss ein farbschattiertes Kontaktpunktmuster dargestellt werden. Starke okklusale Kontakte, mit verbundenem hohem Kaudruck, applizieren mehr Farbe

(Saraçoğlu and Özpinar, 2002, Schelb et al., 1985, Sharma et al., 2013). Dagegen sorgen schwache okklusale Kontakte für einen geringeren Farbpartikelabrieb (Reiber et al., 1989).

Die Grenzen der Visualisierung okklusaler Kontakte wurden 2008 von Kerrstein aufgeführt. Kerrstein kritisierte die bestehenden, nicht wissenschaftlich belegten Auswertungsschemata unterschiedlicher Kontaktpunktconfigurationen. Durch die singuläre Verwendung von Okklusionsfolien ist nur die Markierung aller beim Zubeißen entstehenden Kontakte ohne Berücksichtigung der zeitlichen Abfolge und der dabei entstehenden relativen Kraftgrößen möglich (Kerstein, 2008c). Millstein konstatierte fehlende evidenzbasierte Richtlinien zur Anwendung und Auswertung von Okklusionsfolien (Millstein, 2008). Gleichfalls ist die Größe der mit Okklusionsfolie dargestellten Kontaktareale alleinig nicht in der Lage, eine reliable Auskunft über die wirkende Kaukraft zu treffen (Carey et al., 2007, Qadeer et al., 2012). So forderten Kerrstein und Koos et al. eine Idealisierung der klinischen Okklusionsanalyse durch die Verwendung farbig markierender Okklusionsfolien in Kombination mit dem T-Scan ® III System (Kerstein, 2008c, Koos et al., 2010).

1.1.7.2 Shimstockfolie

Optional und/oder ergänzend zu den erwähnten farbig markierenden Okklusionsfolien werden metallische Polyesterfolien, so genannte Shimstockfolien, mit einer Materialstärke von 8 µm zur Überprüfung der Interkuspitation verwendet. Die Bewertung der okklusalen Verhältnisse erfolgt über die Detektion der Zugspannung (Halperin et al., 1982, Sharma et al., 2013). Nach Engelhardt et al. können drei Okklusionsbefunde (widerstandlose Entfernung der Folie aus dem antagonistierenden Kontaktareal, Entfernung mit Kontinuitätserhalt bei Widerstand, fester Halt bei Widerstand) unterschieden werden (Engelhardt et al., 2002). Bei widerstandsloser Entfernung der Folie aus dem Kontaktareal ist ein, in Bezug auf die Folienstärke, größerer Abstand der Antagonisten anzunehmen. Bei festem Halt ist eine antagonistische Beziehung von $\leq 8 \mu\text{m}$ gegeben (McDevitt and Warreth, 1997).

1.1.7.3 Quetschbisse

Zur Erstellung von Bissregistraten und Übertragung der Okklusion in das zahntechnische Labor können unterschiedliche Materialien verwendet werden. Etabliert sind Modellierwaxse unterschiedlicher Härten (z.B. Beauty Pink Wax - Integra LifeSciences, Princeton, NJ, USA) oder A-Silikone (z.B. Futar - Kettenbach GmbH&Co.KG, Eschenburg, GER). Die Beurteilung der Okklusion kann anhand registrierter Impressionstiefe des Registrates im Durchlicht erfolgen (Ehrlich and Taicher, 1981). Zudem kann sie gemäß Myers und Anderson in unterschiedliche Kontaktqualitäten, wie Suprakontakte (Perforation des Bissregistrates), annähernde Kontakte (geringe Impressionstiefe) und Kontakte (kontinuierlich transluzenter Bereich) erfolgen (Anderson JR and Myers, 1971). Silikonbasierte Bissregistrare zeigen hierbei eine zuverlässigere Wiedergabe der Okklusion gegenüber wachsbasierten Materialien (Wieckiewicz et al., 2016).

1.1.7.4 T-Scan ® System

Das T-Scan ® III System der Firma Tekscan Inc., South Boston, MA, USA stellt eine digitale Alternative zur Erfassung der okklusalen Verhältnisse und der auftretenden Kräfte dar. Hierbei registriert eine elektronische Sensorfolie die bei Kieferschluss auftretenden okklusalen Kontaktpunkte im Zahnbogen in zeitlicher Abfolge. Über die zugehörige Software können die registrierten relativen Kaukräfte als Videografie erfasst und visualisiert werden. Die großvariable Sensorfolie weist eine Materialstärke von 100 µm auf und kann patientenindividuell in den Größen small (S) und large (L) gewählt werden. Vorhandene drucksensitive Messzellen sind in Zeilen (rows) und Spalten (columns) angeordnet (Kerstein et al., 2006). Die okklusal wirkenden Kräfte sorgen für eine Verwindung der Sensorfolie und führen somit zu einem Spannungsabfall der betroffenen Messzellen, welcher daraufhin registriert und visualisiert wird. Das System erlaubt eine genaue Zuordnung der okklusalen Kontakte und wirkenden Kräfte auf die entsprechenden Zahnoberflächen der gesamten Dentition des Oberkiefers, gemittelt über die Angabe der mesio-distalen Breite der mittleren Inzisiven oder alternativ individuell angepasst.

Somit kann jedem Zahn im Oberkiefer die anteilige relative Kaukraft, bezogen auf die maximal wirkende Kaukraft im Zahnbogen, zugeordnet werden. Absolute Kaukräfte können nicht ermittelt werden.

Die Reliabilität und Reproduzierbarkeit in der Darstellung der okklusalen Kontaktflächen wurde für verschiedene Generationen des T-Scan® System von mehreren Autoren bestätigt. Garcia et al. zeigten eine hohe Übereinstimmung des okklusalen Musters innerhalb eines Probanden bei wiederholten Messungen auf (García et al., 1997). Die reproduzierbare Kontaktflächendarstellung wurde ebenfalls von Gonzales et al. bestätigt (Gonzalez Sequeros et al., 1997).

Koos et al. stellte für die Verwendung des T-Scan® III System eine akzeptable Messungengenauigkeit sowie nicht signifikante Auswirkungen von Messwiederholungen oder Folienwechseln auf die ermittelten Werte fest (Koos et al., 2010). Nach vorliegenden Erkenntnissen ist nur das T-Scan® System in der Lage, eine quantifizierbare Kraft- und Zeitvarianz in einem Echtzeitfenster vom ersten Zahnkontakt bis zur maximalen Interkuspitation darzustellen (Afrashtehfar and Qadeer, 2016).

1.2 Studienziele

Die genaue Analyse und Aufzeichnung der statischen und dynamischen Okklusion ist ein elementarer Bestandteil der zahnärztlichen Diagnostik und von großer Bedeutung für eine adäquate und zeitgemäße Patientenbehandlung aller Fachbereiche der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Der wechselseitige Zusammenhang zwischen dentaler Okklusion, Körperhaltung, Dorso- und Anterioflexion der Nackenmuskulatur, horizontaler und vertikaler Kopffrotation sowie dem Vorstrecken des Kopfes wird vielseitig in der Literatur diskutiert und beschrieben. Jedoch fehlen bis dato einheitliche Handlungsempfehlungen bzw. ein Goldstandard für die Durchführung der Okklusionsdiagnostik. Nur eine geringe Anzahl durchgeführter klinischer Studien erfolgte in einem zahnärztlichen

Einleitung

Behandlungssetting bzw. unter der Verwendung einer zahnärztlichen Behandlungseinheit und ist somit bedingt in den Praxisalltag zu übertragen.

Im Rahmen der durchgeführten prospektiven Untersuchung soll die Funktion des stomatognathen Systems in IKP untersucht und erfasst werden. Hierbei steht die Abhängigkeit der habituellen Okklusion von der Lagerung der Probanden/-innen in der zahnärztlichen Behandlungseinheit bei geringer Flexion und Rotation der Halswirbelsäule im Vordergrund. Die präsentierte Studie soll aufzeigen, ob die Veränderung der Untersuchungsposition (sitzend, liegend, stehend) zu einer Veränderung der habituellen Interkuspitation führt und in welchem Ausmaß Abweichungen vorliegen.

Es werden Rückschlüsse für patientenindividuelle Behandlungskonzepte und eine genauere Beurteilung der Relevanz von Patientenlagerung während der zahnärztlichen Behandlung sowohl für die Diagnostik sowie für die Therapie erhofft. Diese sollen zu einer höheren Effizienz der zahnärztlichen Behandlungsabläufe beitragen und somit die Patientenversorgung und deren Zufriedenheit verbessern, als auch zu einer Reduktion der negativen Auswirkungen von Malokklusion führen.

1.2.1 Nullhypothesen

Die folgenden Nullhypothesen sollen durch die vorliegende Studie widerlegt werden und beziehen sich auf die Betrachtung des gesamten Studienkollektives:

- Die relative Kaukraft ändert sich in den jeweils betrachteten Zahnbogenbereichen (Frontzähne, Prämolaren, Molaren) in Abhängigkeit der Positionierung (sitzend, liegend, stehend) der Probanden/-innen im zahnärztlichen Behandlungsstuhl nicht.
- Die relative Kaukraft ist gleichmäßig auf den Verlauf des Zahnbogens, ohne die Existenz eines Zentrums der Kaukraft, verteilt.

2 Material, Methodik und Studienpopulation

2.1 Studiendesign

Bei der durchgeführten Untersuchung handelt es sich um eine prospektive Studie an freiwilligen erwachsenen Probanden/-innen mit der Zielsetzung, die habituelle Okklusion in Abhängigkeit zur Lagerung des/der Probanden/-in im zahnärztlichen Behandlungsstuhl zu untersuchen. Hierzu wurden im Studienzeitraum (Oktober 2020 bis Januar 2023), 60 Probanden/-innen an der Universitätsklinik für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde in Tübingen klinisch untersucht und digital analysiert. Die Rekrutierung der Studienteilnehmer/-innen erfolgte durch mündliche Ansprache von Studierenden und Mitarbeitenden der Universitätsklinik für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde Tübingen. Die Datenerhebung und Auswertung erfolgte pseudonymisiert innerhalb der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsklinik für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde Tübingen in Kooperation mit dem Institut für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie der Universität Tübingen. Alle Studienteilnehmer/-innen wurden vor Beginn der Studie mittels mündlicher Aufklärung mit der Möglichkeit für Rückfragen sowie per Informationsblatt über Ablauf, Ziele, Abbruchmöglichkeiten, Datenarchivierung und Pseudonymisierung informiert und aufgeklärt. Die Studieneinverständniserklärung erfolgte im informed consent schriftlich. Zur Dokumentation wurde bei jedem/jeder Studienteilnehmer/-in ein zahnärztlich-kieferorthopädischer Befund, inklusive allgemeiner und spezieller Anamnese, erhoben. Die instrumentelle Okklusionsanalyse wurde mit dem T-Scan[®] III (Tekscan Inc., South Bosten, MA, USA) in einheitlich definierten unterschiedlichen Positionen im zahnärztlichen Behandlungsstuhl KaVo Estetica E80 Vision (KaVo Dental GmbH, Biberach a.d. Riß, GER) durchgeführt. Hierbei wurde die statische Okklusion und resultierende relative Kraftverteilung im Zahnbogen erfasst. Das Analysegerät T-Scan[®] III ist zugelassen als „Medizinische Teilvorrichtung - Tastensensorsystem“ mit einer Sensorfolienschichtdicke von 100 µm. Die Software des Systems misst Spannungsänderungen der Sensorfolie und stellt die relative Kaukraft und Okklusionsareale numerisch und visuell dar. Für jeden/jede Studienteilnehmer/-in konnte somit eine individuelle relative Verteilung der

Kaukraft in Abhängigkeit einer Zeitachse in den Untersuchungspositionen sitzend, liegend und stehend ermittelt werden. In vorliegender Untersuchung wurde ausschließlich die Verteilung der relativen Kaukraft im Zahnbogen untersucht und bewertet. Zur Visualisierung des zahnärztlich-kieferorthopädischen Befundes und der statischen Kontaktareale erfolgte eine dreidimensionale Aufnahme der Zähne mittels intraoralen Scans (Trios 3, 3Shape, Kopenhagen, DK).

2.2 Genehmigung durch die Ethikkommission, Registrierung der Studie

Die durchgeführte Studie wurde vorab durch die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Eberhard Karls Universität und des Universitätsklinikums Tübingen begutachtet und mit der Projektnummer 716/2020BO am 07.09.2020 bewilligt.

Die Registrierung beim Deutschen Register Klinischer Studien erfolgte unter der DRKS-ID: DRKS00032327 am 20.07.2023.

2.3 Material

2.3.1 Digitale Okklusionsanalyse: T-Scan ® III

Unter Verwendung des T-Scan ® III und eines Laptops (Microsoft, Redmond, WA, USA und Software Windows 10 Education, Version 22H2) wurde die habituelle Okklusion analysiert. Gemäß der Nutzungsanweisungen wurde mit einem Lineal Münchner Modell (Dentaurum GmbH & Co. KG, Ispringen, GER) die mesio-distale Breite der oberen mittleren Inzisiven ermittelt und zusammen mit erhobenen zahnärztlich-kieferorthopädischen Befunden, wie prothetische Versorgungen, fehlenden Zähnen oder geschlossenen Lücken in die Maske der Software T-Scan 8.1.3 (Tekscan Inc., South Boston, MA, USA) übertragen. Durch Angabe der mesio-distalen Ausdehnung der oberen mittleren Schneidezähne erfolgte die automatische Anpassung der mesio-distalen Breitenangabe der restlichen Dentition. Dieses Verfahren ähnelt der in der Kieferorthopädie üblichen korrelationsstatistischen Abschätzungen der Zahnbreiten anhand der

Material, Methodik und Studienpopulation

aufsummierten mesio-distalen Breiten der Inzisiven im Oberkiefer (SIOK) und Unterkiefer (SIUK) (Pont, 1909). Die transversale Ausdehnung des oberen Zahnbogens und die damit korrelierende verwendete Größe der Sensorfolie und des Sensorfolienhalters wurde intraoral auf Kongruenz überprüft. Es wurden ausschließlich Sensorfolien der Größe S und L verwendet.

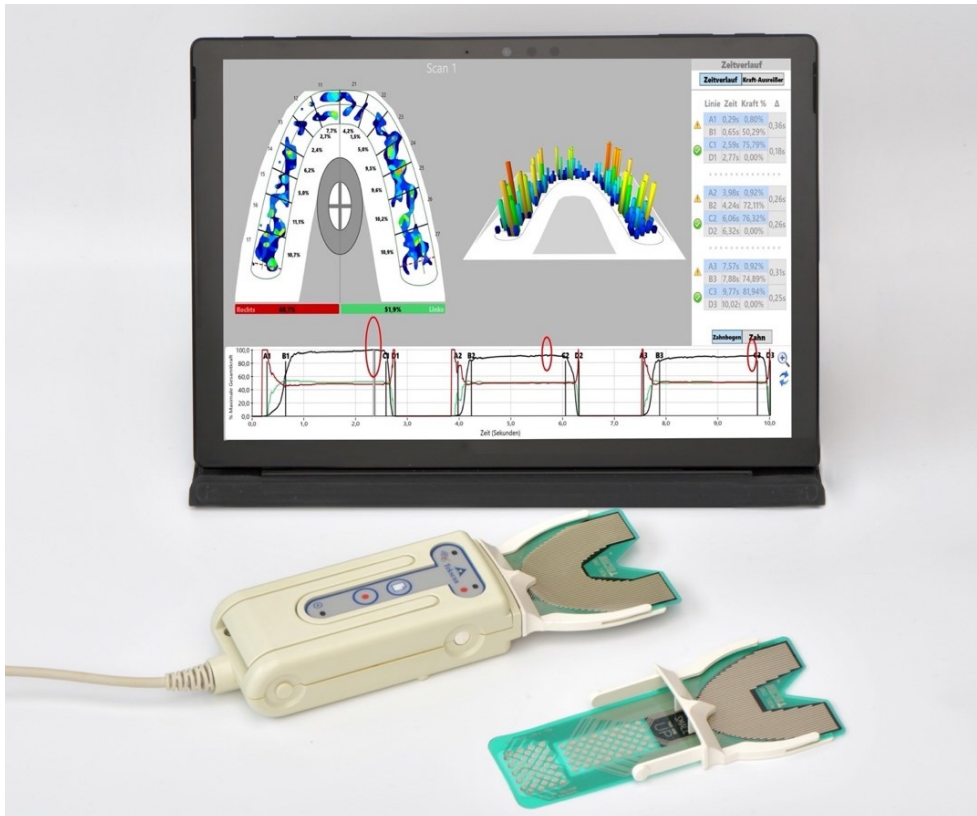


Abb. 6: Anwendungseinheit T-Scan ® III: bestehend aus einem Laptop, Software, Sensorhandstück und Sensorfolie

Material, Methodik und Studienpopulation

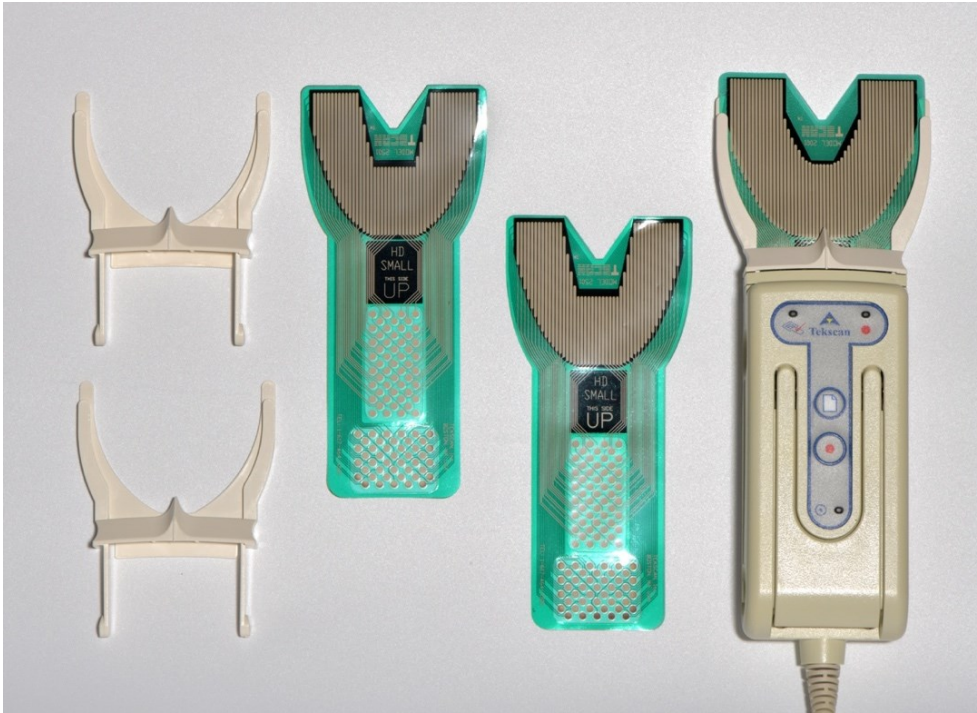


Abb. 7: Sensorhandstück mit eingespannter Sensorfolie (Gr. L) (rechts); Sensorfolien Gr. S (mittig), und Sensorfolienhalter Gr. S (links oben) und Sensorfolienhalter Gr. L (links unten)



Abb. 8: Bestimmung der mesio-distalen Breite des oberen mittleren Inzisivus mithilfe eines Lineals des Münchener Modells

2.3.2 Intraoralscan: Trios 3

Zur Visualisierung des zahnärztlich-kieferorthopädischen Befundes und späteren Analyse der sagittalen, transversalen, vertikalen und auch unklarer oder zweifelhafter Okklusionsverhältnisse erfolgte eine intraorale Bildgebung mittels des intraoralen Scanners Trios 3 (3Shape, Kopenhagen, DK) und zugehöriger Software. Aufgezeichnet wurden die Zahnreihen des Ober- und Unterkiefers in habitueller Okklusion. Die gegebene Verzahnung wurde durch zwei bite-scans links- und rechtsseitig in aufrecht sitzender Position des/der Probanden/-in im zahnärztlichen Behandlungsstuhl dokumentiert. Eine Nachbearbeitung der Scans erfolgte durch die zugehörige Software.

2.3.3 Zahnärztliche Behandlungseinheit: Kavo Estetica E80 Vision

Während der intraoralen Befundung, digitalen Okklusionsanalyse und bildgebenden Scans wurden die Studienteilnehmer/-innen in einer zahnärztlichen Behandlungseinheit KaVo Estetica E80 Vision positioniert. Im Vorfeld der Datenerhebung erfolgte die Definition und Programmierung der Lagerungsposition in aufrecht sitzend und liegend. Diese stellten die Extrempositionen der möglichen Patientenlagerung der Behandlungseinheit dar. Als dritte Lagerungsmöglichkeit wurden die Probanden/-innen aufrecht stehend neben der zahnärztlichen Behandlungseinheit auf dem Boden positioniert. In den aufgeführten Positionen sitzend, liegend und stehend erfolgte die digitale Okklusionsanalyse mittels T-Scan ® III.

Material, Methodik und Studienpopulation



Abb. 9: KaVo Estetica E80 Vision mit Probandin in aufrecht sitzender Position



Abb. 10: KaVo Estetica E80 Vision mit Probandin in liegender Position

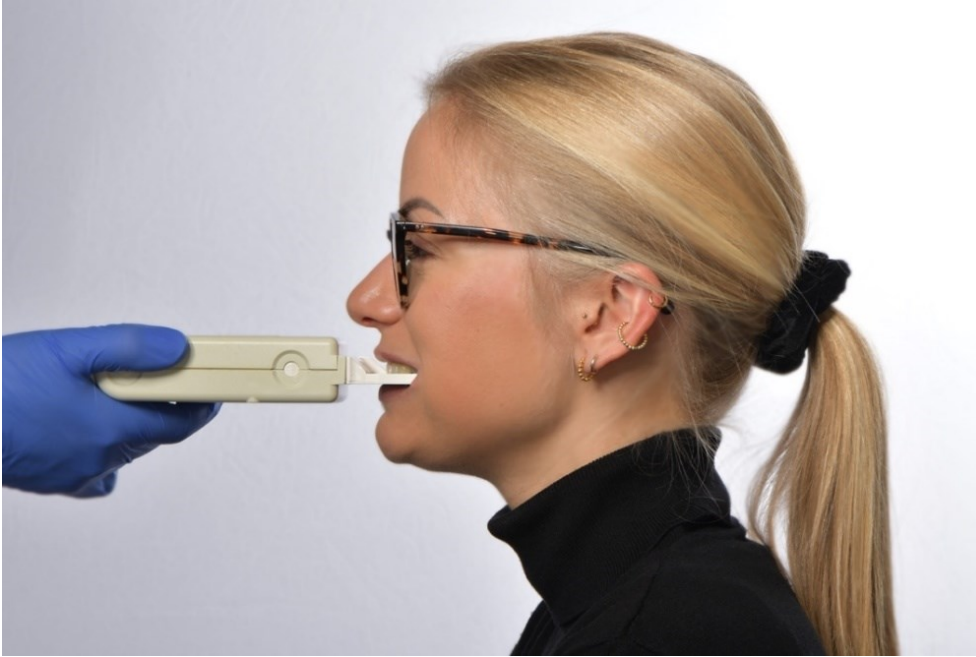


Abb. 11: Klinische Anwendung T-Scan ® III bei stehender Probandin in aufrechter Körperhaltung und Kopfhaltung

2.4 Studienpopulation

Jeder/Jede Studienteilnehmer/-in wurde vorab mündlich und schriftlich mittels eines Informationsblattes über Ablauf, Zielsetzungen, Risiken, Pseudonymisierung und Datenschutz der durchgeführten Untersuchung und Datenerhebung aufgeklärt.

Einschlusskriterien stellten die Volljährigkeit und die Einwilligung der Probanden/-innen zur freiwilligen Studienteilnahme dar. Vorab wurden Kriterien festgelegt, welche zum Ausschluss an der Studienteilnahme führten. Zur Exklusion führten Minderjährigkeit, das Vorliegen einer kraniofazialen Fehlbildung wie Lippen-Kiefer-Gaumenspalten, einer syndromalen Erkrankungen mit kraniofazialer Beteiligung, Allgemeinerkrankungen mit Auswirkungen auf das muskulofunktionelle System (beispielsweise Muskelatrophie), bestehende Traumata im Kopf-Halsbereich wie Zustand nach Kieferfrakturen, das Vorliegen einer Allergie gegen eines der verwendeten Materialien, eine aktuell laufende kieferorthopädische Therapie, eine Restbezaugung von weniger als 10 Zähnen pro Kiefer, umfangreicher

Zahnersatz, herausnehmbarer Zahnersatz oder das Vorliegen einer craniomandibulären Dysfunktion (CMD).

2.4.1 Einschlusskriterien

- Volljährigkeit
- Einwilligung zur freiwilligen Studienteilnahme

2.4.2 Ausschlusskriterien

- Probanden/-innen im Alter unter 18 Jahren
- Keine Einwilligung zur freiwilligen Studienteilnahme
- Kraniofaziale Fehlbildungen (Lippen-Kiefer-Gaumenspalten, syndromale Erkrankungen mit kraniofazialer Beteiligung etc.)
- Allgemeinerkrankungen mit Auswirkungen auf das muskulär-funktionelle System (beispielsweise Muskelatrophie)
- Bestehende Traumata im Kopf-Halsbereich als Zustand nach Kieferfrakturen
- Vorhandene Allergie gegen eines der verwendeten Materialien (Sensorfolie T-Scan ® III)
- Laufende kieferorthopädische Behandlung
- Restbezahnung von weniger als 10 Zähnen pro Kiefer
- Craniomandibuläre Dysfunktion
- Umfangreich festsitzender Zahnersatz
- Herausnehmbarer Zahnersatz

2.5 Methodik

Das Vorliegen von Ausschlusskriterien wurde sowohl durch ein allgemeines und spezielles Anamnesegespräch als auch visuell durch eine zahnärztlich-kieferorthopädische Befundung überprüft. Des Weiteren erfolgte, wie in Abbildung 12 dargestellt, eine klinische CMD-Kurzbefundung in Anlehnung an Ahlers und Jakstat (Ahlers and Jakstat, 2015) sowie dem klinischen

Funktionsstatus der DGFDT (Ottl et al.,2011). Zusätzlich wurde anamnestisch eine zurückliegende kieferorthopädische Behandlung erfragt und ebenfalls bewertet.

CMD-Kurzbefund		dentaConcept®
Mundöffnung asymmetrisch	<input type="checkbox"/>	
Mundöffnung eingeschränkt	<input type="checkbox"/>	
Gelenkgeräusche	<input type="checkbox"/>	
Okklusale Geräusche	<input type="checkbox"/>	
Muskelpalpation schmerzhaft	<input type="checkbox"/>	
Exzentrik traumatisch	<input type="checkbox"/>	
CMD	<input type="radio"/> unwahrscheinlich	(≤1)
	<input type="radio"/> wahrscheinlich	(≥2)

Abb. 12: Auswertung des CMD-Kurzbefundes nach Ahlers und Jakstat (dentaConcept Verlag, Hamburg)

Im zahnärztlichen Behandlungsstuhl erfolgten der Intraoralscan sowie die digitale Okklusionsanalyse. Für die Datenerhebung durch die T-Scan ® III Okklusionsfolie wurde der/die Proband/-in in definierter aufrecht sitzender Position mit aufrechter Lage des Hinterkopfes an der vorhandenen Nackenstütze gelagert und für die durchzuführenden Aufnahmen instruiert. Angestrebt wurde ein kräftiger Kieferschluss in habitueller Okklusion, wobei die Studienteilnehmer/-innen gebeten wurden diesen Biss für drei Sekunden mit konstantem Krafteinsatz zu halten. Nach Ablauf dieser Zeit wurde der/die Proband/-in gebeten, die eingestellte Interkuspitation wieder zu lösen und den Vorgang zwei Mal zu

wiederholen, was in drei durchgeführten und aufgezeichneten Interkuspurationsvorgängen in jeder Lagerungsposition resultierte. Nach identischem Protokoll erfolgte die digitale Okklusionsanalyse in liegender Lagerung mit initialer Reklination des Kopfes und in aufrecht und entspannt stehender Position neben der zahnärztlichen Behandlungseinheit. In toto wurden somit je drei Interkuspurationsvorgänge mit kurzem konstanten Kraftintervall sowohl in sitzender, in liegender als auch in stehender Position aufgezeichnet.

Für die bestmögliche Reproduzierbarkeit wurden die Lagerungspositionen der Behandlungseinheit über den Zeitraum der Datenerhebung gespeichert.

Eine Kalibrierung des T-Scan[®] III erfolgte aufgrund der individuellen Kaukraft der Studienteilnehmer/-innen vor Durchführung der jeweiligen Hauptmessungen gemäß den Anwendungsempfehlungen des Herstellers. Bei Durchführung der Messaufnahmen wurde das Handstück mit einer zum oberen Zahnbogen kongruenten Sensorfolie bestückt und mit dem am Folienhalter angebrachten Inzisaldorn unter approximalem Kontakt an den oberen mittleren Inzisiven platziert. Zur Reduktion von Verwindungskontakten der verwendeten Sensorfolie wurde der Folienhalter intraoral parallel zur individuellen Okklusionsebene des oberen Zahnbogens platziert. Die symmetrische transversale Ausrichtung mit gleichmäßigem Abstand zur Bukkalfläche der oberen Prämolaren und Molaren wurde ebenfalls berücksichtigt.

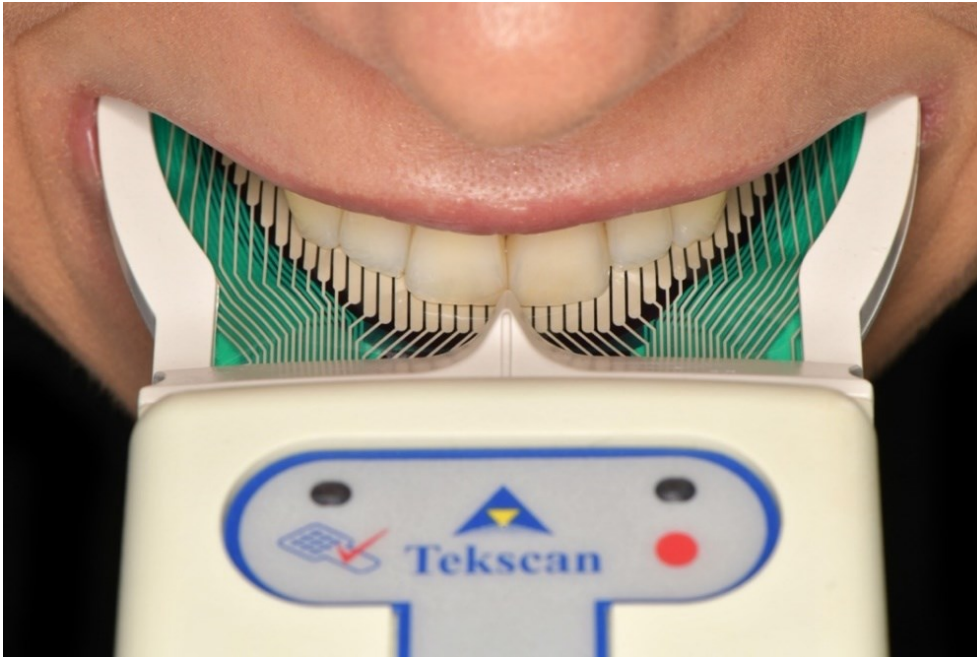


Abb. 13: Klinische Anwendung T-Scan ® III: korrekte Größenwahl von Sensorfolie und Sensorfolienhalter, korrekte Positionierung des Inzisaldornes labial-approximal 11/21 und symmetrische Ausrichtung zum transversalen Verlauf des Zahnbogens sowie planum buccale



Abb. 14: Klinische Anwendung T-Scan ® III: parallele Ausrichtung des Handstückes zur Okklusionsebene

2.6 Zielparameter und Auswertung

Die anamnestischen Angaben und klinischen Befundungen wurden digital auf einem für diese Studiendurchführung angefertigten Befundungsbogen dokumentiert. Eine Analyse der okklusalen Beziehungen wurde nach der Klassifikation von Edward Hartley Angle in die Angle Klasse I, II und III durchgeführt (Angle, 1899). Sowohl die Erhebung als auch Auswertung der Daten wurden durch denselben Untersucher vorgenommen.

Klinische Untersuchung	
Overjet	mm
Overbite	mm
SKD bei maximaler Mundöffnung	mm
Mittellinierverschiebung	<ul style="list-style-type: none"> - Vorhanden/ nicht vorhanden - Mandibulär/ dental
Okklusion sagittal	In Prämolarenbreiten je rechts- und linksseitig <ul style="list-style-type: none"> - Neutral - Distal - mesial
Okklusion transversal	<ul style="list-style-type: none"> - Regulär - Kreuzbiss - Non-Okklusion
CMD-Kurzbericht	<ul style="list-style-type: none"> - CMD wahrscheinlich - CMD unwahrscheinlich
Mundöffnung (MÖ)	<ul style="list-style-type: none"> - Deflexion - Deviation - MÖ Symmetrisch/ Asymmetrisch - Keine Einschränkung/ Einschränkung bei SKD <38 mm (bei regulärem Overbite)
Palpation Kiefergelenk und Kaumuskulatur	<ul style="list-style-type: none"> - Unauffällig - Myogelosen - Druckdolenzen
Kiefergelenktest (Gleit- und Drehbewegung, Protrusion, Öffnung) und Gelenkgeräusche	<ul style="list-style-type: none"> - Unauffällig - Einschränkung in dynamischer Okklusion - Knacken/Reiben
Beschwerden, Schmerzen	<ul style="list-style-type: none"> - Vorhanden/ Nicht vorhanden - Lokalisation
Exzentrik	<ul style="list-style-type: none"> - Atraumatisch - Traumatisch
Spezielle Anamnese	
Wurden Zähne im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung vorzeitig extrahiert?	<ul style="list-style-type: none"> - Ja Milchzähne - Ja bleibende Zähne - Nein

Erlitt der/die Proband/-in einen Unfall mit Beteiligung der Zähne?	- Ja - Nein
War der/die Proband/-in bereits in kieferorthopädischer Vorbehandlung?	- Ja - Nein

Tab. 1: Erhobene klinische Befunde und spezielle Anamnese

Die Zielparameter werden wie folgt beschrieben:

- Habituelle Interkuspitation in aufrecht sitzender Position
- Habituelle Interkuspitation in horizontal liegender Position
- Habituelle Interkuspitation in aufrecht stehender Position

2.6.1 Digitale Okklusionsanalyse: T-Scan ® III

Um eine einheitliche Analyse der habituellen Okklusion aller Probanden/-innen mittels T-Scan ® III System gewährleisten zu können, wurden die erstellten Okklusionsaufnahmen nach identischen Schemata und Procedere ausgewertet. Dieses wird im Folgenden beschrieben.

Für die Zuordnung der relativen Werte der Kaukraft jedes Zahnes im Zahnbogen muss vorab der Zeitpunkt des erreichten habituellen Schlussbisses detektiert werden. Dieser wurde im Zuge der Vergleichbarkeit der gewonnenen Daten als Zeitpunkt der höchsten relativen Kaukraft definiert. Lag die höchste gemessene Kaukraft mit identischem prozentuaalem Betrag mehr als einmal im Verlauf einer Okklusionsaufzeichnung vor, wurde dem ersten Auftreten der Vorzug gegeben.

Material, Methodik und Studienpopulation

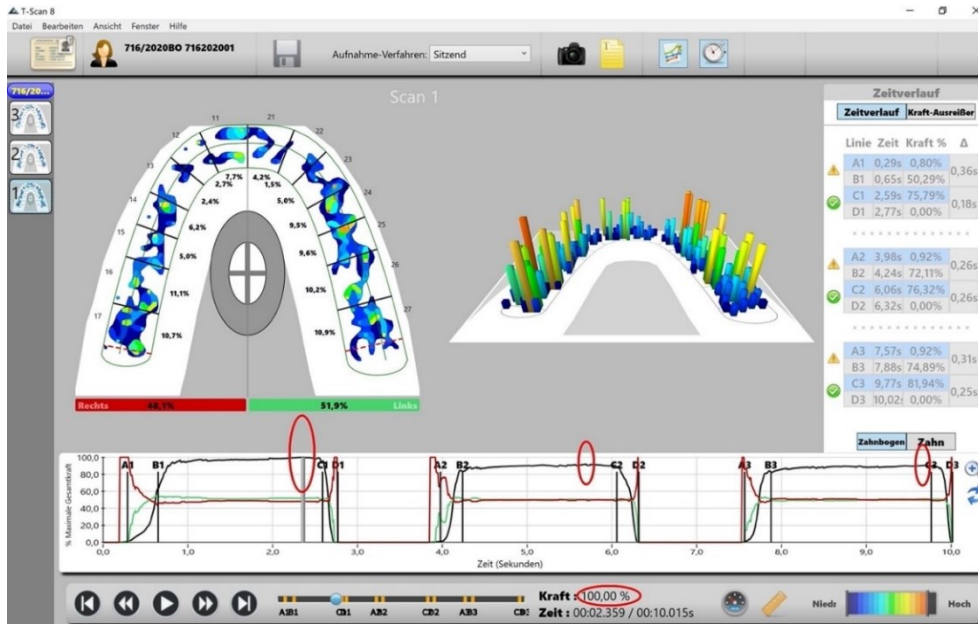


Abb. 15: Digitale Okklusionsanalyse mittels T-Scan ® III (drei Aufnahmen, sitzend gelagerter Proband/-in), Zeitpunkt der höchsten relativen Kaukraft pro Messung rot markiert



Abb. 16: Digitale Okklusionsanalyse mittels T-Scan ® III (drei Aufnahmen, sitzend gelagerter/-e Proband/-in), identisch hohe relative Werte der Kaukraft innerhalb dieser Messung, rot markiert

Dieses Procedere erfolgte für jede der angefertigten Aufnahmen in allen Lagerungspositionen. Die entsprechenden prozentualen Werte je Zahn wurden übertragen, innerhalb einer der Probandenpositionen arithmetisch gemittelt, aufsummiert und in Frontzähne (FZ), Seitenzähne (SZ), Prämolaren (PM) und Molaren (M) gruppiert. Zu den Frontzähnen wurden die Eckzähne, seitlichen Schneidezähne und mittleren Schneidezähne, zu den Seitenzähnen Prämolaren und Molaren gezählt.

2.6.2 Statistische Methoden

Die statistische Auswertung der Daten sowie eine Fallzahlschätzung vorab, erfolgte mittels Unterstützung des Instituts für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie der Universität Tübingen.

Mit Hilfe der statistischen Software SPSS (Version: SPSS Statistics 29, IBM, Armonk, New York, USA) erfolgte eine repeated measures analysis (ANOVA mit Messwiederholungen) der erhobenen Daten.

Die Innersubjektfaktoren stellten der zu betrachtende Zahnbogenbereich (Frontzähne (FZ) vs. Prämolaren (PM) vs. Molaren (M)) sowie die Position der Probanden/-innen (sitzend, liegend, stehend) dar.

Zusätzlich wurde die Studienpopulation gemäß dem kieferorthopädischen Screening in eine Gruppe mit idealer Okklusion und in eine Gruppe mit Abweichungen von dieser unterteilt. Als ideale Okklusion wurde das Fehlen sagittaler und/oder transversaler Abweichungen der Okklusion und die Ausprägung der kompletten Dentition (Zahn 17 – 27, 37 – 47) ohne das Fehlen eines oder mehrerer Zähne definiert. Probanden/-innen mit vorhandenen sagittalen Abweichungen wurden gemäß der Angle Klassen I, II oder III klassifiziert.

Material, Methodik und Studienpopulation

Bereich	Position	Abhängige Variable
FZ	Liegend	Liegend FZ gesamt
	Sitzend	Sitzend FZ gesamt
	Stehend	Stehend FZ gesamt
PM	Liegend	Liegend PM gesamt
	Sitzend	Sitzend PM gesamt
	Stehend	Stehend PM gesamt
M	Liegend	Liegend M gesamt
	Sitzend	Sitzend M gesamt
	Stehend	Stehend M gesamt

Tab. 2: Innersubjektfaktoren – Statistische Methodik

Die Unterschiede der verschiedenen Stufen vorliegender Innersubjektfaktoren wurde anhand folgender Testverfahren überprüft:

- Repeated measures analysis (ANOVA mit Messwiederholungen)
- Bonferroni-korrigierter post-hoc Test

Gemäß der in Abschnitt 1.2.1 definierten Nullhypothesen, sollen keine signifikanten Abweichungen der prozentualen Kaukraft im zu betrachtenden Zahnbogenbereich durch Positionsänderungen aufgezeigt werden. Als Signifikanzgrenze wurde 5 % festgelegt. Eine Unterteilung erfolgte gemäß:

- $p > 0,05$ nicht signifikant
- $p < 0,05$ signifikant
- $p \leq 0,001$ hochsignifikant

3 Ergebnisse

3.1 Charakteristik der Studienpopulation

Die Studienpopulation setzte sich aus 60 freiwilligen Probanden/-innen, davon 27 Frauen und 33 Männer zusammen. Gemäß definierter Ein- und Ausschlusskriterien wies jeder/jede Proband/-in eine als physiologisch bewertete dentale Situation und kraniofaziale Physiognomie auf. Ein männlicher Proband wurde aufgrund eines sagittalen und horizontal offenen Bisses im Frontzahnbereich in der Bewertung ausgeschlossen.

Die Anzahl der inkludierten und bewerteten Probanden/-innen betrug 59 Personen (durchschnittliches Alter $27,8 \pm 4,0$ Jahre), davon 27 weiblich (45,8 %, durchschnittliches Alter $27,8 \pm 4,0$ Jahre) und 32 männlich (54,2 %, durchschnittliches Alter $27,9 \pm 4,1$ Jahre). Die Gruppe „ideale Okklusion“ umfasste 35 Personen (59,3 %, davon 16 Frauen = 45,7 %, durchschnittliches Alter $27,9 \pm 4,0$ Jahre und 19 Männer = 54,3 %, durchschnittliches Alter $28,0 \pm 4,1$ Jahre). Eine sagittale Klasse I gemäß E. H. Angle wiesen 40 Personen (67,8 %, darunter 18 Frauen = 45,0 %, durchschnittliches Alter $27,4 \pm 3,6$ Jahre und 22 Männer = 55,0 %, durchschnittliches Alter $28,5 \pm 3,7$ Jahre) auf. Der Angle Klasse II wurden 14 Probanden/-innen (23,7 %, hiervon 6 Männer = 42,9 %, durchschnittliches Alter $26,3 \pm 2,4$ Jahre und 8 Frauen = 57,1 %, durchschnittliches Alter $26,2 \pm 2,6$ Jahre) zugerechnet. Eine Angle Klasse III zeigten 5 Studienteilnehmer/-innen (8,5 %, mit einer weiblichen Probandin = 20,0 %, Alter 21,3 Jahre und 4 männlichen Probanden = 80,0 %, durchschnittliches Alter $32,6 \pm 7,5$ Jahre) auf. Transversale Abweichungen im Sinne eines seitlichen Kreuzbisses stellten sich bei insgesamt 7 Studienteilnehmer/-innen (11,9 %, darunter 6 Männer = 85,7 %, durchschnittliches Alter $30,2 \pm 5,5$ Jahre und einer Frau = 14,3 %, Alter 21,4 Jahre) dar.

Ergebnisse

3.2 Kieferorthopädisches Screening

Zusätzlich erhobene kieferorthopädische Befunde im Rahmen der eingehenden intra- und extraoralen Untersuchung sowie des CMD-Kurzscreenings nach Ahlers und Jakstat sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Befundung	Gesamte Studienpopulation [n=59]	weiblich [n=27]	männlich [n=32]	Ideale Okklusion [n=35]	Abweichung ideale Okklusion [n=24]
Overjet (in mm)					
- Mittelwert (SD)	2,7 (±1,4)	2,9 (±1,2)	2,6 (±1,5)	2,4 (±0,9)	3,1 (±1,8)
Overbite (in mm)					
- Mittelwert (SD)	3,1 (±1,1)	3,1 (±1,1)	3,1 (±1,1)	3,1 (±1,1)	3,1 (±1,1)
Mundöffnung SKD (in mm)					
- Mittelwert (SD)	54,0 (±7,2)	51,1 (±5,7)	56,5 (±7,4)	54,7 (±6,4)	53,0 (±8,2)
MLV (in %)	40,68 [n=24]	33,33 [n=9]	46,88 [n=15]	37,14 [n=13]	45,83 [n=11]
Okklusion sagittal links					
- neutral (in %)	83,05 [n=46]	81,48 [n=22]	75,00 [n=24]	100,00 [n=35]	45,83 [n=11]
- distal (in %)	15,25 [n=9]	14,81 [n=4]	15,63 [n=5]	0,00 [n=0]	37,50 [n=9]
- mesial (in %)	6,77 [n=4]	3,70 [n=1]	9,38 [n=3]	0,00 [n=0]	16,67 [n=4]
Okklusion sagittal rechts					
- neutral (in %)	72,88 [n=43]	66,67 [n=18]	78,13 [n=25]	100,00 [n=35]	33,33 [n=8]
- distal (in %)	20,34 [n=12]	29,63 [n=8]	12,50 [n=4]	0,00 [n=0]	50,00 [n=12]
- mesial (in %)	6,78 [n=4]	3,70 [n=1]	9,38 [n=3]	0,00 [n=0]	16,67 [n=4]

Ergebnisse

Befundung	Gesamte Studienpopulation [n=59]	weiblich [n=27]	männlich [n=32]	Ideale Okklusion [n=35]	Abweichung ideale Okklusion [n=24]
Okklusion transversal					
- neutral (in %)	88,14 [n=52]	96,30 [n=26]	81,23 [n=26]	100,00 [n=35]	70,83 [n=17]
- seitlicher Kreuzbiss (in %)	11,86 [n=7]	3,70 [n=1]	18,75 [n=6]	0,00 [n=0]	29,17 [n=7]
Abweichende Zahnzahl (in %)					
- Gesamt	8,47 [n=5]	7,41 [n=2]	9,38 [n=3]	0,00 [n=0]	20,83 [n=5]
- PM fehlend	6,77 [n=4]	7,41 [n=2]	6,25 [n=2]	0,00 [n=0]	16,67 [n=4]
- FZ fehlend	1,69 [n=1]	0,00 [n=0]	3,13 [n=1]	0,00 [n=0]	4,17 [n=1]
Weisheitszähne in Okklusion (in %)	22,03 [n=13]	11,11 [n=3]	31,25 [n=10]	17,14 [n=6]	29,17 [n=7]
Anamnese KFO-Behandlung (in %)	72,88 [n=43]	74,07 [n=20]	71,88 [n=23]	65,71 [n=23]	83,33 [n=20]

Tab. 3: Ergebnisse kieferorthopädische Befunde, CMD-Screening Übersicht; Mittelwert, Standardabweichung (SD), Schneidekantendistanz (SKD), Mittellinienverschiebung (MLV)

Für die Betrachtung der gesamten Studienpopulation betrug der Overjet im Mittelwert 2,7 mm, der Overbite 3,1 mm und die maximale Mundöffnung, ermittelt an der Schneidekantendistanz, 54,0 mm. Eine Mittellinienverschiebung wiesen 40,68 % der Studienteilnehmer/-innen auf. Die sagittale Okklusion zeigte linksseitig bei 83,05 % eine Angle Klasse I, bei 15,25 % eine Angle Klasse II sowie bei 6,77 % eine Angle Klasse III. Die Ergebnisse in der Sagittalen rechtsseitig stellten sich mit 72,88 % in neutraler Okklusion, 20,34 % in distaler Okklusion und 6,78 % in mesialer Okklusion dar. Bei 88,14 % der Studienteilnehmer/-innen wurde eine neutrale transversale Verzahnung

Ergebnisse

beobachtet, ein seitlicher posteriorer Kreuzbiss einzelner oder mehrerer Zähne bei 11,86 %. Keiner der Probanden/-innen wies einen anterioren Kreuzbiss auf. Eine vollständige Dentition zeigten 91,53 % der Probanden/-innen, eine abweichende Zahnanzahl 8,47 %. Bei 6,77 % fehlten aufgrund von Nichtanlagen oder einer Extraktion im Rahmen kieferorthopädischer Indikation einer oder mehrere Prämolaren, bei einem Probanden ein Frontzahn. In allen dieser Fälle wurde ein erfolgter kieferorthopädischer Lückenschluss befundet. Unversorgte Schatlücken oder verkürzte Zahnreihen konnten nicht beobachtet werden. In Okklusion stehende Weisheitszähne waren bei 22,03 % in situ. Anamnestisch gaben 72,88 % der inkludierten Probanden/-innen an, eine abgeschlossene kieferorthopädische Behandlung erhalten zu haben.

Die differenzierte Betrachtung der mittelwertigen Befunde bei vorliegender „idealer Okklusion“ zeigte im Mittelwert einen Overjet von 2,4 mm, einen Overbite von 3,1 mm und eine SKD von 54,7 mm. Eine Mittellinienverschiebung konnte bei 37,14 % der Studienteilnehmer/-innen ermittelt werden. Okkludierende Weisheitszähne stellten sich bei 17,15 % sowie abgeschlossene kieferorthopädische Maßnahmen bei 65,74 % dar.

Vergleichend stellten sich die ermittelten Werte bei Probanden/-innen mit Abweichungen von der „idealen Okklusion“ mit einem Overjet von 3,1 mm, einem Overbite von 3,1 mm, sowie einer SKD von 53,0 mm dar. Eine Mittellinienverschiebung konnte bei 45,83 % in dieser Gruppe befundet werden. Die sagittale Okklusion zeigte linksseitig bei 45,83 % eine Angle Klasse I, bei 37,50 % eine Angle Klasse II, sowie bei 16,67 % eine Angle Klasse III Verzahnung. Rechtsseitig stellten sich in der Sagittalen die Ergebnisse mit 33,33 % in neutraler Okklusion, 50,00 % in distaler Okklusion und 16,67 % in mesialer Okklusion dar. Eine neutrale transversale Okklusion wurde bei 70,83 % der Studienteilnehmer/-innen mit Abweichungen von der „idealen Okklusion“ beobachtet, ein posteriorer Kreuzbiss einzelner oder gruppierter Zähne bei 29,17 %. Eine abweichende Zahnanzahl zeigte sich bei 20,83 %. Bei 16,67 % der Probanden/-innen fehlten einer oder mehrere Prämolaren, bei 4,17 % ein Frontzahn. Okkludierende Weisheitszähne wurden hier bei 29,17 % befundet.

Ergebnisse

Anamnestisch wurde von 83,33 % der Studienteilnehmer/-innen eine abgeschlossene kieferorthopädische Behandlung angegeben.

Die weitere Differenzierung der kieferorthopädischen Befunde nach Angle in die Klassen I, II und III gehen aus Tabelle 4 hervor.

Befundung	Angle Klasse I [n=40]	Angle Klasse II [n=14]	Angle Klasse III [n=5]
Overjet (in mm)			
- Mittelwert (SD)	2,4 (±0,9)	3,8 (±1,9)	2,6 (±1,2)
Overbite (in mm)			
- Mittelwert (SD)	3,0 (±1,0)	3,4 (±1,1)	3,4 (+-0,8)
Mundöffnung SKD (in mm)			
- Mittelwert (SD)	54,8 (±7,1)	52,2 (±7,9)	52,8 (±4,8)
MLV (in %)	37,50 [n=15]	35,71 [n=5]	80,00 [n=4]
Abweichende Zahnzahl (in %)			
- Gesamt	2,50 [n=1]	14,29 [n=2]	40,00 [n=2]
- PM fehlend	2,50 [n=1]	7,14 [n=1]	40,00 [n=2]
- FZ fehlend	0,00 [n=0]	7,14 [n=1]	0,00 [n=0]
Weisheitszähne in Okklusion (in %)	20,00 [n=8]	28,57 [n=4]	20,00 [n=1]
Anamnestisch kieferorthopädische Behandlung (in %)	70,00 [n=28]	78,57 [n=11]	80,00 [n=4]

Tab. 4: Differenzierung der kieferorthopädischen Befunde, CMD-Screening nach vorliegender Angle Klassifikation

Der Overjet stellte sich bei vorliegender Angle Klasse II mit 3,8 mm gegenüber Probanden/-innen mit Angle Klasse I mit 2,4 mm erhöht dar. Probanden/-innen mit Angle Klasse III wiesen ebenfalls einen erhöhten Overjet (2,6 mm) gegenüber denen mit Angle Klasse I Verzahnung auf. Der mittelwertige Overbite war bei Probanden/-innen mit Angle Klasse II am größten (3,4 mm), gefolgt von denen mit Angle Klasse III (3,4 mm) und denen mit Angle Klasse I (3,0 mm). Die SKD bei maximaler Mundöffnung betrug für die Angle Klasse I-Probanden/-innen 54,8 mm, gefolgt von Angle Klasse II-Probanden/-innen mit 52,2 mm und

Ergebnisse

Angle Klasse III-Probanden/-innen mit 52,8 mm. Bei 2,50 %, welche der Angle Klasse I zugerechnet wurden, fehlten zwei Prämolaren, bei jeweils einem (7,14 %) der Angle Klasse II-Probanden ein Frontzahn und ein Prämolare sowie bei 40,00 % der Probanden/-innen mit vorliegender Angle Klasse III Verzahnung ebenfalls ein Prämolare. Okkludierende Weisheitszähne wiesen sowohl die Probanden/-innen mit Angle Klasse I (20,00 %), als auch die mit Angle Klasse II (28,57 %) und Angle Klasse III (20,00 %) auf. Eine abgeschlossene kieferorthopädische Behandlung wurde anamnestisch bei 70,00 % der Angle Klasse I-, bei 78,57 % der Angle Klasse II- und bei 80,00 % der Angle Klasse III-verzahnnten Studienteilnehmer/-innen angegeben.

3.3 T-Scan ® III: Bereich-Position – deskriptiv

Die Ergebnisse der digitalen Okklusionsanalyse mittels T-Scan ® III und der relativen Kaukraftverteilung in den betrachteten Bereichen (Frontzähne, Seitenzähne, Prämolaren und Molaren) werden in Tabelle 5 dargestellt.

Bereich	Position	Gesamt [n=59]	Weiblich [n=27]	Männlich [n=32]	Ideale Okklusion [n=35]	Angle Klasse I [n=40]	Angle Klasse II [n=14]	Angle Klasse III [n=5]
Gesamt (FZ+PM +M) (Mittelwerte in %)	Sitzend	97,72	97,21	98,16	97,93	98,05	96,33	99,02
	Liegend	97,69	97,08	98,21	97,68	97,84	96,86	98,87
	Stehend	97,43	97,38	97,47	97,83	97,99	95,67	97,87
FZ (Mittelwerte in %)	Sitzend	21,76	23,37	20,40	21,98	22,04	21,49	20,25
	Liegend	19,71	20,38	19,15	19,63	19,76	18,91	21,52
	Stehend	20,61	22,27	19,21	20,46	20,74	19,73	22,06

Ergebnisse

Bereich	Position	Gesamt [n=59]	Weib- lich [n=27]	Männ- lich [n=32]	Ideale Okklu- sion [n=35]	Angle Klas- se I [n=40]	Angle Klas- se II [n=14]	Angle Klas- se III [n=5]
SZ (PM+M) (Mittel- werte in %)	Sitzend	75,96	73,84	77,75	75,94	76,01	74,84	78,77
	Liegend	77,98	76,70	79,97	78,05	78,08	77,94	77,35
	Stehend	76,81	75,11	78,26	77,37	77,25	75,94	75,81
PM (Mittel- werte in %)	Sitzend	24,77	23,36	25,96	24,93	24,67	23,46	29,20
	Liegend	25,09	23,62	26,34	25,28	25,46	23,43	26,83
	Stehend	24,75	23,31	25,96	25,25	25,08	22,76	27,65
M (Mittel- werte in %)	Sitzend	51,19	50,49	51,79	51,01	51,34	51,37	49,57
	Liegend	52,89	53,08	52,73	52,77	52,62	54,52	50,52
	Stehend	52,07	51,80	52,29	52,12	52,17	53,18	48,16

Tab. 5: Verteilung der relativen Kaukraft nach Betrachtungsbereich (Gesamt, FZ, PM, M) bei unterschiedlicher Positionierung der Probanden/-innen, Mittelwerte in %

Die mittlere Gesamtkaukraft zeigte unter Positionsänderungen geringfügige Abweichungen. Für die gesamte Studienpopulation betrug diese im Sitzen 97,72 %, im Liegen 97,69 % und stehend 97,43 %. Bei Betrachtung der Probanden/-innen mit einer „idealen Okklusion“ (sitzend = 97,93 %, liegend = 97,68 %, stehend = 97,83 %) sowie der Probanden/-innen mit einer sagittalen Angle Klasse I (sitzend = 98,05 %, liegend = 97,84 %, stehend = 97,99 %), stellten sich die Werte ebenfalls nur geringfügig abweichend dar. Differenzen zeigten sich bei vorliegender Angle Klasse II, welche die größte Gesamtkaukraft im Liegen (96,86 %), im Sitzen (96,33 %) und die geringste im Stehen (95,67 %) aufwies. Die Studienteilnehmer/-innen mit vorliegender Angle Klasse III zeigten

Ergebnisse

im Sitzen eine Gesamtkaukraft von 99,02 %, gefolgt von der liegenden Position 98,97 %, sowie 97,87 % im Stehen.

Im Frontzahnggebiet gemessene relative Kaukräfte stellten sich für die gesamte Studienpopulation im Liegen (19,71 %) geringfügiger als im Stehen (20,61 %) und als im Sitzen (21,76 %) dar. Analog zeigten sich auch in der differenzierten Okklusionsanalyse der Probanden/-innen mit „idealer Okklusion“, Angle Klasse I und Angle Klasse II Verzahnung geringere Kräfte im FZ-Bereich liegend und höhere Kräfte sitzend. Eine bestehende Angle Klasse III zeigte im Stehen (22,06 %) und im Liegen (21,52 %) höher wirkende Kaukräfte als im Sitzen (20,25 %).

Der Seitenzahnbereich wies für die gesamte Studienpopulation in liegender Position erhöhte mittlere Ergebnisse (77,98 %), gegenüber der sitzenden (75,96 %) und stehenden (76,81 %) Messung auf. Die Betrachtung der Gruppen mit idealer Okklusion, Angle Klasse I und Angle Klasse II zeigte ebenfalls stärker wirkende Kaukräfte des Seitenzahnbereiches im Liegen, gefolgt von der stehenden Positionierung sowie schwächer wirkende Kräfte im Sitzen. Die sagittale Klasse III zeigte für den SZ-Bereich reduzierte Kräfte in stehender (75,81 %) und liegender (77,35 %) Probandenlagerung sowie stärkere Kaukräfte in sitzender (78,77 %) Positionierung auf.

Bei Differenzierung des Seitenzahnggebietes in Prämolaren und Molaren zeigten sich für die Prämolaren bei Betrachtung der gesamten Studienpopulation, der Probanden/-innen mit idealer Okklusion, Angle Klasse I und II Verzahnung nur geringfügige Abweichungen der wirkenden Kaukräfte. Die Kräfte wiesen sitzend (24,77 %), liegend (25,09 %) und stehend (24,75 %) annähernd identische Werte für die gesamte Studienpopulation auf. Bei einer vorliegenden Angle Klasse III zeigten sich erhöhte Werte der wirkenden Kaukraft im Sitzen (29,20 %), Stehen (27,65 %) und geringere Kräfte im Liegen (26,83 %).

Die Molaren erfuhren bei sitzenden Probanden/-innen eine mittlere Krafteinwirkung von 51,19 %, stehend 52,07 % und liegend 52,89 % für die gesamten Studienpopulation. Die wirkenden Kräfte waren ebenfalls bei Studienteilnehmer/-innen mit „idealer Okklusion“, Angle Klasse I und II im Liegen

Ergebnisse

am größten und sitzend am schwächsten. Schwächere Kaukräfte zeigte die Angle Klasse III in stehender (48,16 %) gegenüber sitzender (49,57 %) und liegender (50,52 %) Lagerung auf.

3.4 T-Scan ® III: singuläre Betrachtung der okkludierenden Zähne

Die weiter differenzierte, singuläre Betrachtung der auf die einzelnen Zähne des Oberkiefers wirkenden relativen Kaukraft mittels T-Scan ® III wird in Tabelle 6 aufgeführt.

		Gesamte Studienpopulation [n=59]	Weiblich [n=27]	Männlich [n=32]
Position	Zahn	Mittelwert Kraft (in %)	Mittelwert Kraft (in %)	Mittelwert Kraft (in %)
Sitzend	18	1,96 [n=10]	0,08 [n=2]	2,43 [n=8]
	17	10,23 [n=59]	10,22 [n=27]	10,24 [n=32]
	16	14,35 [n=59]	13,95 [n=27]	14,69 [n=32]
	15	6,53 [n=58]	6,02 [n=26]	6,94 [n=32]
	14	6,29 [n=59]	5,84 [n=27]	6,67 [n=32]
	13	4,77 [n=59]	4,94 [n=27]	4,63 [n=32]
	12	2,11 [n=58]	2,55 [n=27]	1,74 [n=31]
	11	4,11 [n=59]	4,09 [n=27]	4,13 [n=32]
	21	4,72 [n=59]	4,94 [n=27]	4,54 [n=32]
	22	2,01 [n=59]	2,08 [n=27]	1,96 [n=32]
	23	4,07 [n=59]	4,78 [n=27]	3,47 [n=32]
	24	6,05 [n=58]	5,90 [n=27]	6,17 [n=31]
	25	6,22 [n=58]	6,04 [n=26]	6,37 [n=32]
	26	14,12 [n=59]	14,82 [n=27]	13,52 [n=32]
	27	11,77 [n=59]	11,15 [n=27]	12,29 [n=32]
28	2,13 [n=11]	3,13 [n=3]	1,75 [n=8]	
Liegend	18	2,74 [n=10]	0,07 [n=2]	3,40 [n=8]
	17	10,18 [n=59]	10,74 [n=27]	9,71 [n=32]
	16	15,09 [n=59]	14,54 [n=27]	15,56 [n=32]
	15	6,83 [n=58]	6,57 [n=26]	7,04 [n=32]

Ergebnisse

		Gesamte Studienpopulation [n=59]	Weiblich [n=27]	Männlich [n=32]
Position	Zahn	Mittelwert Kraft (in %)	Mittelwert Kraft (in %)	Mittelwert Kraft (in %)
Liegend	14	6,56 [n=59]	5,99 [n=27]	7,04 [n=32]
	13	4,36 [n=59]	4,40 [n=27]	4,32 [n=32]
	12	1,83 [n=58]	1,89 [n=27]	1,79 [n=31]
	11	3,66 [n=59]	3,72 [n=27]	3,61 [n=32]
	21	4,50 [n=59]	4,81 [n=27]	4,24 [n=32]
	22	1,99 [n=59]	1,93 [n=27]	2,03 [n=32]
	23	3,40 [n=59]	3,63 [n=27]	3,21 [n=32]
	24	5,89 [n=58]	5,58 [n=27]	6,16 [n=31]
	25	6,13 [n=58]	5,94 [n=26]	6,28 [n=32]
	26	14,56 [n=59]	15,50 [n=27]	13,77 [n=32]
	27	12,10 [n=59]	11,94 [n=27]	12,23 [n=32]
	28	2,65 [n=11]	3,24 [n=3]	2,43 [n=8]
Stehend	18	2,88 [n=10]	1,98 [n=2]	3,10 [n=8]
	17	10,33 [n=59]	10,10 [n=27]	10,52 [n=32]
	16	14,68 [n=59]	14,62 [n=27]	14,72 [n=32]
	15	6,65 [n=58]	6,57 [n=26]	6,71 [n=32]
	14	6,22 [n=59]	5,76 [n=27]	6,61 [n=32]
	13	4,17 [n=59]	4,29 [n=27]	4,08 [n=32]
	12	1,89 [n=58]	2,19 [n=27]	1,63 [n=31]
	11	4,34 [n=59]	4,89 [n=27]	3,88 [n=32]
	21	4,71 [n=59]	5,43 [n=27]	4,11 [n=32]
	22	1,88 [n=59]	1,83 [n=27]	1,92 [n=32]
	23	3,65 [n=59]	3,65 [n=27]	3,65 [n=32]
	24	5,86 [n=58]	5,51 [n=27]	6,17 [n=31]
	25	6,33 [n=58]	5,93 [n=26]	6,66 [n=32]
	26	13,80 [n=59]	14,66 [n=27]	13,07 [n=32]
	27	12,34 [n=59]	12,03 [n=27]	12,59 [n=32]
	28	2,34 [n=11]	2,09 [n=3]	2,44 [n=8]

Tab. 6: Verteilung der relativen Kaukraft: singuläre Betrachtung einzelner Zähne im OK bei unterschiedlicher Positionierung der Probanden/-innen für die gesamte Studienpopulation, weibliche und männliche Studienteilnehmer/-innen

Ergebnisse

Die stärksten Kräfte traten, in absteigender Reihenfolge, an den Molaren Zahn 16, 26 und Zahn 17, 27 auf, gefolgt von den Prämolaren Zahn 15, 25 sowie Zahn 14, 24. Die geringste Krafteinwirkung erfuhren die seitlichen Inzisiven Zahn 12 und Zahn 22. Die Weisheitszähne Zahn 18 und Zahn 28 wurden aufgrund des geringen Vorkommens (22,03%, Zahn 18 n=10, Zahn 28 n=11) im betrachteten Studienkollektiv nicht berücksichtigt.

Die Verteilung der singulären relativen Kaukräfte für die Gruppe der „idealen Okklusion“, Angle Klasse I, Angle Klasse II, Angle Klasse III und eines posterioren Kreuzbisses wird in Tabelle 7 aufgeführt.

		„Ideale Okklusion“ [n=35]	Angle Klasse I [n=40]	Angle Klasse II [n=14]	Angle Klasse III [n=5]	Kreuzbiss (posterior) [n=7]
Posi- tion	Zahn	Mittelwert Kraft (in %)	Mittelwert Kraft (in %)	Mittelwert Kraft (in %)	Mittelwert Kraft (in %)	Mittelwert Kraft (in %)
Sitzend	18	3,74 [n=4]	2,49 [n=6]	1,15 [n=4]	[n=0]	1,11 [n=4]
	17	10,24 [n=35]	10,12 [n=40]	10,79 [n=14]	9,51 [n=5]	9,86 [n=7]
	16	14,44 [n=35]	14,42 [n=40]	14,33 [n=14]	13,85 [n=5]	14,00 [n=7]
	15	6,36 [n=35]	6,37 [n=39]	6,26 [n=14]	8,51 [n=5]	6,94 [n=7]
	14	6,50 [n=35]	6,44 [n=40]	5,90 [n=14]	6,19 [n=5]	6,36 [n=7]
	13	4,73 [n=35]	4,92 [n=40]	4,65 [n=14]	3,95 [n=5]	4,40 [n=7]
	12	2,22 [n=35]	2,14 [n=49]	2,29 [n=13]	1,41 [n=5]	1,27 [n=6]
	11	4,40 [n=35]	4,24 [n=40]	4,16 [n=14]	2,90 [n=5]	2,81 [n=7]
	21	4,48 [n=35]	4,27 [n=40]	5,91 [n=14]	4,99 [n=5]	3,50 [n=7]
	22	2,06 [n=35]	2,05 [n=40]	1,69 [n=14]	2,62 [n=5]	2,09 [n=7]
	23	4,10 [n=35]	4,43 [n=40]	2,94 [n=14]	4,37 [n=5]	5,19 [n=5]
	24	6,03 [n=35]	6,12 [n=40]	5,26 [n=13]	7,50 [n=5]	7,77 [n=7]
	25	6,04 [n=35]	6,05 [n=39]	6,42 [n=14]	7,00 [n=5]	5,69 [n=7]
	26	13,97 [n=35]	14,60 [n=40]	13,08 [n=14]	13,19 [n=5]	15,14 [n=7]
	27	11,63 [n=35]	11,53 [n=40]	11,99 [n=14]	13,02 [n=5]	12,59 [n=7]
	28	2,11 [n=5]	1,89 [n=6]	3,02 [n=4]	0,00 [n=1]	1,17 [n=3]
Liegend	18	4,26 [n=4]	3,35 [n=6]	1,82 [n=4]	[n=0]	2,55 [n=4]
	17	10,52 [n=35]	10,32 [n=40]	10,05 [n=14]	9,45 [n=5]	8,71 [n=7]
	16	14,87 [n=35]	14,54 [n=40]	16,98 [n=14]	14,23 [n=5]	14,58 [n=7]

Ergebnisse

		„Ideale Okklusion“ [n=35]	Angle Klasse I [n=40]	Angle Klasse II [n=14]	Angle Klasse III [n=5]	Kreuzbiss (posterior) [n=7]
Posi- tion	Zahn	Mittelwert Kraft (in %)	Mittelwert Kraft (in %)	Mittelwert Kraft (in %)	Mittelwert Kraft (in %)	Mittelwert Kraft (in %)
Liegend	15	6,65 [n=35]	6,86 [n=39]	6,54 [n=14]	7,36 [n=5]	8,22 [n=7]
	14	6,62 [n=35]	6,63 [n=40]	6,27 [n=14]	6,79 [n=5]	7,10 [n=7]
	13	4,32 [n=35]	4,40 [n=40]	4,35 [n=14]	4,07 [n=5]	3,98 [n=7]
	12	1,91 [n=35]	1,86 [n=49]	1,84 [n=13]	1,58 [n=5]	1,18 [n=6]
	11	3,73 [n=35]	3,68 [n=40]	3,43 [n=14]	4,16 [n=5]	3,35 [n=7]
	21	4,13 [n=35]	4,04 [n=40]	5,32 [n=14]	5,90 [n=5]	3,97 [n=7]
	22	2,24 [n=35]	2,18 [n=40]	1,44 [n=14]	1,96 [n=5]	1,67 [n=7]
	23	3,30 [n=35]	3,60 [n=40]	2,67 [n=14]	3,85 [n=5]	4,05 [n=5]
	24	5,98 [n=35]	6,16 [n=40]	5,01 [n=13]	6,09 [n=5]	7,20 [n=7]
	25	6,03 [n=35]	6,13 [n=39]	5,96 [n=14]	6,59 [n=5]	6,09 [n=7]
	26	14,61 [n=35]	14,86 [n=40]	13,57 [n=14]	14,97 [n=5]	13,72 [n=7]
	27	11,98 [n=35]	12,07 [n=40]	12,26 [n=14]	11,87 [n=5]	12,31 [n=7]
	28	2,14 [n=5]	2,23 [n=6]	3,96 [n=4]	0,00 [n=1]	2,92 [n=3]
Ste- hend	18	3,83 [n=4]	3,44 [n=6]	2,03 [n=4]	[n=0]	2,38 [n=4]
	17	10,18 [n=35]	10,14 [n=40]	11,12 [n=14]	9,59 [n=5]	9,72 [n=7]
	16	14,91 [n=35]	14,72 [n=40]	14,95 [n=14]	13,61 [n=5]	13,70 [n=7]
	15	6,55 [n=35]	6,56 [n=39]	6,64 [n=14]	7,39 [n=5]	6,85 [n=7]
	14	6,38 [n=35]	6,37 [n=40]	5,79 [n=14]	6,23 [n=5]	6,37 [n=7]
	13	4,16 [n=35]	4,26 [n=40]	3,84 [n=14]	4,40 [n=5]	4,16 [n=7]
	12	1,85 [n=35]	1,85 [n=49]	2,16 [n=13]	1,49 [n=5]	1,36 [n=6]
	11	4,32 [n=35]	4,33 [n=40]	4,55 [n=14]	3,87 [n=5]	3,83 [n=7]
	21	4,66 [n=35]	4,47 [n=40]	4,96 [n=14]	5,97 [n=5]	3,67 [n=7]
	22	1,99 [n=35]	2,01 [n=40]	1,55 [n=14]	1,74 [n=5]	1,80 [n=7]
	23	3,48 [n=35]	3,82 [n=40]	2,83 [n=14]	4,60 [n=5]	5,18 [n=5]
	24	6,01 [n=35]	6,04 [n=40]	4,88 [n=13]	6,99 [n=5]	6,80 [n=7]
	25	6,31 [n=35]	6,43 [n=39]	5,80 [n=14]	7,05 [n=5]	6,76 [n=7]
26	14,04 [n=35]	14,27 [n=40]	12,95 [n=14]	12,41 [n=5]	12,17 [n=7]	
27	12,14 [n=35]	12,12 [n=40]	12,87 [n=14]	12,55 [n=5]	13,78 [n=7]	
28	2,87 [n=5]	2,65 [n=6]	2,47 [n=4]	0,00 [n=1]	1,71 [n=3]	

Tab. 7: Verteilung der relativen Kaukraft: singuläre Betrachtung einzelner Zähne im Oberkiefer bei unterschiedlicher Positionierung der Probanden/-innen bei einer vorliegenden Angle Klasse I, II und III oder einem posterioren Kreuzbiss

Ergebnisse

3.5 Statistische Bewertung

Deskriptiv stellte sich die relative Kaukraft im Bereich der Molaren deutlich größer als in den ebenfalls betrachteten Bereichen der Prämolaren und Frontzähne dar. Die Prämolaren wiesen höhere Werte als die Frontzähne auf.

Bei der Betrachtung der Molaren zeigte sich die höchste Kraftereinwirkung im Liegen ($M = 52,89 \%$, $SD = 9,20 \%$), gefolgt vom Stehen ($M = 52,07 \%$, $SD = 8,85 \%$) und Sitzen ($M = 51,19 \%$, $SD = 11,39 \%$). Auch die Prämolaren zeigten eine etwas höhere Kaukraft im Liegen ($M = 25,09 \%$, $SD = 5,77 \%$), als im Sitzen ($M = 24,77 \%$, $SD = 6,30 \%$) und Stehen ($M = 24,75 \%$, $SD = 6,36 \%$). Die im Frontzahnbereich wirkende Kaukraft stellte sich in liegender Position am wenigsten ausgeprägt ($M = 19,71 \%$, $SD = 8,33 \%$) dar. Initial stärkere Kräfte wurden hier im Stehen ($M = 20,61 \%$, $SD = 7,78 \%$) und im Sitzen ($M = 21,76 \%$, $SD = 11,41 \%$) registriert (siehe Tabelle 8).

Stufe der Innersubjektfaktoren	Mittelwert [n=59] (in %)	Standardabweichung [n=59] (in %)
Liegend FZ gesamt	19,71	8,33
Sitzend FZ gesamt	21,76	11,41
Stehend FZ gesamt	20,61	7,78
Liegend PM gesamt	25,09	5,77
Sitzend PM gesamt	24,77	6,30
Stehend PM gesamt	24,75	6,36
Liegend M gesamt	52,89	9,20
Sitzend M gesamt	51,19	11,39
Stehend M gesamt	52,07	8,85

Tab. 8: Deskriptive Statistik gesamte Studienpopulation; Frontzähne (FZ), Prämolaren (PM), Molaren (M)

Ergebnisse

Im folgenden Repeated-Measures-ANOVA-Design wurde Sphärizität angenommen. Eine ANOVA mit Messwiederholung ohne Korrektur zeigte signifikant unterschiedliche relative Kaukräfte in den betrachteten Bereichen ($F(2,00) = 179,97$; $p < 0,001$; partielles Eta-Quadrat = 0,756). Die gemessenen Kaukräfte unterschieden sich nicht signifikant nach betrachteter Position ($F(2,00) = 0,957$; $p = 0,387$; partielles Eta-Quadrat = 0,016).

Es stellte sich eine Interaktion des betrachteten Bereiches und der Probandenposition dar, ($F(4,00) = 2,42$; $p = 0,049$; partielles Eta-Quadrat = 0,040) sodass eine nähere Differenzierung, in welchen Umfang sich die Position auf die betrachteten Bereiche auswirkt, bzw. der Unterschiede zwischen den Okklusionsarealen nach Position, erfolgen muss.

Die Testung der Innersubjektkontraste veranschaulichte sowohl eine lineare ($F(1,00) = 206,839$; $p < 0,001$; partielles Eta-Quadrat = 0,781), als auch eine quadratische Komponente ($F(1,00) = 104,421$; $p < 0,001$; partielles Eta- = 0,643) des Anstieges der Kaukräfte. Die Kaukräfte stiegen über die Bereiche Frontzähne, Prämolaren zu den Molaren in aufsteigender Reihenfolge, mit schwächerer Ausprägung zwischen den Frontzähnen und Prämolaren als zwischen den Prämolaren und Molaren (quadratische Komponente) an.

Für die ermittelten Kräfte bei Betrachtung der Positionen liegend, sitzend und stehend zeigten sich keine linearen ($F(1,00) = 1,000$; $p = 0,321$; partielles Eta-Quadrat = 0,017) oder quadratischen Anstiege ($F(1,00) = 0,881$; $p = 0,352$; partielles Eta-Quadrat = 0,015). In der wechselwirkenden Betrachtung des Bereiches und der Positionierung zeigten sich initial lineare Anstiege der erfassten Werte, jedoch ohne Signifikanz (linear-linear: $F(1,00) = 3,125$; $p = 0,082$; partielles Eta-Quadrat = 0,051 und linear-quadratisch: $F(1,00) = 2,895$; $p = 0,094$; partielles Eta-Quadrat = 0,048), siehe Tabelle 9.

Ergebnisse

Position	Be- reich	Be- reich	Mittelwert- differenz	Std.- Fehler	p-Wert	95 % Konfidenz- intervall Untergrenze	95 % Konfidenz- intervall Obergrenze
Liegend	FZ	PM	-5,385	1,418	0,001*	-8,880	-1,890
	FZ	M	-33,179	2,149	<0,001*	-38,476	-27,882
	PM	FZ	5,385	1,418	0,001*	1,890	8,880
	PM	M	-27,794	1,659	<0,001*	-31,884	-23,705
	M	FZ	33,179	2,149	<0,001*	27,882	38,476
	M	PM	27,794	1,659	<0,001*	23,705	31,884
Sitzend	FZ	PM	-3,007	1,926	0,372	-7,756	-1,741
	FZ	M	-29,434	2,838	<0,001*	-36,430	-22,439
	PM	FZ	3,007	1,926	0,372	-1,741	-7,756
	PM	M	-26,427	1,828	<0,001*	-30,934	-21,920
	M	FZ	29,434	2,838	<0,001*	22,439	36,430
	M	PM	26,427	1,828	<0,001*	21,920	30,934
Stehend	FZ	PM	-4,136	1,474	0,020*	-7,770	-0,503
	FZ	M	-31,454	1,995	<0,001*	-36,373	-26,535
	PM	FZ	4,136	1,474	0,020*	0,503	7,770
	PM	M	-27,318	1,681	<0,001*	-31,461	-23,174
	M	FZ	31,454	1,995	<0,001*	26,535	36,373
	M	PM	27,318	1,681	<0,001*	23,174	31,461

Tab. 9: Paarweise Vergleiche Bereich*Position (Bereichseffekte innerhalb der Position).
Abkürzungen: Std.=Standard

Ein Bonferroni-korrigierter post-hoc Test zeigte hochsignifikante Unterschiede der wirkenden Kaukräfte in den betrachtenden Bereichen (Frontzähne=FZ, Prämolaren=PM, Molaren=M) in liegender Positionierung (FZ und PM: Mittelwertdifferenz = 5,385; $p = 0,001$ sowie PM und M: Mittelwertdifferenz = 27,794; $p = <0,001$). Im Sitzen zeigte der Vergleich von Frontzähnen und Prämolaren keine signifikanten Unterschiede der wirkenden Kaukräfte (Mittelwertdifferenz = 3,007; $p = 0,372$). Im Stehen fiel der Vergleich signifikant (Mittelwertdifferenz = 4,136, $p = 0,020$) aus (siehe Tabelle 10).

Ergebnisse

Be- reich	Position	Position	Mittel- wert- dif- ferenz	Std.- Fehler	p-Wert	95 % Konfidenz- intervall Untergrenze	95 % Konfidenz- intervall Obergrenze
FZ	Liegend	Sitzend	-2,051	0,952	0,106	-4,398	0,297
	Liegend	Stehend	-0,903	0,530	0,282	-2,210	0,404
	Sitzend	Liegend	2,051	,952	0,106	-0,297	4,398
	Sitzend	Stehend	1,148	1,061	0,851	-1,467	3,763
	Stehend	Liegend	0,903	0,530	0,282	-0,404	2,210
	Stehend	Sitzend	-1,148	1,061	0,851	-3,763	1,467
PM	Liegend	Sitzend	0,327	0,422	1,000	-0,714	1,367
	Liegend	Stehend	0,346	0,418	1,000	-0,685	1,376
	Sitzend	Liegend	-0,327	0,422	1,000	-1,367	0,714
	Sitzend	Stehend	0,019	0,527	1,000	-1,279	1,317
	Stehend	Liegend	-0,346	0,418	1,000	-1,376	0,685
	Stehend	Sitzend	-0,019	0,527	1,000	-1,317	1,279
M	Liegend	Sitzend	1,694	0,814	0,126	-0,314	3,701
	Liegend	Stehend	0,823	0,537	0,393	-0,501	2,146
	Sitzend	Liegend	-1,694	0,814	0,126	-3,701	0,314
	Sitzend	Stehend	-0,871	0,793	0,829	-2,825	1,083
	Stehend	Liegend	-0,823	0,537	0,393	-2,146	0,501
	Stehend	Sitzend	0,871	0,793	0,829	-1,083	2,825

Tab. 10: Paarweise Vergleiche Bereich*Position (Positionseffekte innerhalb des Bereiches)

Der Bonferroni-korrigierte post-hoc Test für den Vergleich der Kaukraft im betrachteten Bereich (FZ, PM, M) bei wechselnder Positionierung der Studienteilnehmer/-innen (sitzend, liegend, stehend) zeigte keine signifikanten Unterschiede. Im Frontzahnbereich konnten initial stärkere Werte der relativen Kaukraft in sitzender Position gegenüber liegender Positionierung detektiert werden, jedoch ohne Signifikanz (Mittelwertdifferenz = 2,051; $p = 0,106$). Abgeschwächte Hinweise auf eine Korrelation der Probandenlagerung mit einer stärker wirkenden Kraft im Molarenbereich bei liegender, gegenüber der sitzenden Positionierung liegen ebenfalls ohne Signifikanz vor (Mittelwertdifferenz = 1,694; $p = 0,126$).

Ergebnisse

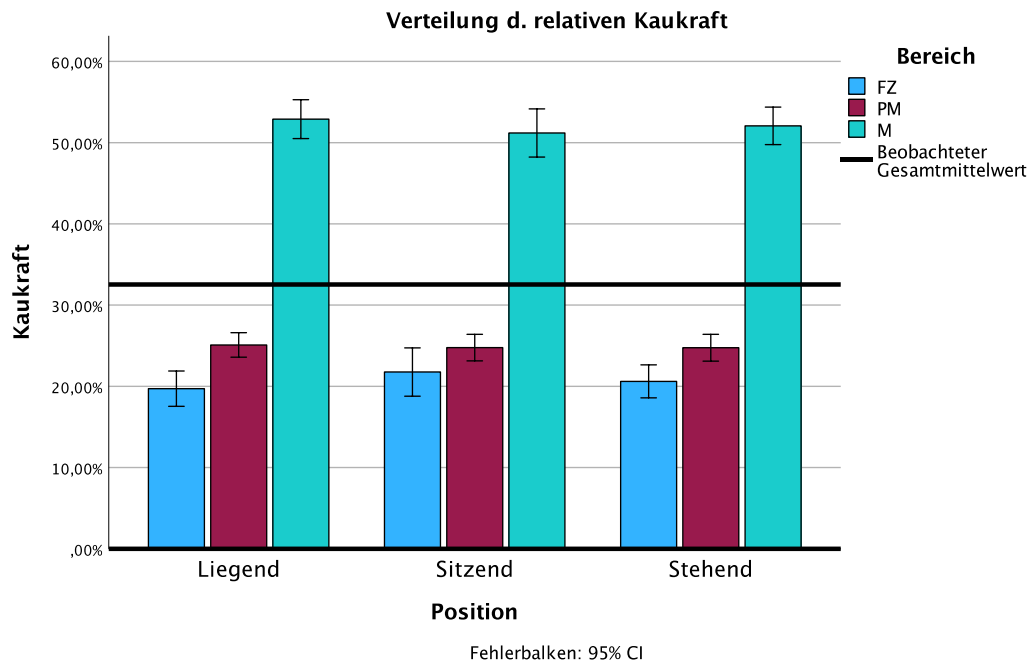


Abb. 17: Relative Kaukraft Position-Bereich der gesamten Studienpopulation. Kaukräfte unterscheiden sich an Molaren (M), Prämolaren (PM) und Frontzähnen (FZ) in liegender und stehender Position signifikant; in sitzender Position zeigen sich an FZ und PM keine signifikanten Unterschiede; es liegen keine signifikanten Positionseffekte vor

Die Differenzierung des Studienkollektives in eine Gruppe mit „idealer Okklusion“ und eine Gruppe mit Abweichungen von dieser zeigte in beiden Gruppen deskriptiv ebenfalls deutlich stärker wirkende Kaukräfte im Bereich der Molaren, gefolgt von den Prämolaren und Frontzähnen. Unabhängig der Gruppierung erfuhren die Molaren in liegender Positionierung die größte Krafteinwirkung, gefolgt von der stehenden und sitzenden Positionierung. Auch an den Prämolaren zeigten sich initial höhere Kaukräfte im Liegen. Im Liegen zeigten sich verringert wirkende Kaukräfte im Frontzahnbereich sowie stärkere Kräfte bei sitzender Positionierung. Die detaillierten prozentualen Werte gehen aus Tabelle 11 hervor.

Ergebnisse

„Ideale Okklusion“	Stufe der Innersubjektfaktoren	Mittelwert (in %)	Standardabweichung (in %)	n
Abweichend	Liegend FZ gesamt	19,83	9,19	24
	Sitzend FZ gesamt	21,43	9,16	24
	Stehend FZ gesamt	20,83	7,90	24
	Liegend PM gesamt	24,82	5,80	24
	Sitzend PM gesamt	24,53	6,58	24
	Stehend PM gesamt	24,01	5,74	24
	Liegend M gesamt	53,06	8,92	24
	Sitzend M gesamt	51,46	8,82	24
	Stehend M gesamt	51,99	8,27	24
Ideal	Liegend FZ gesamt	19,63	7,82	35
	Sitzend FZ gesamt	21,98	12,86	35
	Stehend FZ gesamt	20,46	7,80	35
	Liegend PM gesamt	25,28	5,83	35
	Sitzend PM gesamt	24,93	6,19	35
	Stehend PM gesamt	25,25	6,78	35
	Liegend M gesamt	52,77	9,51	35
	Sitzend M gesamt	51,01	12,98	35
	Stehend M gesamt	52,12	9,35	35

Tab. 11: Deskriptive Statistik Differenzierung der Studienpopulation nach Vorliegen einer „idealen Okklusion“

Im folgenden Repeated-Measures-ANOVA-Design wurde Sphärizität angenommen.

Eine ANOVA mit Messwiederholung ohne Korrektur zeigte in den betrachteten Bereichen (FZ, PM, M) signifikant unterschiedliche relative Kaukräfte sowohl in der Betrachtungsgruppe der Probanden/-innen mit „idealer Okklusion“ ($F(2,00) = 65,85$; $p < 0,001$; partielles Eta-Quadrat = 0,800), als auch bei Studienteilnehmer mit Abweichungen von dieser ($F(2,00) = 73,80$; $p < 0,001$; partielles Eta-Quadrat = 0,870), auf.

Ergebnisse

Die gemessenen Kaukräfte in der betrachtenden Position unterschieden sich in beiden Gruppen statistisch nicht signifikant („ideale Okklusion“: $F(2,00) = 0,346$; $p = 0,710$; partielles Eta-Quadrat = 0,021), (keine „ideale Okklusion“: $F(2,00) = 2,190$; $p = 0,136$; partielles Eta-Quadrat = 0,166). Gleichfalls lag keine Interaktion des betrachteten Bereiches und der Positionierung in beiden Gruppen vor („ideale Okklusion“: $F(4,00) = 1,249$; $p = 0,311$; partielles Eta-Quadrat = 0,139), (keine „ideale Okklusion“: $F(4,00) = 1,289$; $p = 0,308$; partielles Eta-Quadrat = 0,205).

Die Testung der Innersubjektkontraste zeigte sowohl eine lineare („ideale Okklusion“: $F(1,00) = 108,499$; $p < 0,001$, partielles Eta-Quadrat = 0,761), (keine „ideale Okklusion“: $F(1,00) = 98,741$; $p < 0,001$; partielles Eta-Quadrat = 0,811), als auch eine quadratische Komponente („ideale Okklusion“: $F(1,00) = 55,034$; $p < 0,001$; partielles Eta-Quadrat = 0,618), (keine „ideale Okklusion“: $F(1,00) = 48,713$; $p < 0,001$; partielles Eta-Quadrat = 0,679) des Anstieges der Kaukräfte in beiden Gruppen. Die Kaukräfte stiegen über die Bereiche Frontzähne, Prämolaren zu den Molaren in aufsteigender Reihenfolge, mit schwächerer Ausprägung zwischen den Frontzähnen und Prämolaren als zwischen den Prämolaren und Molaren (quadratische Komponente) an.

Die relativen Kaufräfte stellten sich bei Probanden/-innen mit „idealer Okklusion“ bei Betrachtung der Positionen liegend, sitzend und stehend ohne lineare ($F(1,00) = 0,211$; $p < 0,649$; partielles Eta-Quadrat = 0,006), oder quadratischen Anstiege ($F(1,00) = 0,491$; $p < 0,488$; partielles Eta-Quadrat = 0,014) der Werte dar. Diejenigen Studienteilnehmer/-innen, welche keine „ideale“ Okklusion aufwiesen, zeigten bei einem Positionierungswechsel vom Liegen, zu sitzend und stehend eine lineare ($F(1,00) = 4,411$; $p < 0,046$; partielles Eta-Quadrat = 0,162), nicht quadratische ($F(1,00) = 0,383$; $p < 0,542$; partielles Eta-Quadrat = 0,016) Komponente. In der wechselwirkenden Betrachtung des Bereiches und der Positionierung zeigten sich weder lineare noch quadratische Anstiege der erfassten Werte.

Ergebnisse

„Ideale Okklusion“	Position	Be-reich	Be-reich	Mittel-wert-differenz	Std.-Fehler	p-Wert	95 % Konfi-denz-intervall Unter-grenze	95 % Konfi-denz-intervall Ober-grenze	
Abwei-chend	Liegend	FZ	PM	-4,996	2,500	0,173	-11,450	1,458	
		FZ	M	-33,233*	3,500	<0,001*	-42,271	-24,196	
		PM	FZ	4,996	2,500	0,173	-1,458	11,450	
		PM	M	-28,238*	2,390	<0,001*	-34,409	-22,066	
		M	FZ	33,233*	3,500	<0,001*	24,196	42,271	
		M	PM	28,238*	2,390	<0,001*	22,066	34,409	
	Sitzend	FZ	PM	-3,096	2,742	0,811	-10,175	3,983	
		FZ	M	-30,028*	3,394	<0,001*	-38,791	-21,264	
		PM	FZ	3,096	2,742	0,811	-3,983	10,175	
		PM	M	-26,932*	2,451	<0,001*	-33,259	-20,605	
		M	FZ	30,028*	3,394	<0,001*	21,264	38,791	
		M	PM	26,932*	2,451	<,0001*	20,605	33,259	
		Stehend	FZ	PM	-3,182	2,276	0,526	-9,059	2,695
			FZ	M	-31,164*	3,068	<0,001*	-39,086	-23,242
PM	FZ		3,182	2,276	0,526	-2,695	9,059		
PM	M		-27,982*	2,307	<0,001*	-33,938	-22,026		
M	FZ		31,164*	3,068	<0,001*	23,242	39,086		
M	PM		27,982*	2,307	<0,001*	22,026	33,938		
Ideal	Liegend	FZ	PM	-5,651*	1,696	0,006*	-9,921	-1,381	
		FZ	M	-33,142*	2,755	<0,001*	-40,080	-26,204	
		PM	FZ	5,651*	1,696	0,006*	1,381	9,921	
		PM	M	-27,490*	2,292	<0,001*	-33,263	-21,718	
		M	FZ	33,142*	2,755	<0,001*	26,204	40,080	
		M	PM	27,490*	2,292	<0,001*	21,718	33,263	
	Sitzend	FZ	PM	-2,947	2,680	0,838	-9,695	3,801	
		FZ	M	-29,028*	4,219	<0,001*	-39,651	-18,404	
		PM	FZ	2,947	2,680	0,838	-3,801	9,695	
		PM	M	-26,081*	2,611	<0,001*	-32,656	-19,506	
		M	FZ	29,028*	4,219	<0,001*	18,404	39,651	
		M	PM	26,081*	2,611	<0,001*	19,506	32,656	

Ergebnisse

„Ideale Okklusion“	Position	Be-reich	Be-reich	Mittelwert-differenz	Std.-Fehler	p-Wert	95 % Konfi-denz-intervall Unter-grenze	95 % Konfi-denz-intervall Ober-grenze
Ideal	Stehend	FZ	PM	-4,790	1,952	0,058	-9,707	0,126
		FZ	M	-31,652*	2,661	<0,001*	-38,353	-24,952
		PM	FZ	4,790	1,952	0,058	-0,126	9,707
		PM	M	-26,862*	2,375	<0,001*	-32,843	-20,881
		M	FZ	31,652*	2,661	<0,001*	24,952	38,353
		M	PM	26,862*	2,375	<0,001*	20,881	32,843

Tab. 12: Paarweise Vergleiche Bereich*Position Differenzierung „ideale Okklusion“ (Bereichseffekte innerhalb der Position)

Der Bonferroni-korrigierte post-hoc Test zeigte in der Gruppe mit „idealer Okklusion“ signifikante Unterschiede (FZ und PM: Mittelwertdifferenz = 5,651; $p = 0,006$ sowie FZ und M: Mittelwertdifferenz = 33,142; $p < 0,001$) der wirkenden Kaukräfte in den betrachtenden Bereichen (FZ, PM, M) in liegender Positionierung. Im Sitzen fiel der Unterschied im paarweisen Vergleich der Frontzähne mit den Prämolaren nicht signifikant (FZ und PM: Mittelwertdifferenz = 2,947; $p = 0,838$) aus. Die wirkenden Kräfte im Frontzahn- und Molarenbereich zeigten sich auch hier (FZ und PM: Mittelwertdifferenz = 29,028; $p < 0,001$) signifikant unterschiedlich. Im Stehen fiel der Vergleich von Frontzähnen und Molaren ebenfalls hochsignifikant aus (FZ und M: Mittelwertdifferenz = 31,652; $p < 0,001$). Die Frontzähne und Prämolaren zeigten hier keine signifikant unterschiedlichen Werte (FZ und PM: Mittelwertdifferenz = 4,790; $p = 0,058$). In der Studienpopulation mit vorliegender Abweichung der „idealen“ Okklusion zeigten sich gleichfalls signifikante Unterschiede der wirkenden Kaukräfte im Bereich der Frontzähne und Molaren in liegender, sitzender und stehender Position (liegend FZ und M: Mittelwertdifferenz = 33,233; $p < 0,001$; sitzend FZ und M: Mittelwertdifferenz = 30,028; $p < 0,001$; stehend FZ und M: Mittelwertdifferenz = 31,164; $p < 0,001$). Abweichende okklusale Kräfte konnten bei Vergleich des Betrachtungsbereiches der Frontzähne und Prämolaren

Ergebnisse

liegend (FZ und PM: Mittelwertdifferenz = 4,996; p = 0,173), sitzend (FZ und PM: Mittelwertdifferenz = 3,096; p = 0,811) und stehend (FZ und PM: Mittelwertdifferenz = 3,182; p = 0,526) nicht aufgezeigt werden.

„Ideale Okklusion“	Bereich	Position	Position	Mittelwertdifferenz	Std.-Fehler	p-Wert	95 % Konfidenzintervall Untergrenze	95 % Konfidenzintervall Obergrenze		
Abweichend	FZ	Liegend	Sitzend	-1,608	1,053	0,421	-4,328	1,111		
		Liegend	Stehend	-1,003	0,965	0,929	-3,495	1,490		
		Sitzend	Liegend	1,608	1,053	0,421	-1,111	4,328		
		Sitzend	Stehend	0,606	0,894	1,000	-1,702	2,913		
		Stehend	Liegend	1,003	0,965	0,929	-1,490	3,495		
	PM	Stehend	Sitzend	-0,606	0,894	1,000	-2,913	1,702		
		Liegend	Sitzend	0,292	0,718	1,000	-1,563	2,147		
		Liegend	Stehend	0,811	0,521	0,399	-0,533	2,156		
		Sitzend	Liegend	-0,292	0,718	1,000	-2,147	1,563		
		Sitzend	Stehend	0,519	0,657	1,000	-1,177	2,216		
M		Stehend	Liegend	-0,811	0,521	0,399	-2,156	0,533		
		Stehend	Sitzend	-0,519	0,657	1,000	-2,216	1,177		
		Liegend	Sitzend	1,597	0,897	0,264	-0,718	3,913		
		Liegend	Stehend	1,067	0,940	0,804	-1,360	3,493		
		Sitzend	Liegend	-1,597	0,897	0,264	-3,913	0,718		
		Sitzend	Stehend	-0,531	0,853	1,000	-2,732	1,671		
		Stehend	Liegend	-1,067	0,940	0,804	-3,493	1,360		
		Stehend	Sitzend	0,531	0,853	1,000	-1,671	2,732		
		Ideal	FZ	Liegend	Sitzend	-2,354	1,444	0,337	-5,991	1,283
				Liegend	Stehend	-0,834	0,613	0,547	-2,378	0,709
Sitzend	Liegend			2,354	1,444	0,337	-1,283	5,991		
Sitzend	Stehend			1,520	1,690	1,000	-2,736	5,776		
Stehend	Liegend			0,834	0,613	0,547	-0,709	2,378		
PM		Stehend	Sitzend	-1,520	1,690	1,000	-5,776	2,736		
		Liegend	Sitzend	0,350	0,522	1,000	-0,964	1,665		

Ergebnisse

„Ideale Okklusion“	Bereich	Position	Position	Mittelwert-differenz	Std.-Fehler	p-Wert	95 % Konfidenzintervall Untergrenze	95 % Konfidenzintervall Obergrenze
Ideal	PM	Liegend	Stehend	0,027	0,608	1,000	-1,504	1,557
		Sitzend	Liegend	-0,350	0,522	1,000	-1,665	0,964
		Sitzend	Stehend	-0,324	0,767	1,000	-2,256	1,608
		Stehend	Liegend	-0,027	0,608	1,000	-1,557	1,504
		Stehend	Sitzend	0,324	0,767	1,000	-1,608	2,256
	M	Liegend	Sitzend	1,760	1,238	0,493	-1,358	4,878
		Liegend	Stehend	0,655	0,646	0,953	-0,972	2,282
		Sitzend	Liegend	-1,760	1,238	0,493	-4,878	1,358
		Sitzend	Stehend	-1,105	1,210	1,000	-4,153	1,943
		Stehend	Liegend	-0,655	0,646	0,953	-2,282	0,972
		Stehend	Sitzend	1,105	1,210	1,000	-1,943	4,153

Tab. 13: Paarweise Vergleiche Position*Bereich Differenzierung „ideale Okklusion“ (Positionseffekte innerhalb des Bereiches)

Der Bonferroni-korrigierte post-hoc Test für den paarweise Vergleich der Kaukraft im betrachteten Bereich (FZ, PM, M) zeigte bei wechselnder Positionierung der Studienteilnehmer/-innen (sitzend, liegend, stehend), weder für „ideal“ verzahnte Probanden/-innen, noch bei vorliegenden Abweichungen der „idealen dentalen Okklusion“ signifikante Unterschiede.

Ergebnisse

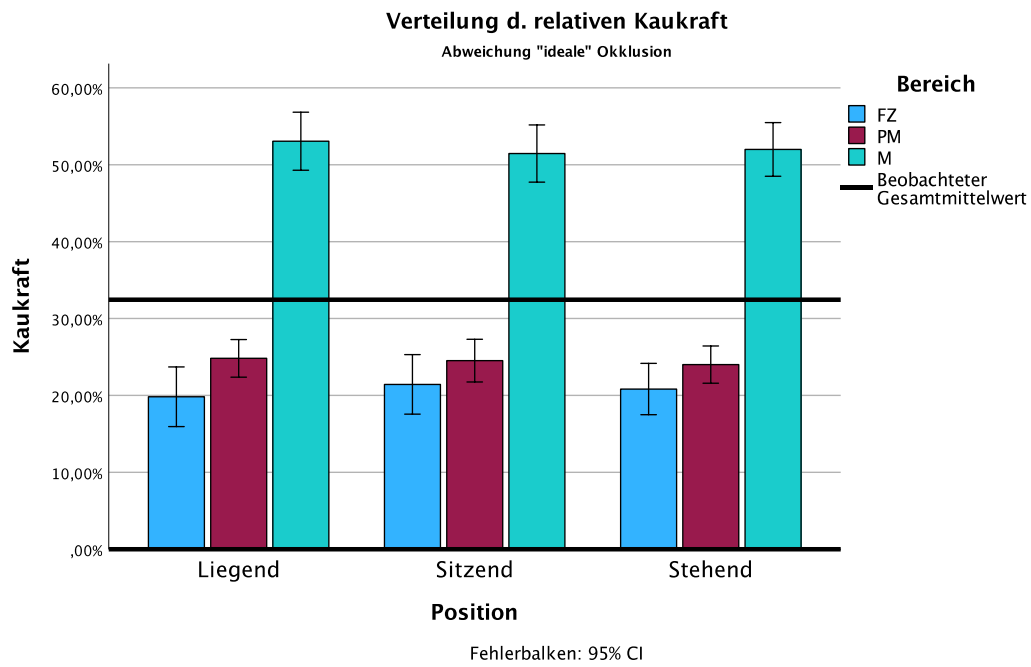


Abb. 18: Relative Kaukraft Position-Bereich, Differenzierung Abweichung der „idealen Okklusion“. Kaukräfte unterscheiden sich an Molaren (M) und Prämolaren (PM) sowie M und Frontzähne (FZ) signifikant; Kaukräfte an FZ und PM zeigten keine signifikanten Unterschiede; es liegen keine signifikanten Positionseffekte vor

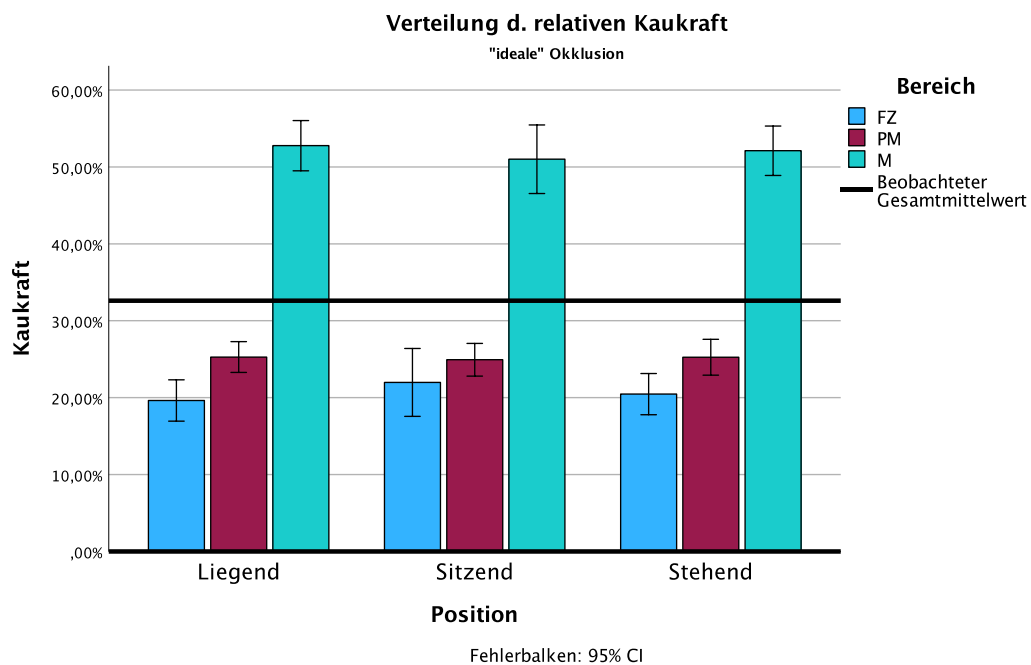


Abb. 18: Relative Kaukraft Position-Bereich, Differenzierung der „idealen Okklusion“. Kaukräfte unterscheiden sich an Molaren (M) und Prämolaren (PM) sowie M und Frontzähne (FZ) liegend signifikant; Kaukräfte an FZ und PM zeigten in sitzender und stehender Position keine signifikanten Unterschiede; es liegen keine signifikanten Positionseffekte vor

Ergebnisse

Die weitere Differenzierung der Studienpopulation nach Angle-Klassifikation in Klasse I, II und III zeigte deskriptiv in allen Klassen stark wirkende Kaukräfte im Bereich der Molaren, gefolgt von den Prämolaren und Frontzähnen. Die Molaren wiesen in liegender Positionierung bei einer vorliegenden Angle Klasse II die größten mittleren Kaukräfte auf (54,52 %), die Molaren bei der Angle Klasse III (50,52 %) prozentual die geringsten. Die relativen Kaukräfte der Prämolaren zeigten bei dem Vorliegen einer sagittalen Mesialverzahnung (Angle Klasse III) im Sitzen deskriptiv höhere Werte (29,20 %) als die Prämolaren im Sitzen bei einer vorliegenden Angle Klasse I (24,57 %) oder Angle Klasse II (sitzend: 23,46 %). Die Kaukräfte im Frontzahnbereich stellten sich bei vorliegender Angle Klasse I (19,76 %) und Angle Klasse II (18,91 %) in liegender Position schwach und in sitzender Position stark ausgeprägt (Angle Klasse I: 22,04 %; Angle Klasse II: 21,49 %) dar. Stark wirkende Kräfte im Frontzahnbereich wurden stehend (22,06 %), gefolgt von der liegenden (21,52 %) Position für die Angle Klasse III befundet. Sitzend stellten sich die Werte hier deskriptiv am geringsten dar (20,25 %). Die detaillierten prozentualen Werte gehen aus Tabelle 14 hervor.

Ergebnisse

Angle Klasse	Stufe der Innersubjekt Faktoren	Mittelwert (in %)	Standardabweichung (in %)	n
I	Liegend FZ gesamt	19,76	8,29	40
	Sitzend FZ gesamt	22,04	12,51	40
	Stehend FZ gesamt	20,74	7,83	40
	Liegend PM gesamt	25,46	6,16	40
	Sitzend PM gesamt	24,67	6,44	40
	Stehend PM gesamt	25,08	6,91	40
	Liegend M gesamt	52,62	9,25	40
	Sitzend M gesamt	51,34	12,39	40
	Stehend M gesamt	52,17	8,92	40
II	Liegend FZ gesamt	18,91	8,98	14
	Sitzend FZ gesamt	21,49	9,30	14
	Stehend FZ gesamt	19,73	7,62	14
	Liegend PM gesamt	23,43	4,96	14
	Sitzend PM gesamt	23,46	5,46	14
	Stehend PM gesamt	22,76	4,57	14
	Liegend M gesamt	54,52	9,40	14
	Sitzend M gesamt	51,37	9,46	14
	Stehend M gesamt	53,18	9,05	14
III	Liegend FZ gesamt	21,52	8,17	5
	Sitzend FZ gesamt	20,25	8,88	5
	Stehend FZ gesamt	22,06	9,23	5
	Liegend PM gesamt	26,83	4,31	5
	Sitzend PM gesamt	29,20	6,59	5
	Stehend PM gesamt	27,65	5,24	5
	Liegend M gesamt	50,52	9,35	5
	Sitzend M gesamt	49,57	9,47	5
	Stehend M gesamt	48,16	8,45	5

Tab. 14: Deskriptive Statistik: Differenzierung der Studienpopulation nach der Angle Klassifikation

Im folgenden Repeated-Measures-ANOVA-Design wurde Sphärizität angenommen.

Eine ANOVA mit Messwiederholung ohne Korrektur zeigte für die Angle Klasse I und Angle Klasse II signifikante Unterschiede der relativen Kaukräfte in den

Ergebnisse

betrachteten Bereichen (Angle Klasse I: $F(38,00) = 81,825$; $p < 0,001$; partielles Eta-Quadrat = 0,812; Angle Klasse II: $F(12,00) = 51,578$; $p < 0,001$; partielles Eta-Quadrat = 0,896). Bei vorliegender Angle Klasse III lagen keine signifikanten Unterschiede vor (Angle Klasse III: $F(3,0) = 6,563$; $p = 0,080$; partielles Eta-Quadrat = 0,814). Die Kaukräfte in der betrachtenden Position (liegend, sitzend, stehend) unterschieden sich unabhängig der Angle Klassifikation für jede Gruppe nicht signifikant (Angle Klasse I: $F(38,00) = 0,316$; $p = 0,731$; partielles Eta-Quadrat = 0,016; Angle Klasse II: $F(12,00) = 1,975$; $p = 0,181$; partielles Eta-Quadrat = 0,248; Angle Klasse III: $F(3,00) = 3,422$; $p = 0,168$; partielles Eta-Quadrat = 0,695). Für die Interaktion des betrachteten Bereiches und der Probandenpositionierung stellte sich ebenfalls keine Signifikanz dar (Angle Klasse I: $F(36,00) = 1,660$; $p = 0,181$; partielles Eta-Quadrat = 0,156; Angle Klasse II: $F(10,00) = 1,978$; $p = 0,174$; partielles Eta-Quadrat = 0,442; Angle Klasse III: $F(1,00) = 1,488$; $p = 0,542$; partielles Eta-Quadrat = 0,856).

Die Testung der Innersubjektkontraste stellte sowohl eine lineare (Angle Klasse I: $F(1,00) = 130,145$; $p < 0,001$; partielles Eta-Quadrat = 0,769; Angle Klasse II: $F(1,00) = 57,765$; $p < 0,001$; partielles Eta-Quadrat = 0,816), als auch eine quadratische (Angle Klasse I: $F(36,00) = 1,660$; $p = 0,181$; partielles Eta-Quadrat = 0,156; Angle Klasse II: $F(10,00) = 1,978$; $p = 0,174$; partielles Eta-Quadrat = 0,442) Komponente des Anstieges der Kaukräfte dar. Die Kaukräfte stiegen über die Bereiche Frontzähne, Prämolaren zu den Molaren in aufsteigender Reihenfolge, mit schwächerer Ausprägung zwischen den Frontzähnen und Prämolaren als zwischen den Prämolaren und Molaren (quadratische Komponente) an. Für die Angle Klasse III lag keine lineare ($F(1,00) = 14,544$; $p = 0,019$; partielles Eta-Quadrat = 0,784) und keine quadratische ($F(1,00) = 5,032$; $p = 0,088$, partielles Eta-Quadrat = 0,557) Tendenz vor. Die Betrachtung der Positionen liegend, sitzend und stehend zeigten keine linearen (Angle Klasse I: $F(1,00) = 1,881$; $p = 0,178$; partielles Eta-Quadrat = 0,046; Angle Klasse II: $F(1,00) = 3,107$; $p = 0,101$; partielles Eta-Quadrat = 0,193; Angle Klasse III: $F(1,00) = 4,564$; $p = 0,099$; partielles Eta-Quadrat = 0,533) oder quadratischen Anstiege der Werte

Ergebnisse

(Angle Klasse I: $F(1,00) = 1,433$; $p = 0,238$; partielles Eta-Quadrat = 0,035; Angle Klasse II: $F(1,00) = 0,029$; $p = 0,868$; partielles Eta-Quadrat = 0,002; Angle Klasse III: $F(1,00) = 6,607$; $p = 0,062$; partielles Eta-Quadrat = 0,623). In der wechselwirkenden Betrachtung des Bereiches und der Positionierung zeigten sich weder signifikant lineare noch quadratische Anstiege der erfassten Werte (siehe Tabelle 15).

An- gle Klas- se	Posi- tion	Be- reich	Posi- tion	Mittel- wert- differenz	Std.- Fehler	p-Wert	95 % Konfi- denzinter- vall Unter- grenze	95 % Konfi- denzinter- vall Ober- grenze
III	Li	FZ	PM	-5,313	3,847	0,718	-20,550	9,923
		FZ	M	-29,000	7,699	0,059	-59,494	1,494
		PM	FZ	5,313	3,847	0,718	-9,923	20,550
		PM	M	-23,687*	5,419	0,036*	-45,151	-2,223
		M	FZ	29,000	7,699	0,059	-1,494	59,494
		M	PM	23,687*	5,419	0,036*	2,223	45,151
	Si	FZ	PM	-8,947	5,335	0,507	-30,077	12,184
		FZ	M	-29,313	7,852	0,061	-60,411	1,785
		PM	FZ	8,947	5,335	0,507	-12,184	30,077
		PM	M	-20,367	6,065	0,085	-44,389	3,655
		M	FZ	29,313	7,852	0,061	-1,785	60,411
		M	PM	20,367	6,065	0,085	-3,655	44,389
St	FZ	PM	-5,593	5,322	1,000	-26,673	15,486	
	FZ	M	-26,100	7,640	0,081	-56,360	4,160	
	PM	FZ	5,593	5,322	1,000	-15,486	26,673	
	PM	M	-20,507*	4,843	0,040*	-39,690	-1,323	
	M	FZ	26,100	7,640	0,081	-4,160	56,360	
	M	PM	20,507*	4,843	0,040*	1,323	39,690	
II	Li	FZ	PM	-4,512	3,026	0,480	-12,822	3,798
		FZ	M	-35,602*	4,689	<0,001*	-48,478	-22,727
		PM	FZ	4,512	3,026	0,480	-3,798	12,822
		PM	M	-31,090*	3,002	<0,001*	-39,335	-22,846
		M	FZ	35,602*	4,689	<0,001*	22,727	48,478
		M	PM	31,090*	3,002	<0,001*	22,846	39,335

Ergebnisse

An- gle Klas- se	Po- si- tion	Be- reich	Po- si- tion	Mittel- wert- differenz	Std.- Fehler	p-Wert	95 % Konfi- denzinter- vall Unter- grenze	95 % Konfi- denzinter- vall Ober- grenze
II	Si	FZ	PM	-1,976	3,343	1,000	-11,156	7,204
		FZ	M	-29,886*	4,715	<0,001*	-42,832	-16,940
		PM	FZ	1,976	3,343	1,000	-7,204	11,156
		PM	M	-27,910*	3,033	<0,001*	-36,238	-19,581
		M	FZ	29,886*	4,715	<0,001*	16,940	42,832
		M	PM	27,910*	3,033	<0,001*	19,581	36,238
	St	FZ	PM	-3,031	2,605	0,797	-10,184	4,122
		FZ	M	-33,445*	4,226	<0,001*	-45,048	-21,842
		PM	FZ	3,031	2,605	0,797	-4,122	10,184
		PM	M	-30,414*	2,904	<0,001*	-38,388	-22,441
		M	FZ	33,445*	4,226	<0,001*	21,842	45,048
		M	PM	30,414*	2,904	<0,001*	22,441	38,388
I	Li	FZ	PM	-5,699*	1,772	0,008*	-10,132	-1,266
		FZ	M	-32,853*	2,586	<0,001*	-39,324	-26,383
		PM	FZ	5,699*	1,772	0,008*	1,266	10,132
		PM	M	-27,154*	2,108	<0,001*	-32,428	-21,880
		M	FZ	32,853*	2,586	<0,001*	26,383	39,324
		M	PM	27,154*	2,108	<0,001*	21,880	32,428
	Si	FZ	PM	-2,626	2,518	0,911	-8,926	3,674
		FZ	M	-29,292*	3,778	<0,001*	-38,744	-19,839
		PM	FZ	2,626	2,518	0,911	-3,674	8,926
		PM	M	-26,666*	2,377	<0,001*	-32,611	-20,721
		M	FZ	29,292*	3,778	<0,001*	19,839	38,744
		M	PM	26,666*	2,377	<0,001*	20,721	32,611
	St	FZ	PM	-4,341	1,895	0,082	-9,081	0,400
		FZ	M	-31,426*	2,403	<0,001*	-37,437	-25,415
		PM	FZ	4,341	1,895	0,082	-,400	9,081
		PM	M	-27,085*	2,163	<0,001*	-32,495	-21,675
		M	FZ	31,426*	2,403	<0,001*	25,415	37,437
		M	PM	27,085*	2,163	<0,001*	21,675	32,495

Tab. 15: Paarweise Vergleiche Bereich*Position Differenzierung nach Angle Klassifikation (Bereichseffekte innerhalb der Position). Abkürzungen: Li= liegend, Si= sitzend, St= stehend

Ergebnisse

Ein Bonferroni-korrigierter post-hoc Test zeigte für Probanden/-innen mit einer Angle Klasse I signifikante Unterschiede der wirkenden Kaukräfte in den betrachtenden Bereichen (FZ, PM, M) in liegender Positionierung (FZ und PM: Mittelwertdifferenz = 5,699; $p = 0,008$; FZ und M: Mittelwertdifferenz = 32,853; $p < 0,001$). Im Sitzen (FZ und PM: Mittelwertdifferenz = 2,626; $p = 0,911$) und Stehen (FZ und PM: Mittelwertdifferenz = 4,341; $p = 0,082$) zeigte sich kein signifikanter Unterschied bei Vergleich der Frontzähne und Prämolaren. Die wirkenden Kräfte im Frontzahn- und Molarenbereich zeigten sich hier hochsignifikant unterschiedlich im Sitzen (FZ und M: Mittelwertdifferenz = 29,292; $p < 0,001$) und im Stehen (FZ und M: Mittelwertdifferenz = 31,426; $p < 0,001$).

Bei vorliegender Angle Klasse II stellten sich Unterschiede der wirkenden Kaukräfte bei Vergleich der Okklusionsareale der Frontzähne und Molaren, in liegender, sitzender und stehender Positionierung dar (liegend FZ und M: Mittelwertdifferenz = 35,602; $p < 0,001$; sitzend FZ und M: Mittelwertdifferenz = 29,886; $p < 0,001$; stehend FZ und M: Mittelwertdifferenz = 33,445; $p < 0,001$).

Signifikant abweichende Kaukräfte lagen im direkten Vergleich der Frontzähne und Prämolaren weder in der liegenden, sitzenden, noch stehend durchgeführten Messung vor (liegend FZ und PM: Mittelwertdifferenz = 4,512; $p = 0,480$; sitzend FZ und PM: Mittelwertdifferenz = 3,343; $p = 1,000$; stehend FZ und PM: Mittelwertdifferenz = 3,031; $p = 0,797$).

Die Studienteilnehmer/-innen mit vorliegender Angle Klasse III zeigten mit Ausnahme des Vergleiches der Prämolaren und Molaren in liegender (PM und M: Mittelwertdifferenz = 23,687; $p = 0,036$) und stehender (PM und M: Mittelwertdifferenz = 20,507; $p = 0,040$) Position, keine unterschiedlich wirkenden Kaukräfte der betrachteten Bereiche auf.

Ergebnisse

An- gle Klas- se	Be- reich	Po- si- tion	Po- si- tion	Mittel- wert- differenz	Std.- Fehler	p-Wert	95 % Konfi- denzinter- vall Unter- grenze	95 % Konfi- denzinter- vall Ober- grenze
III	FZ	Li	Si	1,267	2,537	1,000	-8,780	11,313
		Li	St	-0,540	2,333	1,000	-9,782	8,702
		Si	Li	-1,267	2,537	1,000	-11,313	8,780
		Si	St	-1,807	1,655	1,000	-8,361	4,748
		St	Li	0,540	2,333	1,000	-8,702	9,782
		St	Si	1,807	1,655	1,000	-4,748	8,361
	PM	Li	Si	-2,367	1,287	0,419	-7,463	2,730
		Li	St	-0,820	0,653	0,832	-3,405	1,765
		Si	Li	2,367	1,287	0,419	-2,730	7,463
		Si	St	1,547	1,361	0,957	-3,843	6,936
		St	Li	0,820	0,653	0,832	-1,765	3,405
		St	Si	-1,547	1,361	0,957	-6,936	3,843
	M	Li	Si	0,953	1,913	1,000	-6,622	8,529
		Li	St	2,360	2,187	1,000	-6,300	11,020
		Si	Li	-0,953	1,913	1,000	-8,529	6,622
		Si	St	1,407	1,573	1,000	-4,823	7,636
		St	Li	-2,360	2,187	1,000	-11,020	6,300
		St	Si	-1,407	1,573	1,000	-7,636	4,823
II	FZ	Li	Si	-2,574	1,293	0,204	-6,124	0,976
		Li	St	-0,817	1,261	1,000	-4,279	2,645
		Si	Li	2,574	1,293	0,204	-0,976	6,124
		Si	St	1,757	1,232	0,532	-1,626	5,140
		St	Li	0,817	1,261	1,000	-2,645	4,279
		St	Si	-1,757	1,232	0,532	-5,140	1,626
	PM	Li	Si	-0,038	0,785	1,000	-2,195	2,119
		Li	St	0,664	0,671	1,000	-1,178	2,507
		Si	Li	0,038	0,785	1,000	-2,119	2,195
		Si	St	0,702	0,959	1,000	-1,931	3,336
		St	Li	-0,664	0,671	1,000	-2,507	1,178
		St	Si	-0,702	0,959	1,000	-3,336	1,931
	M	Li	Si	3,143*	1,142	0,049*	0,007	6,279
		Li	St	1,340	1,357	1,000	-2,385	5,066

Ergebnisse

An- gle Klas- se	Be- reich	Po- si- tion	Po- si- tion	Mittel- wert- differenz	Std.- Fehler	p-Wert	95 % Konfi- denzinter- vall Unter- grenze	95 % Konfi- denzinter- vall Ober- grenze	
II	M	Si	Li	-3,143*	1,142	0,049*	-6,279	-0,007	
		Si	St	-1,802	1,207	0,477	-5,116	1,511	
		St	Li	-1,340	1,357	1,000	-5,066	2,385	
		St	Si	1,802	1,207	0,477	-1,511	5,116	
I	FZ	Li	Si	-2,282	1,293	0,256	-5,517	0,952	
		Li	St	-0,978	0,601	0,334	-2,481	0,524	
		Si	Li	2,282	1,293	0,256	-0,952	5,517	
		Si	St	1,304	1,492	1,000	-2,427	5,035	
		St	Li	0,978	0,601	0,334	-0,524	2,481	
		St	Si	-1,304	1,492	1,000	-5,035	2,427	
		PM	Li	Si	0,791	0,517	0,402	-0,502	2,084
			Li	St	0,380	0,566	1,000	-1,035	1,795
	Si		Li	-0,791	0,517	0,402	-2,084	0,502	
	Si		St	-0,411	0,679	1,000	-2,109	1,287	
	St		Li	-0,380	0,566	1,000	-1,795	1,035	
	St		Si	0,411	0,679	1,000	-1,287	2,109	
	M		Li	Si	1,279	1,109	0,767	-1,495	4,054
			Li	St	0,449	0,585	1,000	-1,015	1,914
		Si	Li	-1,279	1,109	0,767	-4,054	1,495	
		Si	St	-0,830	1,073	1,000	-3,515	1,855	
St		Li	-0,449	0,585	1,000	-1,914	1,015		
St		Si	0,830	1,073	1,000	-1,855	3,515		

Tab. 16: Paarweise Vergleiche Position*Bereich Differenzierung nach Angle Klassifikation (Positionseffekte innerhalb des Bereiches)

Der Bonferroni-korrigierte post-hoc Test zeigte für den Vergleich der Kaukraft im betrachteten Bereich (FZ, PM, M) bei wechselnder Positionierung der Studienteilnehmer/-innen (sitzend, liegend, stehend) bei vorliegender Angle Klasse I und Angle Klasse III keine signifikanten Unterschiede auf. Abweichende Kaukräfte stellten sich bei Probanden/-innen mit vorliegender Angle Klasse II im Molarenbereich unter Positionsänderung im Liegen und Sitzen signifikant dar (Mittelwertdifferenz = 3,143; $p = 0,049$).

Ergebnisse

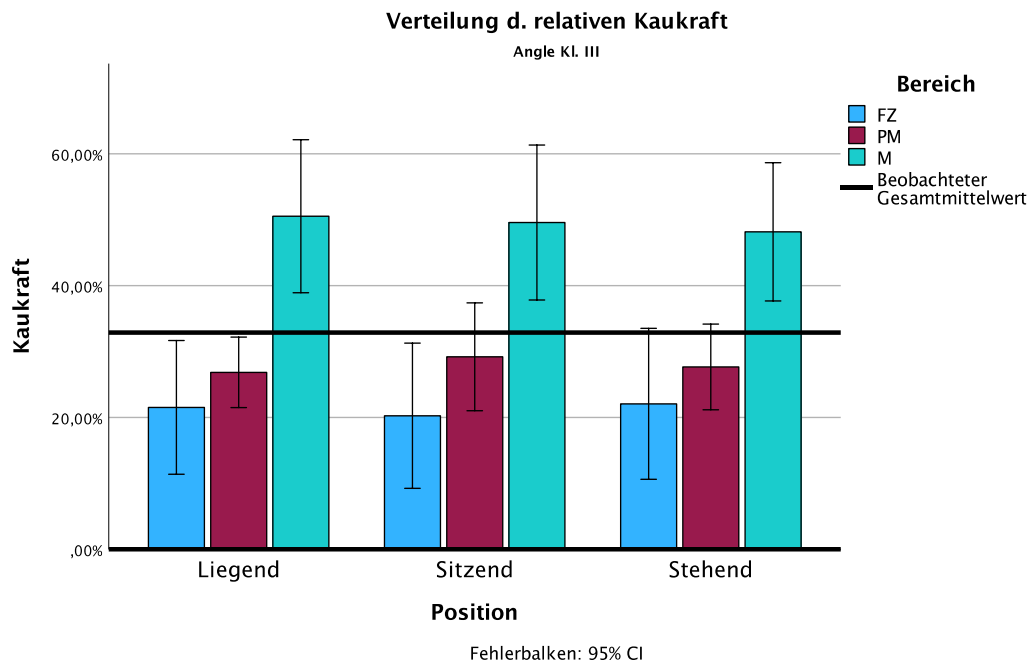


Abb. 19: Relative Kaukraft Position-Bereich Differenzierung Angle Klasse III. Kaukräfte unterscheiden sich im Bereich der Molaren (M) und Prämolaren (PM) in liegender und stehender Position signifikant; der Vergleich im Bereich der Frontzähne (FZ) und PM zeigte in allen Positionen keine signifikanten Unterschiede; es liegen keine signifikanten Positionseffekte vor

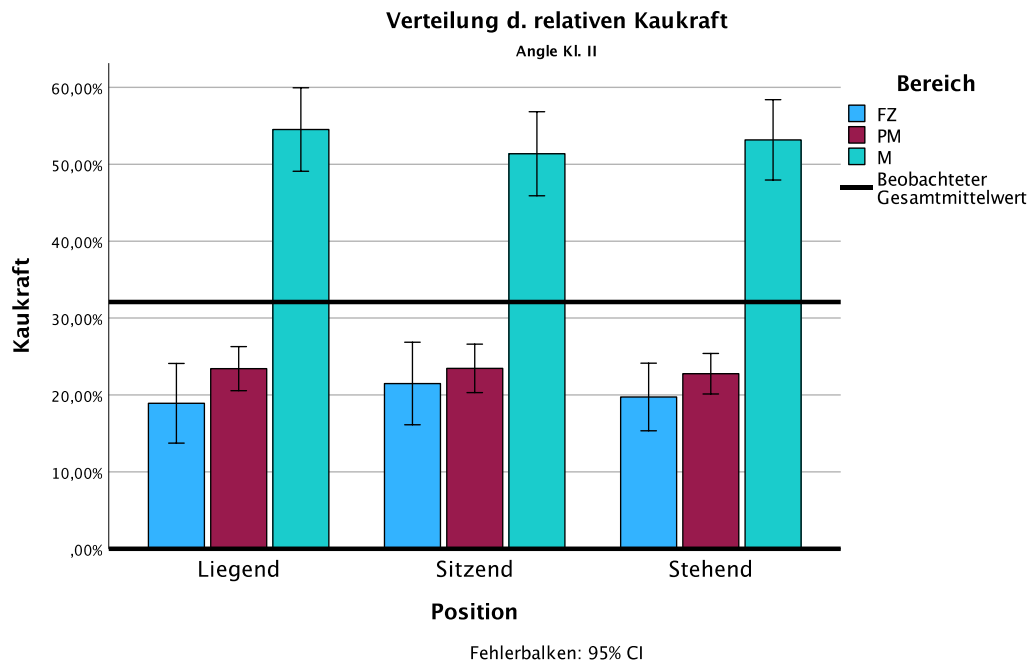


Abb. 20: Relative Kaukraft Position-Bereich Differenzierung Angle Klasse II. Kaukräfte unterscheiden sich im Bereich der Molaren (M) und Prämolaren (PM) in liegender, sitzender und stehender Position signifikant; der Vergleich im Bereich der Frontzähne (FZ) und PM zeigte in allen Positionen keine signifikanten Unterschiede; es liegen Positionseffekte im Betrachtungsbereich der M bei Wechsel liegender und sitzender Position vor

Ergebnisse

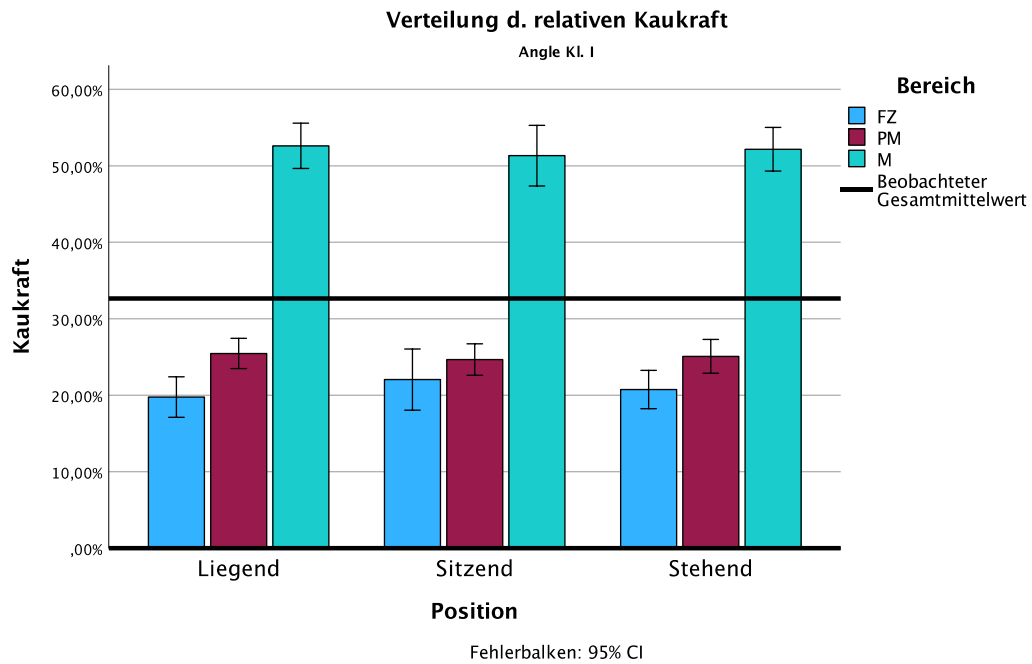


Abb. 21: Relative Kaukraft Position-Bereich Differenzierung Angle Klasse I. Kaukräfte unterscheiden sich im Bereich der Molaren (M), Prämolaren (PM) und Frontzähne (FZ) in liegender Position signifikant; der Vergleich im Bereich der FZ und PM zeigte in sitzender und stehender Position keine signifikanten Unterschiede; es liegen keine signifikanten Positionseffekte vor

3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die größten quantifizierbaren Kaukräfte zeigten sich im Bereich der Molaren, gefolgt von den Prämolaren. Der Frontzahnbereich erfuhr die geringste Krafteinwirkung (siehe Tabelle 5).

In der singulären Betrachtung der einzelnen Zähne des maxillären Zahnbogens erfuhren die Molaren Zahn 16 und 26 die stärksten Kräfte, gefolgt von den Zähnen 17 und 27 sowie den Prämolaren 15 und 25, 14 und 24. Die geringste Krafteinwirkung erfuhren die seitlichen Schneidezähne 12 und 22. An den mittleren Frontzähnen 11 und 21 sowie den Eckzähnen 13 und 23 wurden ähnlich wirkende Kaukräfte ermittelt (siehe Tabelle 6 und 7).

Die wirkenden Kräfte unterschieden sich partiell in den Betrachtungsbereichen. Die Interaktion des betrachteten Zahnbogenbereiches (FZ, PM, M) mit der Probanden-/innen-Positionierung (Li, Si, St) wird im Folgenden, differenziert für die betrachteten Gruppen (gesamte Studienpopulation, „ideale Okklusion“, „Abweichung ideale Okklusion“, Angle Klasse I, II und III) aufgeführt.

3.6.1 Gesamte Studienpopulation

Die vergleichende Betrachtung der verschiedenen Messbereiche in Interaktion mit der Probanden-/innen-Positionierung (Bereichseffekt) zeigte signifikant unterschiedlich wirkende Kaukräfte zwischen dem Frontzahn-, Prämolaren- und Molarenbereich in liegender und stehender Positionierung. In sitzender Position zeigten sich annähernd identisch wirkende Kaukräfte ohne signifikanten Unterschied bei Vergleich des Frontzahn- und Prämolarenbereiches. Der Vergleich zwischen Prämolaren und Molaren stellte sich in sitzender Position signifikant unterschiedlich dar. Ein Wechsel der Probanden-/innen-Positionierung (Positionseffekt) zeigte keine signifikante Änderung der gemessenen Kräfte in den betrachteten Bereichen (siehe Tabelle 9 und 10).

3.6.2 „Ideale Okklusion“

Für die vergleichende Betrachtung der Messbereiche in Interaktion mit der Probanden-/innen-Positionierung ergaben sich in liegender Position signifikant unterschiedlich wirkende Kaukräfte zwischen dem Frontzahn, Prämolaren- und Molarenbereich. In sitzender und stehender Position stellten sich die wirkenden Kaukräfte bei Vergleich des Frontzahn- und Molarenbereiches signifikant unterschiedlich dar, wohingegen der Vergleich des Frontzahn- und Prämolarenbereiches keine signifikanten Unterschiede aufzeigte. Positionseffekte innerhalb des betrachteten Bereiches konnten nicht aufgezeigt werden (siehe Tabelle 12 und 13).

3.6.3 Abweichung „ideale Okklusion“

Bei vergleichender Betrachtung der Messbereiche in Interaktion mit der Probanden-/innen-Positionierung ergaben sich in liegender, sitzender und stehender Positionierung signifikant unterschiedlich wirkende Kaukräfte zwischen dem Prämolaren- und Molarenbereich. Der Vergleich der wirkenden Kaukräfte zwischen dem Frontzahn- und Prämolarenbereich zeigte annähernde identisch wirkende Kaukräfte ohne Signifikanz. Positionseffekte innerhalb des betrachteten Bereiches konnten ebenfalls nicht aufgezeigt werden (siehe Tabelle 12 und 13).

3.6.4 Angle Klasse I

Für die vergleichende Betrachtung der Messbereiche in Interaktion mit der Probanden-/innen-Positionierung ergaben sich signifikant unterschiedlich wirkende Kaukräfte zwischen dem Frontzahn-, Prämolaren- und Molarenbereich in liegender Positionierung. In sitzender und stehender Position zeigte der Vergleich zwischen Prämolaren und Molaren signifikant unterschiedliche, der Frontzahn- und Prämolarenbereich annähernd identisch Kaukräfte ohne Signifikanz. Positionseffekte innerhalb des betrachteten Bereiches konnten ebenfalls nicht aufgezeigt werden (siehe Tabelle 15 und 16).

3.6.5 Angle Klasse II

Die vergleichende Betrachtung der Messbereiche in Interaktion mit der Probanden-/innen-Positionierung zeigte signifikant unterschiedlich wirkende Kaukräfte sowohl zwischen dem Prämolaren- und Molarenbereich, als auch dem Frontzahn- und Molarenbereich in liegender, sitzender und stehender Positionierung. Der Vergleich zwischen Frontzähnen und Prämolaren zeigte annähernd gleiche Kaukräfte ohne Signifikanz. Positionseffekte innerhalb des betrachteten Bereiches konnten hier für den Molarenbereich bei Wechsel zwischen sitzender und liegender Positionierung aufgezeigt werden (siehe Tabelle 15 und 16).

3.6.6 Angle Klasse III

Für die vergleichende Betrachtung der Messbereiche in Interaktion mit der Probanden-/innen-Positionierung ergaben sich lediglich in liegender und stehender Position für den Prämolaren- und Molarenbereich signifikant unterschiedlich wirkende Kaukräfte. Positionseffekte innerhalb des betrachteten Bereiches konnten ebenfalls nicht aufgezeigt werden (siehe Tabelle 15 und 16).

4 Diskussion

Die Zielsetzung der durchgeführten Untersuchung stellte die Bewertung der Korrelation zwischen habitueller Okklusion und der Positionierung von Patienten/-innen in der zahnärztlichen Behandlungseinheit dar. In der aktuellen Literatur vorliegende Daten sind nur eingeschränkt für die Bewertung dieser Fragestellung geeignet bzw. können nicht zur adäquaten Beurteilung der Relevanz der Patientenlagerung im zahnärztlichen Praxis-/Klinikalltag herangezogen werden. Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung zeigten signifikant abweichenden Kaukräfte in den betrachteten Bereichen des Zahnbogens auf. Bei Wechsel der Probanden/-innen-Positionierung sitzend zu liegend konnte eine Änderung der gemessenen relativen Kaukraft im Bereich der Molaren für die distale Bisslage (Klasse II) erfasst werden.

4.1 Kritische Bewertung Studiendesign und -durchführung

4.1.1 Material

Das T-Scan[®] III System zählt als digitales System zu den quantitativen Registrierungs- und Analyseverfahren der Okklusion. Hierzu liegen zahlreiche Studien vor, welche sich vor allem mit der klinischen Anwendbarkeit, aber auch mit der Reliabilität und der Reproduzierbarkeit des Systems befassten (Afrashtehfar and Qadeer, 2016, García et al., 1997, Gonzalez Sequeros et al., 1997, Koos et al., 2010). Garcia und Gonzales zeigten bereits für die vorausgegangene T-Scan[®] II Version eine interindividuelle Reproduzierbarkeit der erfassten Okklusionsflächen sowie eine geringe Kontaktpunktvarianz auf, sodass die Ergebnisse als gleichwertig zu etablierten qualitativen Verfahren betrachtet werden können (García et al., 1997, Gonzalez Sequeros et al., 1997, Maness et al., 1987, Maness and Podoloff, 1989). Koos et al. analysierten in einer klinischen Studie die potenziellen Messungenauigkeiten sowie die Reliabilität, den Einfluss des Folienwechsels und die Reposition des T-Scan[®] III Systems bei wiederholten Messungen. Die Messungenauigkeit wurde mit 2 %, die Variabilität mit 2,8 % angegeben. Es konnte keine signifikante Beeinflussung der Messwerte durch Folienwechsel oder Neupositionierung des Gerätes festgestellt

Diskussion

werden, sodass von einem präzisen und zuverlässigen Verfahren ausgegangen werden kann. Die vom Hersteller angegebene Dimensionsgenauigkeit der Folienstärke von 100 µm wurde ebenfalls bestätigt (Koos et al., 2010). Interferenzen der Okklusionsaufzeichnung um diesen Betrag können angenommen werden. Eine geringere Ausprägung erscheint jedoch gemäß Afrashtehfar und Quadeer, aufgrund der Kompressionseigenschaft der Folie auf bis zu 60 µm ebenfalls denkbar (Afrashtehfar and Qadeer, 2016). Die Validität und Reliabilität der integrierten Sensoren der T-Scan-Folie wurden durch Cerna et al. untersucht. Diese fielen in Bezug auf die wirkenden relativen Kaukräfte schwach aus. Die Quantifizierung der applizierten Kraftdauer zeigte jedoch einen hohen Grad an Validität und Reliabilität (Cerna et al., 2015). Das System ist folglich nach dem aktuellen wissenschaftlichen Stand in der Lage, eine quantifizierbare Kaukraft und den Aufbau der Interkuspitation im zeitlichen Verlauf mit genauer Lokalisationsangabe der wirkenden Kaukräfte graphisch und numerisch darzustellen. In der klinischen Anwendung bestätigte sich die korrekte Detektion bestehender Stör- und Frühkontakte. Ein Vergleich von kontralateral wirkenden Kaukräften ist für beide Quadranten sowie die posterioren und anterioren Zähne gegeben, sodass Kraftspitzen und Diskrepanzen zuverlässig dargestellt werden können (Afrashtehfar and Qadeer, 2016, Kerstein, 2008a, Kerstein, 2008b, Kerstein, 2004, Kerstein and Neff, 1993, Kerstein and Radke, 2012).

Als iatrogen eingebrachtes Fremdmaterial zwischen den okkludierenden Zahnoberflächen stellt die Sensorfolie des T-Scan® III jedoch selbst einen Störfaktor der habituellen Okklusion dar und beeinflusst diese. Verfahren und Systeme der Okklusionsaufzeichnung, deren Materialstärke über dem Schwellenwert der dentalen Propriozeptoren liegen, können zu einer veränderten Unterkieferposition sowie veränderten Zahnkontakten in der Interkuspitation führen (Anderson et al., 1993, Halperin et al., 1982). Die im Vergleich zu gängigen Okklusionsfolien (8 µm – 20 µm) deutlich höhere Dimension der Sensorfolie des T-Scan® III Systems (100 µm) bedingt, zusätzlich zur Beeinflussung der Okklusion durch die Folienstärke, eine größere Rigidität der Folie, welche ebenfalls die Bewegungsfreiheit des Unterkiefers im

Diskussion

Kieferschluss einschränken und limitieren kann. Ein Abgleiten der Mandibula während der Okklusionsaufzeichnung, bedingt durch die Rigidität und Materialstärke der Sensorfolie, wurde vor allem an den vorausgegangenen Versionen des T-Scan® System kritisiert (Harvey et al., 1991, Lyons et al., 1992, Patyk, 1989, Setz and Geis-Gerstorfer, 1990). Forrester et al. stellten ebenfalls Veränderungen der Muskelaktivität mittels Elektromyogramms bei Verwendung des T-Scan® III Sensorfolie (100 µm) und stärkeren Okklusionspapieren (202 µm) fest. Ausschlaggebend sei die höhere Rigidität und die damit verbundene Inkongruenz des Prüfmittels zur okklusalen Oberfläche. Analog hierzu beschrieben die Probanden/-innen einen subjektiv unkomfortablen Einfluss der Materialien auf den Schlussbiss (Forrester et al., 2011).

Die im klinischen Alltag übliche qualitative Okklusionsbewertung mittels farbiger Okklusionsfolien und Shimstockfolien zeigt diesbezüglich Vorteile hinsichtlich einer geringeren Materialstärke und -rigidität. Jedoch liegen auch bei diesen Verfahren Variablen vor, welche die genaue Wiedergabe der okklusalen Kontakte verzerren können. So beeinflussen die Mundfeuchtigkeit, das Vorhandensein scharfkantiger Abrasionsflächen, die physiologische Zahnbeweglichkeit und die umgebenden oralen Weichgewebe ebenfalls die Aussagekraft der detektierten Kontakte (Anderson et al., 1993, Reiber et al., 1989, Sharma et al., 2013).

Eine genaue wissenschaftliche Quantifizierung der vorhandenen Okklusionskontakte ist bei der alleinigen Verwendung analoger Okklusionsfolien nicht möglich (Kerstein, 2008a, Kerstein, 2008d, Reiber et al., 1989). Vergleichend für die analoge Okklusionsanalyse mittels Okklusionsfolie und digital per Intraoralscan Trios 3 (3Shape, Kopenhagen, DK) sowie dem T-Scan® Novus System (Tekscan Inc., South Bosten, MA, USA) konnten Heuser et al. verfahrensunabhängig eine ähnliche Anzahl der detektierten okklusalen Kontaktpunkte feststellen. Die Stärke und Position dieser differierten jedoch deutlich im Vergleich der verwendeten Systeme (Heuser et al., 2020). Dias et al. konnten für die vergleichende Bewertung des Okklusionsmusters ebenfalls nur

eine schwache Übereinstimmung bei der methodischen Aufzeichnung mittels Okklusionsfolie und dem T-Scan[®] III System nachweisen (Dias et al., 2020).

Nur das T-Scan[®] System ist bis dato in der Lage, eine quantifizierbare Kaukraft mitsamt zeitlichem Verlauf vom ersten Zahnkontakt bis zur maximalen Interkuspidation digital darzustellen und zu bewerten. Es ist diesbezüglich den geläufigen analogen, qualitativen Verfahren der Okklusionsanalyse überlegen (Afrashtehfar and Qadeer, 2016, Bozhkova, 2016, Qadeer et al., 2021). Eine Kombination dieses Verfahrens mit markierenden Folien, wie von Koos et al. gefordert, wurde aufgrund der geringen Spezifität der analogen Methodik und der spezifischen quantitativen Fragestellung in dieser Untersuchung bewusst nicht durchgeführt (Koos et al., 2010).

4.1.2 Methodik

Für die Erfassung und Aufzeichnung möglichst komparativer Ergebnisse wurde die Okklusionsanalyse und Probandenpositionierung im zahnärztlichen Behandlungsstuhl gemäß einem definierten und reproduzierbaren Protokoll von einem Untersucher durchgeführt, sodass die untersuchungsabhängigen Variablen, Sitzposition, Durchführung der Okklusionsregistrierung konstant ausfallen. Die Probanden/-innen wurden in definierter aufrecht sitzender Position (90° Sitzposition) mit aufrechter Haltung des Hinterkopfes, ohne Rotation in der Median-Sagittal-Ebene, ohne Dorso- oder Ventroflexion und Vorneigung, an der vorhandenen Nackenstütze platziert. Nach identischem Protokoll erfolgte die Positionierung in liegender Position in initialer Dorsoflexion des Kopfes, ohne Rotation in der Median-Sagittal-Ebene und Vorneigung des Kopfes. In aufrechter, stehender Position neben der zahnärztlichen Behandlungseinheit wurde ebenfalls auf den Ausschluss einer Rotation des Kopfes in der Median-Sagittal-Ebene, Dorso- oder Ventroflexion und Vorneigung geachtet. Die gewählten Untersuchungspositionen entsprechen sowohl den Extrempositionen der zahnärztlichen Behandlungseinheit als auch der gängigen und bewährten Positionierung von Patienten/-innen im klinischen Alltag.

Diskussion

Bereits zahlreiche Autoren bestätigten den wechselseitigen Zusammenhang zwischen habitueller Okklusion und Körperhaltung (Brenman, 1963, Chapman et al., 1991, Goldstein et al., 1984, Makofsky, 1989, 2000, Makofsky et al., 1991, Mc Lean et al., 1973, Posselt, 1952, Schwarz, 1928). Coelho et al. zeigten ebenfalls bei Veränderung der Probanden/-innen-Inklination von 90° auf 180° im zahnärztlichen Behandlungsstuhl eine posteriore Verschiebung des Unterkiefers in der habituellen Okklusion auf (Coelho et al., 2015). Intraindividuelle Veränderung der dynamischen Okklusion stellen sich ebenfalls in Abhängigkeit der Patienten/-innen-Lagerung dar (Spijker et al., 2011). Über den Zusammenhang zwischen habitueller Okklusion und Kopfhaltung herrscht weitestgehender Konsens. Rotationen des Kopfes in der Horizontal- und Vertikalebene führen zu einer Beeinflussung der Kondylenposition und somit zu einer Änderung der Okklusion (Chapman et al., 1991, Goldstein et al., 1984, Haralur et al., 2014, Katayama et al., 2018, Makofsky, 1989, Makofsky et al., 1991, Mc Lean et al., 1973, Ohmure et al., 2008, Posselt, 1952, Schwarz, 1928, Visscher et al., 2000). Das Vorstrecken des Kopfes unter Einhaltung der Frankfurter-Horizontal-Ebene nimmt ebenfalls signifikanten Einfluss auf die Ruhelage des Unterkiefers. Durch die bedingte Dorsalflexion der Nackenmuskulatur kann eine deutliche Posteriorverlagerung der Kondylenposition produziert werden (Ohmure et al., 2008, Preiskel, 1965).

Die bestehenden Erkenntnisse wurden bei durchgeführter Probanden/-innen-Positionierung vor und während der Okklusionsaufzeichnung berücksichtigt. Initiale Abweichungen der Position und die damit verbundene Beeinflussung der Ergebnisse sind im Bezug der interindividuellen Vergleichbarkeit und im Kontext einer realistischen Durchführung der Okklusionsaufzeichnung und -analyse im klinischen Arbeitsalltag als vernachlässigbar zu werten und entsprechen somit der Fragestellung.

Nach regelrechter Probanden/-innen- individueller Kalibrierung des T-Scan[®] III Systems und individueller Ausrichtung der T-Scan-Sensorfolie gemäß Studienprotokoll wurden die Studienteilnehmer/-innen zur habituellen Okklusion mittels Instruktion durch den Untersucher angeleitet. Kennzeichnend für die

Diskussion

habituelle Okklusion ist die mengenmäßig höchste Anzahl der detektierbaren Kontaktpunkte (Posselt, 1958) sowie eine ausgeglichene Aktivität der Kaumuskulatur (Jankelson, 1979). Zahlreiche Studien diskutieren partiell kontrovers den möglichen Einfluss der intraindividuell aufgebrauchten Kaukraft auf die Kontaktpunktverteilung und -anzahl. Riise et al. konnte eine deutlich geringere Kontaktpunktanzahl bei gering wirkenden Kaukräften gegenüber stärkeren Kaukräften nachweisen. Eine Zunahme der Kontaktpunktanzahl bei steigender Kaukraft stellte sich zugunsten der anterioren Zähne (FZ, PM) dar (Riise, 1982, Riise and Ericsson, 1983). Kraftassoziierte Veränderungen des Okklusionsmuster und eine Vergrößerung der okklusalen Kontaktflächen bei Zunahme der wirkenden Kaukraft wurden, elektromyographisch gestützt, jedoch hierzu konträr ebenfalls für den posterioren Molaren- und Prämolarenbereich aufgezeigt. Die größten Kontaktflächen stellten sich im Bereich der Molaren dar. Eine Veränderung der okklusalen Kontaktflächen im anterioren Zahnsegment konnte jedoch nicht nachgewiesen werden (Gurdsapsri et al., 2000, Imamura et al., 2015, Nishimori et al., 2017). Im Gegensatz hierzu stellten Obara et al. ein konstantes Okklusionsmuster bei elektromyographisch kontrollierter und erhöhter Kaumuskelaktivität fest. Die Ergebnisse wurden im Zuge der propriozeptionalen Rückkopplung im posterioren Kiefersegment und damit verbundener Limitation des Kieferschlusses, sowie der differenzierten Instruktionen der Probanden/-innen zum Kieferschluss bewertet. Die genaue Instruktion und Anleitung kann somit laut Obara et al. zu einer weitgehend stabilen Aufzeichnung der okklusalen Kontaktflächen beitragen (Obara et al., 2014). Unter Berücksichtigung dieser Forderung wurden die Studienteilnehmer/-innen der vorliegenden Untersuchung instruiert, die habituelle Okklusion bis zur individuell empfundenen gleichmäßigen Kontaktpunktverteilung mit kräftigen Kieferschluss, ohne Aufwendung der maximalen Kaukraft, einzunehmen und diese Position für drei Sekunden zu halten. Auf die Kontrolle der aufgewendeten Kaukraft mittels Oberflächenelektromyographie der kieferschließenden Muskulatur wurde aufgrund der eingeschränkten Umsetzbarkeit im klinischen Arbeitsalltag verzichtet.

Neben der aufgewendeten Kaukraft und dem detektierten Muskeltonus (Gurdsapsri et al., 2000, Imamura et al., 2015, Nishimori et al., 2017, Obara et al., 2014, Riise and Ericsson, 1983) können weitere komplexe und subjektive Parameter wie die Konzentration und Vigilanz (Berry and Singh, 1983) die habituelle Okklusion beeinflussen. Eine Berücksichtigung dieser Aspekte war in dem durchgeführten Versuchsaufbau nicht möglich. Etwaige tageszeitabhängige Variationen der Okklusion wurden bei durchgeführter Studie, im Bezug zur Durchführbarkeit im klinischen Arbeitsalltag, nicht berücksichtigt. Berry wies ebenfalls 1983 in einer kleinen Studiengruppe tageszeitabhängig differierende okklusale Kontakte nach und interpretierte diese als Resultat unterschiedlicher physischer Zustände der Kaumuskulatur sowie in Abhängigkeit der mentalen Verfassung der Studienteilnehmer/-innen (Berry and Singh, 1983).

Die Entscheidung, die Studienpopulation anhand der Angle-Klassifikation weiter zu differenzieren, erfolgte aufgrund der gängigen Anwendung dieser Unterteilung im zahnärztlichen Alltag sowie in der internationalen Literatur.

4.1.3 Probanden/-innen

Im Rahmen der durchgeführten Okklusionsanalyse wurden 59 Probanden/-innen bewertet. Mit 27 weiblichen (45,76 %) und 32 männlichen (54,24 %) Studienteilnehmer/-innen und einem Durchschnittsgesamalter von $27,81 \pm 4,01$ Jahren setzt sich die Studienpopulation somit einheitlich aus jungen erwachsenen Teilnehmer/-innen mit einer homogenen Geschlechterverteilung zusammen. Durch vorab durchgeführtes CMD-Screening gemäß Ahlers und Jakstat konnte eine höhere Prävalenz vorhandener myofunktionseller Störungen, wie Minervini et al. in einer systematischen Literaturrecherche für weibliche Personen beschrieb (Minervini et al., 2023), für das inkludierte Studienkollektiv ausgeschlossen werden.

Eine Beeinflussung der Ergebnisse durch das Geschlecht der Probanden ist aufgrund der gleichmäßigen Verteilung nicht anzunehmen. Eine größere Varianz des Alters der Probanden/-innen wäre in Bezug auf die Vergleichbarkeit zur zahnmedizinischen Klinik erstrebenswert, jedoch aufgrund der mit steigenden

Probanden/-innenalter erhöhten Inzidenz und Prävalenz an restaurativen oder prothetischen Versorgungen, fehlenden Zähnen und somit einer reduzierten natürlichen Dentition sowie Parodontalerkrankungen (Jordan et al., 2014) als negativ für die korrekte, möglichst unbeeinflusste Bewertung der Okklusion zu sehen.

Wie bereits in Kapitel 4.1.2 angeführt, ist von einer inter- und intraindividuellen Variabilität des stomatognathen Systems und der Interkuspitation im untersuchten Studienkollektiv auszugehen. Die individuell applizierte Kaukraft (Ferrario et al., 2002, Gurdapsri et al., 2000, Imamura et al., 2015, Nishimori et al., 2017, Riise, 1982, Riise and Ericsson, 1983) sowie die Konzentration, der Muskeltonus und die Motivation der Probanden/-innen (Berry and Singh, 1983) kann nicht als konstant angesehen werden.

4.1.4 Bewertung der Ergebnisse

Deskriptiv wurden die stärksten Kaukräfte an den ersten Molaren und an den zweiten Molaren, gefolgt von den zweiten Prämolaren und den ersten Prämolaren erfasst. Die geringsten Kräfte konnten an den seitlichen Schneidezähnen detektiert werden. Eine annähernde Symmetrie dieser Werte im kontralateralen Vergleich ist nachvollziehbar. Für den im Zahnbogen betrachteten Bereich (FZ, PM, M) zeigten sich in der durchgeführten Studie hierzu entsprechende Werte in Summation. Für die Molaren stellte sich die prozentuale Krafterwirkung am stärksten (Li = 52,89 %, Si = 51,19 %, St = 52,07 %), gefolgt von den Prämolaren (Li = 25,09 %, Si = 24,77 %, St = 24,75 %) und den Frontzähnen (Li = 19,71 %, Si = 21,76 %, St = 20,61 %) dar. Die wirkenden Kaukräfte unterscheiden sich in den Bereichen der Frontzähne, Prämolaren und Molaren signifikant. Die Nullhypothese kann somit nicht bestätigt werden. Die wirkenden relativen Kaukräfte sind nicht gleichmäßig auf den Verlauf des Zahnbogens verteilt. Das Zentrum der relativen Kaukraft ist im Bereich der ersten Molaren, gefolgt von den zweiten Molaren lokalisiert.

Die erfassten Ergebnisse entsprechen mitunter den vorausgegangenen Untersuchungen von Koos et al., Quadeer et al. und Garcia et al. sowie der

gängigen wissenschaftlichen Auffassung eines Zentrums der Kaukraft (Koos et al., 2010, Kumagai et al., 1999, Ma et al., 2013, Qadeer et al., 2016).

So konnten Koos et al. in ihrem Studienkollektiv eine Kraftverteilungsspanne von 0 – 41%, mit einem mittleren Messwert von 6,9 % sowie einer Standardabweichung von 6,3 % je okkludierenden Zahn nachweisen. Große Kräfte wurden hier ebenfalls im Bereich der Molaren mit 30 – 41 % erfasst, wobei seitliche Inzisiven ebenfalls häufig keine antagonistischen Kontakte aufzeigten (Koos et al., 2010). In der Bewertung des temporären Kraftaufbaus und den korrelierenden antagonistischen Kontakten konnten durch Koos et al. sowohl initiale Molaren-, als auch Frontzahnkontakte festgestellt werden. Diesen initialen Inzisivenkontakten wird im zeitlichen Aufbau der IKP eine Führungsfunktion zugeordnet, sodass eine kontrollierte Kraftdistribution nach posterior erfolgen kann. Mit voranschreitender Interkuspitation zeigte sich die überwiegende Anzahl der Kontaktpunkte im Molaren- und Prämolarenbereich (Koos et al., 2012). Okeson beschrieb dementsprechend die Biomechanik der statischen Okklusion bis zum Vorliegen des ersten initialen Zahnkontaktes als arthrogen und primär muskulär geführt (Okeson, 2019), sodass von einer Variabilität der initialen Kontakte ausgegangen werden kann. Qadeer et al. konnten gleichfalls in ihrer Studienpopulation initiale Kontakte an den Molaren und zentralen Inzisiven im Aufbau der Interkuspitation messen. Die größten Kaufkräfte stellten sich ebenfalls im Molarenbereich (15,9 % – 25,4 %) dar (Qadeer et al., 2016). Analog hierzu zeigten Studien von Garcia et al. und Gonzales Sequeros et al. unter Verwendung des T-Scan[®] die höchste Kontaktpunktzahl an den zweiten Molaren (García et al., 1997, Gonzalez Sequeros et al., 1997). Auch die größte Verteilung der absolute Kaukräfte, wurden von Kumagai et al., elektromyographisch kontrolliert, für die Molarenregion festgestellt. Bei zunehmender Muskelaktivität zeigte sich eine lineare Zunahme der wirkenden Kaukraft, der okkludieren Kontaktfläche und der Anzahl der Okklusionskontakte im Molarenbereich. Im Gegensatz hierzu nahm die wirkende Kaukraft mit zunehmender Muskelaktivität im Frontzahn- und Prämolarenbereich ab (Kumagai et al., 1999).

Diskussion

An dieser Stelle sei auf die durchschnittlich größten metrischen Werte der Wurzeloberfläche im Molarenbereich (Jepsen, 1963), der damit korrelierenden Anzahl an desmodontalen Fasern sowie der Belastbarkeit dieser Zähne und der spezifischen Morphologie der Zahnkronen verwiesen (Lehmann et al., 2014). Eine Erklärung für die geringe Kraffteinwirkung im Bereich der seitlichen Inzisiven kann sowohl in der Führungsposition der zentralen Schneidezähne während des Interkuspidationsvorganges (Koos et al., 2012) und deren anteriorer Position im Zahnbogen gesehen werden. Des Weiteren können ein großer Overjet und großer Overbite zu einer übermäßigen Verwindung der Sensorfolie im anterioren Fronzahnsegment führen und somit eine Fehlerquelle, mit daraus bedingten falsch positiven und falsch negativen Kontaktarealen ohne zuverlässige Zuordnung, darstellen (Afrashtehfar and Qadeer, 2016, Kerstein, 2008c, Koos et al., 2010, Throckmorton et al., 2009).

Eine signifikante Abweichung der wirkenden Kaukräfte konnte in den betrachteten Bereichen (FZ, PM, M), in der vorliegenden Studie, durch Wechsel der Probanden/-innen Positionierung (Si, Li, St) nicht aufgezeigt werden. Unter Berücksichtigung der bereits angeführten bestehenden wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Korrelation der dentalen Okklusion und der Körperhaltung bzw. der Aktivität der Nackenmuskulatur muss die Einordnung dieser Ergebnisse kritisch erfolgen (Brenman, 1963, Chapman et al., 1991, Coelho et al., 2015, Funakoshi et al., 1976, Goldstein et al., 1984, Haralur et al., 2014, Hellmann et al., 2012, Katayama et al., 2018, Makofsky, 1989, 2000, Makofsky et al., 1991, Mc Lean et al., 1973, Ohmure et al., 2008, Posselt, 1952, Preiskel, 1965, Schwarz, 1928, Visscher et al., 2000). Die durch Coelho et al. aufgezeigte posteriore Reposition der Mandibula bei Inklinationsänderung von 90° zu 180°, erscheint vor dem Hintergrund der Trajektorie des Kieferschlusses (Goldstein et al., 1984), der „sliding cranium theory“ (Makofsky, 1989) und durch eine Posteriorverlagerung der Kondylen, bedingt durch Dorsalflexion der Nackenmuskulatur (Ohmure et al., 2008, Preiskel, 1965) anatomisch nachvollziehbar. Somit können Inklinationsänderungen des zahnärztlichen Behandlungsstuhles während der Okklusionsanalyse Faktoren darstellen, welche im anatomisch verbundenen funktionellen System

Diskussion

(Korbmacher et al., 2004) aus Kaumuskulatur, suprahyoidaler-, infrahyoidaler Muskulatur und antagonistischer Nackenmuskulatur (Sander et al., 2011) die Interkuspitation beeinflussen. Die gewählten Untersuchungspositionen im Sitzen und Liegen zeigen sich hierzu vergleichbar, sodass in der durchgeführten Studie ebenfalls eine Beeinflussung der Interkuspitation im Sinne einer Varianz der relativen Kaukräfte in Abhängigkeit der Probanden/-innen Positionierung anzunehmen war.

Für die stehende Okklusionsaufzeichnung waren statistisch nicht signifikant abweichende relative Kaukräfte vergleichend zur sitzenden Position zu erwarten. Dies konnte durch die vorliegenden Ergebnisse bestätigt werden, sodass die Nullhypothese bestätigt werden kann.

Entsprechend einer posterioren Reposition des Unterkiefers wurden für die liegende Positionierung statistisch signifikant höher wirkende Kaukräfte im Molarenbereich sowie statistisch signifikant geringere Kräfte im Frontzahnbereich gegenüber der sitzenden Positionierung erwartet. Hinweise hierfür liegen anhand der erfassten Kaukräfte vor, jedoch ohne statistische Signifikanz. Vor dem Hintergrund der bereits aufgeführten Literatur und der bestehenden zahlreichen wissenschaftlichen Erkenntnisse kann trotz fehlender Signifikanz und Bestätigung der Nullhypothese in der durchgeführten Studie eine nachweisbare Varianz der habituellen Okklusion durch die Positionsänderung sitzend zu liegend nicht ausgeschlossen werden.

Eine neuromuskuläre Kompensation, mit reflektorisch initialen und verstärkten frontalen Führungskontakten während des Interkuspitationsvorganges v.a. in liegender Position sowie eine Variabilität dieser Kontakte muss bei Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden (Koos et al., 2012). Des Weiteren ist kritisch zu betrachten, ob die Verteilung der relativen Kaukraft im Zahnbogen als idealer Indikator für Repositionsänderungen der Mandibula bei Positionsänderungen der Probanden/-innen angesehen werden kann. Unter Berücksichtigung der bereits aufgeführten klinisch bestätigten Reliabilität, Reproduzierbarkeit und geringen Varianzen des T-Scan ® III System sowie der angewandten Methodik ist von einem verlässlichen und wissenschaftlich belegten Verfahren auszugehen

Diskussion

(Afrashtehfar and Qadeer, 2016, Bozhkova, 2016, García et al., 1997, Gonzalez Sequeros et al., 1997, Koos et al., 2010, Qadeer et al., 2021). Verfahrenabhängige Messungenauigkeiten sowie eine Beeinflussung der Ergebnisse durch die Rigidität (Harvey et al., 1991, Lyons et al., 1992, Patyk, 1989, Setz and Geis-Gerstorfer, 1990), die Materialstärke (Anderson et al., 1993, Forrester et al., 2011, Halperin et al., 1982) und Verwindungen der Sensorfolie (Afrashtehfar and Qadeer, 2016, Kerstein, 2008c, Koos et al., 2010, Throckmorton et al., 2009) können jedoch nicht ausgeschlossen werden. Eine übermäßige Bewertung der relativen Kaukraft bzw. falsch positive Kontakte im Frontzahnbereich sind hier, vor dem Hintergrund der bereits angeführten anatomischen posterioren Reposition der Mandibula und der darauffolgenden reflektorischen Aufsuchung der IKP über die Führungsflächen der Inzisiven in liegender Positionierung denkbar.

Trotz eines klar definierten und reproduzierbaren Studienprotokolls können keine identischen neuromuskulären Aktivitäten der Studienteilnehmer/-innen vorausgesetzt werden. Im Zuge der Vergleichbarkeit zur Praktikabilität des klinischen Alltages wurde bewusst auf eine weitere Verifizierung verzichtet. Initiale Abweichungen wurden als vernachlässigbar gewertet. Vor dem partiell diversen wissenschaftlichen Hintergrund kraftassoziierter Einflüsse auf die dentale Okklusion erscheint jedoch eine Beeinflussung der Ergebnisse aufgrund fehlender Quantifizierung, als auch aufgrund individueller Parameter denkbar (Gurdsapsri et al., 2000, Imamura et al., 2015, Nishimori et al., 2017, Obara et al., 2014, Riise, 1982, Riise and Ericsson, 1983). Diese Faktoren stellen somit die Restungenauigkeit des Verfahrens dar, sodass eine ideale Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus dieser Perspektive schwierig erscheint.

Die weitere Differenzierung der Studienpopulation nach der vorliegenden Okklusion in die Gruppe der „idealen Okklusion“ (n=35), und Angle Klasse I (n=40), Angle Klasse II (n=14) und Angle Klasse III (n=4) zeigte deskriptiv analog starke Kaukräfte an den Molaren, gefolgt von den Prämolaren und den Frontzähnen. Aufgrund der geringen Fallzahl der ausdifferenzierten Gruppierung stellte sich die weiterführende statistische Analyse als wenig belastbar dar. Der Stichprobenumfang wurde zwar durch eine vorab durchgeführte statistische

Diskussion

Fallzahlschätzung für die komplette Studienpopulation ermittelt, jedoch weisen die differenzierten Gruppen entsprechend der üblichen Verteilung innerhalb der Bevölkerung keine gleichmäßige Verteilung sowie eine teils zu geringe Fallzahl auf.

Die Kaukräfte unterschieden sich mit eingeschränkter Aussagekraft sowohl für die „ideale Okklusion“, als auch Angle Klasse I und Angle Klasse II in den Bereichen der Frontzähne, Prämolaren und Molaren. Bei vorliegender Angle Klasse III lagen keine Unterschiede vor. Dies kann aufgrund der geringen Fallzahl der Angle Klasse III (n=4) begründet sein. Eine Varianz der wirkenden Kaukräfte in den betrachteten Bereichen (FZ, PM, M) konnte durch Wechsel der Probanden/-innen Positionierung (Si, Li, St) für die Gruppierung der „idealen Okklusion“, der Angle Klasse I und Angle Klasse III nicht aufgezeigt werden. Abweichende Kaukräfte wurden, statistisch nicht belastbar, bei vorliegender Angle Klasse II im Molarenbereich unter Positionsänderung liegend zu sitzend detektiert. Diese Ergebnisse können dennoch im Kontext der spezifischen sagittalen dentoalveolären Relation interpretiert und anhand der vorliegenden Literatur diskutiert werden.

Die hierzu vorliegenden Studien befassten sich zumeist mit den maximal wirkenden Kaukräften in Relation zu vorliegender okklusaler Klassifikation nach Angle (Araújo et al., 2014, Sathyanarayana et al., 2012, Singh et al., 2012, Sonnesen and Bakke, 2005, Turkistani et al., 2023). Es liegen partiell kontroverse Ergebnisse vor, wobei bei alleiniger Bewertung der Kaukraft im Seitenzahnbereich kein Zusammenhang zwischen Kaukraft und Angle-Klassifikation festgestellt werden konnte (Araújo et al., 2014, Sathyanarayana et al., 2012, Sonnesen and Bakke, 2005). Singh et al. konnten in Ihrer Studie ebenfalls keine Unterschiede der maximalen Kaukraft sowohl im Inzisiven-, als auch im Molarenbereich zwischen den Gruppierungen nach Angle-Klassifikation nachweisen (Singh et al., 2012). Konträr hierzu stellte Araújo et al. differierende Kaukräfte für Probanden/-innen nach vorliegender sagittaler Okklusion bzw. Malokklusion fest (Araújo et al., 2014). Auch Turkistani et al. konnten gleichfalls durch Verwendung des T-Scan® III Systems, in einer großen

Diskussion

Studienpopulation (n=132) signifikante Unterschiede des anterioren-posterioren Verhältnisses der Kaukräfte und der sagittalen dentalen Relation (Angle-Klassifikation) bestätigen. Bei einer vorliegenden Angle Klasse III stellte sich dieses Verhältnis deutlich größer dar als in der Angle Klasse I und II, wobei die höhere Kaukraft hier im Seitenzahnbereich lokalisiert wurde (Turkistani et al., 2023). Mit Ausnahme dieser angeführten Studie sind kaum vergleichbare und statistisch belastbare Studien vorhanden, welche die Varianz der anterioren-posterioren okklusalen Kraftverteilung im Zahnbogen in Abhängigkeit der sagittalen Bisslage erfassen. Die zusätzliche Bewertung der Lagerung von Probanden/-innen ist, wie in der durchgeführten Studie erfolgt, bis dato nicht beschrieben.

Vor dem Hintergrund des bereits beschriebenen Zusammenhanges zwischen Körperhaltung bzw. Patienten/-innenlagerung und Okklusion, einer posterioren Reposition der Mandibula in liegender Position, sowie der von Turkistani et al. beschriebenen anterioren-posterioren Kaukraftverteilung in Abhängigkeit der Angle-Klassifikation, können die vorliegenden Ergebnisse trotz fehlender statistischer Signifikanz als Indizien gesehen werden, dass okklusale Merkmale, wie die dentale Angle-Klassifikation, die Verteilung der Kaukraft im Zahnbogen beeinflussen bzw. zu einer Verstärkung der lagerungsabhängigen Okklusionsabweichungen führen können.

4.2 Schlussfolgerung

Nach kritischer Betrachtung der durchgeführten Studie und unter Berücksichtigung der vorhandenen, aktuellen wissenschaftlichen Literatur kann gefolgert werden, dass sich die Ergebnisse und Erkenntnisse in den mehrheitlichen wissenschaftlichen Konsens einordnen lassen. Unter Berücksichtigung des vielseitig untersuchten und bestätigten alternierenden Zusammenhanges zwischen Körper- und Kopfhaltung bzw. der Patientenlagerung und der dentalen Okklusion, des validen und reliablen Verfahrens der quantitativen Okklusionsanalyse mittels T-Scan[®] III, sowie der praxisnahen Methodik, erschien die durchgeführte Untersuchung lohnend.

Die durchgeführte Studie wurde mit einer möglichst einfachen Verifizierung der einheitlichen Lagerung der Studienteilnehmer/-innen im zahnärztlichen Behandlungsstuhl konzipiert, um eine vergleichbare Projektion zu den geläufigen Behandlungsabläufen im zahnärztlichen Alltag zu gewährleisten. Auf eine zusätzliche quantitative Ermittlung der absoluten Kaukraft mittels EMG, welche zur Reliabilität und Vergleichbarkeit der ermittelten Ergebnisse beigetragen hätte, wurde aus oben beschriebenen Gründen verzichtet. Eine Beeinflussung der ermittelten Werte durch das Prüfmittel, die Sensorfolie des T-Scans[®] III, sowie intraindividuelle Abweichungen sind kritisch zu betrachten und spiegeln die Restungenauigkeit des verwendeten Verfahrens wider. Hierbei ist zu erwähnen, dass bis dato kein einheitlicher Gold-Standard der analogen und digitalen Okklusionsanalyse und -diagnostik definiert wurde. Des Weiteren stellt jedes verwendete Verfahren per se eine Abweichung der natürlichen unbeeinflussten Okklusion dar.

Für die Betrachtungsbereiche Frontzähne, Prämolaren und Molaren konnten reliable unterschiedlich wirkende Kaukräfte aufgezeigt werden. Positionierungseffekte, die Änderung der wirkenden Kaukraft in den betrachteten Bereichen durch einen Positionswechsel (sitzend, liegend und stehend), konnten nicht festgestellt werden. Einzig bei Studienteilnehmer/-innen mit einer vorliegenden Angle Klasse II, zeigten sich Positionseffekte im Molarenbereich bei

Diskussion

Vergleich der sitzenden und liegenden Position, mit eingeschränkter Aussagekraft.

Die Relevanz des Ausmaßes der in dieser Studie ermittelten Ergebnisse für die zahnärztliche Behandlung sollte interventionsindividuell und hinsichtlich der fachspezifischen Relevanz durch jeden/jede Behandler/-in selbst bewertet werden. Trotz fehlender Signifikanz kann gefolgert werden, dass die Lagerung des/der Patienten/-in Auswirkungen auf die Kraftverteilung im Zahnbogen nehmen kann, welche durch okklusale Merkmale, abweichend von einer eugnathen Verzahnung, verstärkt werden können.

Des Weiteren gilt zu beachten, dass vor allem die physiologische Lagerung, Rotation und Flexion des Kopfes, neben der Positionierung des Körpers, eine nach wissenschaftlichen Erkenntnissen relevantere Rolle in der Interkuspidationsbildung einnimmt. Für den Zusammenhang zwischen Kopfhaltung und Okklusion liegen zahlreiche valide Studien vor, sodass der deutliche Einfluss der Kopf-Hals-Position auf die Interkuspidation als wissenschaftlich etabliert angesehen werden kann.

Beide Parameter, die Körperhaltung sowie Kopfneigung, können im klinischen Alltag individuell angepasst werden und sollten Beachtung finden.

5 Zusammenfassung

Die vorgestellte prospektive Studie untersuchte und bewertete positionierungsabhängige Abweichungen der statischen, habituell eingenommenen Okklusion im zahnärztlichen Behandlungsstuhl. Als zentrale Fragestellung wurde das Vorliegen bzw. das Ausmaß einer Veränderung der relativen Kaukraftverteilung im Zahnbogen durch einen Wechsel der Untersuchungsposition (sitzend, liegend, stehend) definiert.

Hierfür erfolgte eine quantitative digitale Okklusionsanalyse der relativen Kaukraftverteilung für 59 Probanden/-innen durch das T-Scan® III System in den fest definierten einheitlichen Untersuchungspositionen sitzend, liegend und stehend in der zahnärztlichen Behandlungseinheit KaVo Estetica E80 Vision. Zur Visualisierung und Dokumentation der vorliegenden sagittalen, transversalen und vertikalen Okklusion sowie der Dentition erfolgte ein Intraoralscan mittels Trios 3. Die angewandten Materialien stellen wissenschaftlich validierte, erprobte und gängige Verfahren der dentalen Befundung sowie der Okklusionsanalyse und Okklusionsdiagnostik dar.

Die deskriptive und statistische Auswertung der Ergebnisse zeigte die größten quantifizierbaren Kaukräfte im Bereich der Molaren, gefolgt von den Prämolaren. Der Frontzahnbereich erfuhr die geringste Krafteinwirkung. Für die gesamte Studienpopulation konnten keine Positionseffekte bzw. keine signifikanten Änderungen der relativen Kaukraftverteilung durch einen Positionswechsel aufgezeigt werden. Für die Studienteilnehmer/-innen mit einer vorliegenden Angle Klasse II konnten abweichende Kaukräfte im Molarenbereich bei direktem Vergleich der Positionen liegend und sitzend dargestellt werden.

Unter Berücksichtigung der validen Methodik, des vielfach beschriebenen wissenschaftlich belegten und wechselseitigen Zusammenhanges zwischen Körperhaltung, Kopf-Hals-Position und -Inklination sowie dentaler Okklusion, kann von einer positionierungsabhängigen statischen Okklusion ausgegangen werden. Vorliegende dentoalveoläre Abweichungen von einer eugnathen Okklusion könnten diesen Effekt verstärken. Die Bewertung der Relevanz der aufgeführten Ergebnisse und deren Diskussion bleibt, für den klinischen

Zusammenfassung

Arbeitsalltag fachspezifisch, patienten- und interventionsindividuell, jedem/jeder zahnmedizinisch tätigen Kollegen/-in überlassen.

6 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Erhobene klinische Befunde und spezielle Anamnese	33
Tab. 2: Innersubjektfaktoren – Statistische Methodik	36
Tab. 3: Ergebnisse kieferorthopädische Befunde, CMD-Screening Übersicht; Mittelwert, Standardabweichung (SD), Schneidekantendistanz (SKD), Mittellinienverschiebung (MLV)	39
Tab. 4: Differenzierung der kieferorthopädischen Befunde, CMD-Screening nach vorliegender Angle Klassifikation	41
Tab. 5: Verteilung der relativen Kaukraft nach Betrachtungsbereich (Gesamt, FZ, PM, M) bei unterschiedlicher Positionierung der Probanden/- innen, Mittelwerte in %	43
Tab. 6: Verteilung der relativen Kaukraft: singuläre Betrachtung einzelner Zähne im OK bei unterschiedlicher Positionierung der Probanden/- innen für die gesamte Studienpopulation, weibliche und männliche Studienteilnehmer/-innen	46
Tab. 7: Verteilung der relativen Kaukraft: singuläre Betrachtung einzelner Zähne im Oberkiefer bei unterschiedlicher Positionierung der Probanden/-innen bei einer vorliegenden Angle Klasse I, II und III oder einem posterioren Kreuzbiss	48
Tab. 8: Deskriptive Statistik gesamte Studienpopulation; Frontzähne (FZ), Prämolaren (PM), Molaren (M)	49
Tab. 9: Paarweise Vergleiche Bereich*Position (Bereichseffekte innerhalb der Position). Abkürzungen: Std.=Standard	51
Tab. 10: Paarweise Vergleiche Bereich*Position (Positionseffekte innerhalb des Bereiches)	52
Tab. 11: Deskriptive Statistik Differenzierung der Studienpopulation nach Vorliegen einer „idealen Okklusion“	54
Tab. 12: Paarweise Vergleiche Bereich*Position Differenzierung „ideale Okklusion“ (Bereichs-effekte innerhalb der Position)	57
Tab. 13: Paarweise Vergleiche Position*Bereich Differenzierung „ideale Okklusion“ (Positionseffekte innerhalb des Bereiches)	59
Tab. 14: Deskriptive Statistik: Differenzierung der Studienpopulation nach der Angle Klassifikation	62
Tab. 15: Paarweise Vergleiche Bereich*Position Differenzierung nach Angle Klassifikation (Bereichseffekte innerhalb der Position). Abkürzungen: Li= liegend, Si= sitzend, St= stehend	65
Tab. 16: Paarweise Vergleiche Position*Bereich Differenzierung nach Angle Klassifikation (Positionseffekte innerhalb des Bereiches)	68

7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Darstellung der Angle-Klassifikation nach Pancherz (2018)	3
Abb. 2: Darstellung der sagittalen Frontzahnstufe (a=positive Stufe, b=regelrechte Stufe, c=negative Stufe) nach Sander et al. (2011)	4
Abb. 3: Transversale Darstellung: Tripodisierung der Okklusion mit A-Kontakt (a), B-Kontakt (b) und C-Kontakt (c) nach Gernet et al. (2017)	5
Abb. 4: Darstellung der vertikalen Frontzahnstufe (a=regelrechter vertikaler Überbiss, b=tiefer Biss, c=offener Biss) nach Sander et al. (2011)	6
Abb. 5: Darstellung der Kieferregion als integraler Bestandteil der anterioren Funktionskette im Gleichgewicht mit hinterer Funktionskette nach Sander et al. (2011).....	14
Abb. 6: Anwendungseinheit T-Scan ® III: bestehend aus einem Laptop, Software, Sensorhandstück und Sensorfolie	23
Abb. 7: Sensorhandstück mit eingespannter Sensorfolie (Gr. L) (rechts); Sensorfolien Gr. S (mittig), und Sensorfolienhalter Gr. S (links oben) und Sensorfolienhalter Gr. L (links unten)	24
Abb. 8: Bestimmung der mesio-distalen Breite des oberen mittleren Inzisivus mithilfe eines Lineals des Münchener Modells	24
Abb. 9: KaVo Estetica E80 Vision mit Probandin in aufrecht sitzender Position.....	26
Abb. 10: KaVo Estetica E80 Vision mit Probandin in liegender Position	26
Abb. 11: Klinische Anwendung T-Scan ® III bei stehender Probandin in aufrechter Körperhaltung und Kopfhaltung	27
Abb. 12: Auswertung des CMD-Kurzbefundes nach Ahlers und Jakstat (dentaConcept Verlag, Hamburg).....	29
Abb. 13: Klinische Anwendung T-Scan ® III: korrekte Größenwahl von Sensorfolie und Sensorfolienhalter, korrekte Positionierung des Inzisaldornes labial-approximal 11/21 und symmetrische Ausrichtung zum transversalen Verlauf des Zahnbogens sowie planum buccale ...	31
Abb. 14: Klinische Anwendung T-Scan ® III: parallele Ausrichtung des Handstückes zur Okklusionsebene.....	31
Abb. 15: Digitale Okklusionsanalyse mittels T-Scan ® III (drei Aufnahmen, sitzend gelagerter Proband/-in), Zeitpunkt der höchsten relativen Kaukraft pro Messung rot markiert.....	34
Abb. 16: Digitale Okklusionsanalyse mittels T-Scan ® III (drei Aufnahmen, sitzend gelagerter/-e Proband/-in), identisch hohe relative Werte der Kaukraft innerhalb dieser Messung, rot markiert	34

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 17: Relative Kaukraft Position-Bereich der gesamten Studienpopulation. Kaukräfte unterscheiden sich an Molaren (M), Prämolaren (PM) und Frontzähnen (FZ) in liegender und stehender Position signifikant; in sitzender Position zeigen sich an FZ und PM keine signifikanten Unterschiede; es liegen keine signifikanten Positionseffekte vor 53
- Abb. 18: Relative Kaukraft Position-Bereich, Differenzierung Abweichung der „idealen Okklusion“. Kaukräfte unterscheiden sich an Molaren (M) und Prämolaren (PM) sowie M und Frontzähne (FZ) signifikant; Kaukräfte an FZ und PM zeigten keine signifikanten Unterschiede; es liegen keine signifikanten Positionseffekte vor..... 60
- Abb. 19: Relative Kaukraft Position-Bereich Differenzierung Angle Klasse III. Kaukräfte unterscheiden sich im Bereich der Molaren (M) und Prämolaren (PM) in liegender und stehender Position signifikant; der Vergleich im Bereich der Frontzähne (FZ) und PM zeigte in allen Positionen keine signifikanten Unterschiede; es liegen keine signifikanten Positionseffekte vor 69
- Abb. 20: Relative Kaukraft Position-Bereich Differenzierung Angle Klasse II. Kaukräfte unterscheiden sich im Bereich der Molaren (M) und Prämolaren (PM) in liegender, sitzender und stehender Position signifikant; der Vergleich im Bereich der Frontzähne (FZ) und PM zeigte in allen Positionen keine signifikanten Unterschiede; es liegen Positionseffekte im Betrachtungsbereich der M bei Wechsel liegender und sitzender Position vor..... 69
- Abb. 21: Relative Kaukraft Position-Bereich Differenzierung Angle Klasse I. Kaukräfte unterscheiden sich im Bereich der Molaren (M), Prämolaren (PM) und Frontzähne (FZ) in liegender Position signifikant; der Vergleich im Bereich der FZ und PM zeigte in sitzender und stehender Position keine signifikanten Unterschiede; es liegen keine signifikanten Positionseffekte vor..... 70

8 Literaturverzeichnis

- AFRASHTEHFAR KI and QADEER S 2016. Computerized occlusal analysis as an alternative occlusal indicator. *CRANIO®*, 34, 52-57.
- AHLERS MO, BIFFAR R, BUMANN A, FREESMEYER WB, FUCHS WB, HUGGER A et al. 2006. Terminologie der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie (DGFD) und der Deutschen Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (DGzPW) (verabschiedet 01.09.2005). *DZZ*, 01/2006.
- AHLERS MO and JAKSTAT HA 2015. CMD-Screening mit dem „CMD-Kurzbefund“. *ZWR-Das Deutsche Zahnärzteblatt*, 124, 102-106.
- ALANI A and PATEL M 2014. Clinical issues in occlusion–Part I. *Singapore dental journal*, 35, 31-38.
- ANDERSON GC, SCHULTE JK and AEPPLI DM 1993. Reliability of the evaluation of occlusal contacts in the intercuspal position. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 70, 320-323.
- ANDERSON JR JR and MYERS GE 1971. Nature of contacts in centric occlusion in 32 adults. *Journal of dental research*, 50, 7-13.
- ANDREWS LF 1972. The six keys to normal occlusion. *Am J Orthod*, 62, 296-309.
- ANGLE EH 1899. Classification of malocclusion. *Dent. Cosmos*, 41, 350-357.
- ARAÚJO SCCSD, VIEIRA mm, GASPAROTTO CA and BOMMARITO S 2014. Bite force analysis in different types of angle malocclusions. *Revista CEFAC*, 16, 1567-1578.
- BECKER I 1995. Occlusion as a causative factor in TMD. Scientific basis to occlusal therapy. *The New York State Dental Journal*, 61, 54-57.
- BERRY D and SINGH B 1983. Daily variations in occlusal contacts. *The Journal of prosthetic dentistry*, 50, 386-391.
- BOZHKOVA TP 2016. The T-SCAN System in Evaluating Occlusal Contacts. *Folia Med (Plovdiv)*, 58, 122-130.
- BRENMAN HS 1963. Postural effects on occlusion. *Dent Prog*, 4, 43-47.
- BUMANN A, LOTZMANN U, RATEITSCHAK KH and WOLF HF 2000a. *Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien*, Thieme.
- BUMANN A, LOTZMANN U, RATEITSCHAK KH and WOLF HF 2000b. *Funktionsdiagnostik und therapieprinzipien. (No Title)*.
- CAREY JP, CRAIG M, KERSTEIN RB and RADKE J 2007. Determining a relationship between applied occlusal load and articulating paper mark area. *The Open Dentistry Journal*, 1, 1.
- CERNA M, FERREIRA R, ZAROR C, NAVARRO P and SANDOVAL P 2015. In vitro evaluation of T-Scan® III through study of the sensels. *CRANIO®*, 33, 300-306.
- CHAPMAN R, MANESS W and OSORIO J 1991. Occlusal contact variation with changes in head position. *International Journal of Prosthodontics*, 4.
- CLARK JR and EVANS RD 2001. Functional occlusion: I. A review. *J Orthod*, 28, 76-81.
- COELHO MF, DAS NEVES CAVALCANTI B, NEVES ACC, JÓIAS RP and DE MELLO RODE S 2015. Influence of dental chair backrest inclination on

- the registration of the mandibular position. *The Journal of prosthetic dentistry*, 114, 693-695.
- COSTEN JB 1934. I. A syndrome of ear and sinus symptoms dependent upon disturbed function of the temporomandibular joint. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, 43, 1-15.
- DAI L, TONG W and GUO J 2013. The role of occlusal factors in the occurrence of vertical root fracture. *Shanghai kou Qiang yi xue= Shanghai Journal of Stomatology*, 22, 68-71.
- DIAS RAB, RODRIGUES MJP, MESSIAS AL, GUERRA FADA and MANFREDINI D 2020. Comparison between conventional and computerised methods in the assessment of an occlusal scheme. *Journal of Oral Rehabilitation*, 47, 221-228.
- EHRLICH J and TAICHER S 1981. Intercuspal contacts of the natural dentition in centric occlusion. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 45, 419-421.
- ENGELHARDT J, HUGGER A, JAKSTAT H and KORDAS B 2002. Instrumentelle Funktionsanalyse. *Gemeinsame Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund-und Kieferheilkunde, der Deutschen Gesellschaft für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde und der Arbeitsgemeinschaft für Funktionslehre in der DGZMK. Dtsch Zahnärztl*, 659.
- ESPOSITO M, HIRSCH J-M, LEKHOLM U and THOMSEN P 1998. Biological factors contributing to failures of osseointegrated oral implants.(II). Etiopathogenesis. *European journal of oral sciences*, 106, 721-764.
- FERRARIO V, SFORZA C, JR MIANI A, SERRAO G and TARTAGLIA G 1996. Open–close movements in the human temporomandibular joint: does a pure rotation around the intercondylar hinge axis exist? *Journal of oral rehabilitation*, 23, 401-408.
- FERRARIO VF, SERRAO G, DELLAVIA C, CARUSO E and SFORZA C 2002. Relationship between the number of occlusal contacts and masticatory muscle activity in healthy young adults. *CRANIO®*, 20, 91-98.
- FERRO KJ, MORGANO SM, DRISCOLL CF, FREILICH MA, GUCKES AD, KNOERNSCHILD KL et al. 2017. The glossary of prosthodontic terms.
- FORRESTER SE, PRESSWOOD R, TOY AC and PAIN MT 2011. Occlusal measurement method can affect SEMG activity during occlusion. *Journal of oral rehabilitation*, 38, 655-660.
- FUNAKOSHI M, FUJITA N and TAKEHANA S 1976. Relations between occlusal interference and jaw muscle activities in response to changes in head position. *Journal of dental research*, 55, 684-690.
- GARCÍA VG, CARTAGENA AG and SEQUEROS OG 1997. Evaluation of occlusal contacts in maximum intercuspation using the T-Scan system. *Journal of oral rehabilitation*, 24, 899-903.
- GERNET W, BIFFAR R, BEUER F, SCHWENZER N and EHRENFELD M 2017. Zahnärztliche Prothetik, vol. 5. Auflage: Georg Thieme Verlag KG.
- GOLDSTEIN DF, KRAUS SL, WILLAMS WB and GLASHEEN-WRAY M 1984. Influence of cervical posture on mandibular movement. *The Journal of prosthetic dentistry*, 52, 421-426.

- GOLDSTEIN G, ANDRAWIS M, CHOI M, WIENS J and JANAL MN 2017. A survey to determine agreement regarding the definition of centric relation. *J Prosthet Dent*, 117, 426-429.
- GONZALEZ SEQUEROS O, GARCÍA VG and CARTAGENA AG 1997. Study of occlusal contact variability within individuals in a position of maximum intercuspation using the T-SCAN system. *Journal of oral rehabilitation*, 24, 287-290.
- GREENE CS 2001. The etiology of temporomandibular disorders: implications for treatment. *Journal of orofacial pain*, 15.
- GURDSAPSRI W, AI M, BABA K and FUEKI K 2000. Influence of clenching level on intercuspation contact area in various regions of the dental arch. *Journal of oral rehabilitation*, 27, 239-244.
- HALPERIN GC, HALPERIN AR and NORLING BK 1982. Thickness, strength, and plastic deformation of occlusal registration strips. *The Journal of prosthetic dentistry*, 48, 575-578.
- HARALUR SB, AL-GADHAAN S, AL-QAHTANI A, MOSSA A, AL-SHEHRI W and ADDAS M 2014. Influence of functional head postures on the dynamic functional occlusal parameters. *Annals of Medical and Health Sciences Research*, 4, 562-566.
- HARVEY WL, HATCH RA and OSBORNE JW 1991. Computerized occlusal analysis: an evaluation of the sensors. *The Journal of prosthetic dentistry*, 65, 89-92.
- HELLMANN D, GIANNAKOPOULOS NN, SCHMITTER M, LENZ J and SCHINDLER HJ 2012. Anterior and posterior neck muscle activation during a variety of biting tasks. *European journal of oral sciences*, 120, 326-334.
- HEUSER F, BOURAUDEL C, STARK H and DÖRSAM I 2020. Clinical investigations of the comparability of different methods used to display occlusal contact points. *Int J Comput Dent*, 23, 245-255.
- HSU Y-T, FU J-H, AL-HEZAIMI K and WANG H-L 2012. Biomechanical implant treatment complications: a systematic review of clinical studies of implants with at least 1 year of functional loading. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 27.
- HUGGER A, TÜRP JC and KERSCHBAUM T 2006. *Orale Physiologie*, Quintessenz.
- IMAMURA Y, SATO Y, KITAGAWA N, UCHIDA K, OSAWA T, OMORI M et al. 2015. Influence of occlusal loading force on occlusal contacts in natural dentition. *Journal of prosthodontic research*, 59, 113-120.
- ISIDOR F 1996. Loss of osseointegration caused by occlusal load of oral implants. A clinical and radiographic study in monkeys. *Clinical oral implants research*, 7, 143-152.
- JANKELSON B 1979. Neuromuscular aspects of occlusion: effects of occlusal position on the physiology and dysfunction of the mandibular musculature. *Dental Clinics of North America*, 23, 157-168.
- JEPSEN A 1963. Root surface measurement and a method for x-ray determination of root surface area. *Acta odontologica scandinavica*, 21, 35-46.

- JOHN M 1996. Ätiopathogenese von funktionellen Kiefergelenkerkrankungen unter besonderer Berücksichtigung der Okklusion. *Dtsch Zahnärztl*, 51.
- JORDAN RA, BODECHTEL C, HERTRAMPF K, HOFFMANN T, KOCHER T, NITSCHKE I et al. 2014. The fifth German oral health study (Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie, DMS V)–Rationale, design, and methods. *BMC oral health*, 14, 1-12.
- KATAYAMA N, KOIDE K, KOIDE K and MIZUHASHI F 2018. The influence of horizontal cephalic rotation on the deviation of mandibular position. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 10, 401-407.
- KATTADIYIL MT, ALZAID AA and CAMPBELL SD 2021. The Relationship Between Centric Occlusion and The Maximal Intercuspal Position and Their Use as Treatment Positions for Complete Mouth Rehabilitation: Best Evidence Consensus Statement. *J Prosthodont*, 30, 26-33.
- KERSTEIN R 2008a. Articulating paper mark misconceptions and computerized occlusal analysis technology. *Dental implantology update*, 19, 41-46.
- KERSTEIN R 2008b. Computerized occlusal analysis technology and Cerec case finishing. *International journal of computerized dentistry*, 11, 51-63.
- KERSTEIN RB 2004. Combining technologies: a computerized occlusal analysis system synchronized with a computerized electromyography system. *Cranio®*, 22, 96-109.
- KERSTEIN RB 2008c. Articulating paper mark misconceptions and computerized occlusal analysis technology. *Dental implantology update*, 19, 41-46.
- KERSTEIN RB 2008d. T-scan III applications in mixed arch and complete arch, implant-supported prosthodontics. *Dental implantology update*, 19, 49-53.
- KERSTEIN RB, LOWE M, HARTY M and RADKE J 2006. A force reproduction analysis of two recording sensors of a computerized occlusal analysis system. *CRANIO®*, 24, 15-24.
- KERSTEIN RB and NEFF PA 1993. A comparison of traditional occlusal equilibration and immediate complete anterior guidance development. *Cranio®*, 11, 126-140.
- KERSTEIN RB and RADKE J 2012. Masseter and temporalis excursive hyperactivity decreased by measured anterior guidance development. *Cranio®*, 30, 243-254.
- KOBES L 1977. Kybernetische Aspekte in der Zahnheilkunde. *Dtsch Zahnärztl*, 240-244.
- KOLLER CD, PEREIRA-CENCI T and BOSCATO N 2016. Parameters associated with marginal bone loss around implant after prosthetic loading. *Brazilian dental journal*, 27, 292-297.
- KOOS B, GODT A, SCHILLE C and GÖZ G 2010. Precision of an instrumentation-based method of analyzing occlusion and its resulting distribution of forces in the dental arch. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 71.
- KOOS B, HÖLLER J, SCHILLE C and GODT A 2012. Time-dependent analysis and representation of force distribution and occlusion contact in the masticatory cycle. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 73.

- KORBMACHER H, EGGERS-STROEDER G, KOCH L and KAHL-NIEKE B 2004. Correlations between anomalies of the dentition and pathologies of the locomotor system-a literature review. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 65, 190-203.
- KUMAGAI H, SUZUKI T, HAMADA T, SONDANG P, FUJITANI M and NIKAWA H 1999. Occlusal force distribution on the dental arch during various levels of clenching. *Journal of Oral Rehabilitation*, 26, 932-935.
- LEHMANN KM, HELLWIG E and WENZ HJ (eds.) 2014. *Zahnärztliche Propädeutik*: Deutscher Zahnärzterverlag.
- LOTZMANN U 1998. *Die Prinzipien der Okklusion: eine Einführung in das okklusionsgerechte Arbeiten*, Verlag Neuer Merkur.
- LYONS MF, SHARKEY SW and LAMEY P-J 1992. An evaluation of the T-Scan computerised occlusal analysis system. *International Journal of Prosthodontics*, 5.
- MA F, HU X, LI J and LIN Y 2013. Normal occlusion study: using T-Scan III occlusal analysis system. *Zhonghua kou qiang yi xue za zhi= Zhonghua kouqiang yixue zazhi= Chinese journal of stomatology*, 48, 363-367.
- MAKOFSKY HW 1989. The effect of head posture on muscle contact position: the sliding cranium theory. *CRANIO®*, 7, 286-292.
- MAKOFSKY HW 2000. The influence of forward head posture on dental occlusion. *CRANIO®*, 18, 30-39.
- MAKOFSKY HW, SEXTON TR, DIAMOND DZ and SEXTON MT 1991. The effect of head posture on muscle contact position using the T-Scan system of occlusal analysis. *CRANIO®*, 9, 316-321.
- MANESS WL, BENJAMIN M, PODOLOFF R, BOBICK A and GOLDEN RF 1987. Computerized occlusal analysis: a new technology. *Quintessence Int*, 18, 287-292.
- MANESS WL and PODOLOFF R 1989. Distribution of occlusal contacts in maximum intercuspation. *The journal of prosthetic dentistry*, 62, 238-242.
- MC LEAN LF, BRENMAN HS and FRIEDMAN M 1973. Effects of changing body position on dental occlusion. *Journal of dental research*, 52, 1041-1045.
- MCDEVITT W and WARRETH A 1997. Occlusal contacts in maximum intercuspation in normal dentitions. *Journal of Oral Rehabilitation*, 24, 725-734.
- MICHELOTTI A, BUONOCORE G, MANZO P, PELLEGRINO G and FARELLA M 2011. Dental occlusion and posture: an overview. *Progress in orthodontics*, 12, 53-58.
- MILLSTEIN P 2008. Know your indicator. *Journal of the Massachusetts Dental Society*, 56, 30-31.
- MINERVINI G, FRANCO R, MARRAPODI mm, FIORILLO L, CERVINO G and CICCÌÙ M 2023. Prevalence of temporomandibular disorders in children and adolescents evaluated with Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders: A systematic review with meta-analysis. *Journal of oral rehabilitation*, 50, 522-530.
- MISCH CE and BIDES M. Implant-protected occlusion. *International journal of dental symposia*, 1994. 32-37.

- NAERT I, DUYCK J and VANDAMME K 2012. Occlusal overload and bone/implant loss. *Clinical oral implants research*, 23, 95-107.
- NISHIMORI H, IIDA T, KAMIYAMA H, KOMODA Y, OBARA R, UCHIDA T et al. 2017. Comparing the occlusal contact area of individual teeth during low-level clenching. *Journal of oral science*, 59, 337-342.
- OBARA R, KOMIYAMA O, IIDA T, ASANO T, DE LAAT A and KAWARA M 2014. Influence of different narrative instructions to record the occlusal contact with silicone registration materials. *Journal of Oral Rehabilitation*, 41, 218-225.
- OHMURE H, MIYAWAKI S, NAGATA J, IKEDA K, YAMASAKI K and AL-KALALY A 2008. Influence of forward head posture on condylar position. *Journal of oral rehabilitation*, 35, 795-800.
- OKESON JP 2015. Evolution of occlusion and temporomandibular disorder in orthodontics: Past, present, and future. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 147, S216-223.
- OKESON JP 2019. *Management of temporomandibular disorders and occlusion-E-book*, Elsevier Health Sciences.
- OTTIL P, AHLERS M, LANGE M, UTZ K and REIBER T 2011. Klinischer Funktionsstatus der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und-therapie (DGFD) in der DGZMK.
- PANEK H, MATTHEWS-BRZOZOWSKA T, NOWAKOWSKA D, PANEK B, BIELICKI G, MAKACEWICZ S et al. 2008. Dynamic occlusions in natural permanent dentition. *Quintessence Int*, 39, 337-342.
- PATEL M and ALANI A 2015. Clinical issues in occlusion–Part II. *Singapore Dental Journal*, 36, 2-11.
- PATYK A 1989. Ist das T-Scan-System eine diagnostisch relevante Methode zur Okklusions-kontrolle? *ZWR*, 98, 686-694.
- PINGANAUD G, BOURCIER F, BUISSERET-DELMAS C and BUISSERET P 1999. Primary trigeminal afferents to the vestibular nuclei in the rat: existence of a collateral projection to the vestibulo-cerebellum. *Neuroscience letters*, 264, 133-136.
- PONT A 1909. Der Zahn-Index in der Orthodontie. *Zahnärztliche Orthopädie*, 3, 306-321.
- POSSELT U 1952. Studies in the mobility of the human mandible. *Acta Odontol Scand*, 10, 126-129.
- POSSELT U 1958. Range of movement of the mandible. *The Journal of the American Dental Association*, 56, 10-13.
- PREISKEL H 1965. Some observations on the postural position of the mandible. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 15, 625-633.
- QADEER S, KERSTEIN R, KIM RJY, HUH J-B and SHIN S-W 2012. Relationship between articulation paper mark size and percentage of force measured with computerized occlusal analysis. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 4, 7-12.
- QADEER S, ÖZCAN M, EDELHOFF D and VAN PELT H 2021. Accuracy, reliability and clinical implications of static compared to quantifiable occlusal indicators. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*, 29, 130-141.

- QADEER S, YANG L, SARINNAPHA KORN L and KERSTEIN RB 2016. Comparison of closure occlusal force parameters in post-orthodontic and non-orthodontic subjects using T-Scan® III DMD occlusal analysis. *CRANIO®*, 34, 395-401.
- REIBER T, FUHR K, HARTMANN H and LEICHER D 1989. Recording pattern of occlusal indicators. I. Influence of indicator thickness, pressure, and surface morphology. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 44, 90-93.
- REISSMANN D, JOHN M and SIERWALD I 2013. Die Rolle der Okklusion in der Ätiologie von kranio-mandibulären Dysfunktionen. *ZWR-Das Deutsche Zahnärzteblatt*, 122, 138-144.
- RIISE C 1982. A clinical study of the number of occlusal tooth contacts in the intercuspal position at light and hard pressure in adults. *Journal of Oral Rehabilitation*, 9, 469-477.
- RIISE C and ERICSSON SG 1983. A clinical study of the distribution of occlusal tooth contacts in the intercuspal position at light and hard pressure in adults. *Journal of oral rehabilitation*, 10, 473-480.
- ROCABADO M and IGLARSH Z 1991. Physical modalities and manual techniques used in the treatment of maxillofacial pain. *Musculoskeletal Approach to Maxillofacial Pain, 1st ed.*; JB Lippincott: Philadelphia, PA, USA, 187-192.
- SAKAGUCHI K, MEHTA NR, ABDALLAH EF, FORGIONE AG, HIRAYAMA H, KAWASAKI T et al. 2007. Examination of the relationship between mandibular position and body posture. *CRANIO®*, 25, 237-249.
- SAMANDARI F and MAI JK 2009. *Curriculum funktionelle Anatomie für Zahnmediziner*, Quintessenz.
- SANDER FG, SCHWENZER N, EHRENFELD M, AHLERS MO, BANTLEON H-P, CRISMANI A et al. (eds.) 2011. *Zahn-Mund-Kieferheilkunde: Kieferorthopädie*.
- SARAÇOĞLU A and ÖZPINAR B 2002. In vivo and in vitro evaluation of occlusal indicator sensitivity. *The Journal of prosthetic dentistry*, 88, 522-526.
- SATHYANARAYANA HP, PREMKUMAR S and MANJULA W 2012. Assessment of maximum voluntary bite force in adults with normal occlusion and different types of malocclusions. *J Contemp Dent Pract*, 13, 534-538.
- SCHEL B E, KAISER DA and BRUKL CE 1985. Thickness and marking characteristics of occlusal registration strips. *The Journal of prosthetic dentistry*, 54, 122-126.
- SCHMITTER M, RAMMELSBURG P, HUGGER A, FREESMEYER WB, MORNEBURG T, TÜRP JC et al. 2010. Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien e.V. (vormals DGZPW): Kieferrelationsbestimmung. *Deutscher Ärzte-Verlag | DZZ | Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift | 2010; 65 (12), 65*.
- SCHOPF P (ed.) 2008. *Curriculum Kieferorthopädie, Band I*: Quintessence Verlags GmbH.
- SCHÜNKE M, SCHULTE E and SCHUMACHER U 2015. *Prometheus Kopf, Hals und Neuroanatomie: LernAtlas Anatomie*, Georg Thieme Verlag.

- SCHWARZ A 1928. Positions of the head and malrelations of the jaws. *International Journal of Orthodontia, Oral Surgery and Radiography*, 14, 56-68.
- SETZ J and GEIS-GERSTORFER J 1990. Messeigenschaften eines Systems zur digitalen Okklusionsdiagnostik. *Dtsch Zahnärztl*, 45.
- SHARMA A, RAHUL GR, PODUVAL ST, SHETTY K, GUPTA B and RAJORA V 2013. History of materials used for recording static and dynamic occlusal contact marks: a literature review. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 5, e48.
- SHERIDAN RA, DECKER AM, PLONKA AB and WANG HL 2016. The Role of Occlusion in Implant Therapy: A Comprehensive Updated Review. *Implant Dent*, 25, 829-838.
- SINGH S, SANDHU N and KASHYAP R 2012. A study of bite force and various variables in children segregated by angle's classification. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 5, 118.
- SMITH RJ 1982. Development of occlusion and malocclusion. *Pediatr Clin North Am*, 29, 475-501.
- SONNESEN L and BAKKE M 2005. Molar bite force in relation to occlusion, craniofacial dimensions, and head posture in pre-orthodontic children. *The European Journal of Orthodontics*, 27, 58-63.
- SPIJKER AVT, CREUGERS NH, BRONKHORST EM and KREULEN CM 2011. Body position and occlusal contacts in lateral excursions: a pilot study. *International Journal of Prosthodontics*, 24.
- STALLARD HS 1963. Concepts of occlusion. *Dent Clin North Am*, 7, 591-600.
- STOICHKOV B and KIROV D 2018. Analysis of the causes of dental implant fracture: A retrospective clinical study. *Quintessence International*, 49.
- THROCKMORTON G, RASMUSSEN J and CALOSS R 2009. Calibration of T-Scan® sensors for recording bite forces in denture patients. *Journal of oral rehabilitation*, 36, 636-643.
- TURKISTANI KA, ALKAYYAL MA, ABBASSY MA, AL-DHARRAB AA, ZAHRAN MH, MELIS M et al. 2023. Comparison of occlusal bite force distribution in subjects with different occlusal characteristics. *CRANIO®*, 41, 204-211.
- UTZ K-H, HUGGER A, AHLERS PDMO, SEEHER W-D, BARTSCH K, FEYEN J et al. 2015. S2k_Funktionsanalyse 2015-12-22.
- VISSCHER C, HUDDLESTON SLATER J, LOBBEZOO F and NAEIJE M 2000. Kinematics of the human mandible for different head postures. *Journal of oral rehabilitation*, 27, 299-305.
- WIECKIEWICZ M, GRYCHOWSKA N, ZIETEK M and WIECKIEWICZ W 2016. Evaluation of the elastic properties of thirteen silicone interocclusal recording materials. *BioMed Research International*, 2016.
- WIENS JP, GOLDSTEIN GR, ANDRAWIS M, CHOI M and PRIEBE JW 2018. Defining centric relation. *J Prosthet Dent*, 120, 114-122.
- WODA A, VIGNERON P and KAY D 1979. Nonfunctional and functional occlusal contacts: a review of the literature. *J Prosthet Dent*, 42, 335-341.
- WOLF HF, RATEITSCHAK KH and RATEITSCHAK EM 2012. *Farbatlanten der Zahnmedizin. 1. Parodontologie*, Thieme.

9 Erklärung zum Eigenanteil

Die vorliegende Arbeit wurde in der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Tübingen unter Betreuung von Herrn Prof. Dr. Bernd Koos und Frau Dr. Hannah Finke durchgeführt.

Die Konzeption der Studie, erfolgte in Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Dr. Bernd Koos und Frau Dr. Hannah Finke.

Die Erstellung des Ethikantrages an der medizinischen Fakultät der Eberhard Karls Universität und des Universitätsklinikums Tübingen, Ethikkommission erfolgte eigenständig.

Die vollständige Probandenrekrutierung, Datenerhebung und Versuchsdurchführung erfolgte eigenständig durch den Doktoranden nach Einarbeitung in die verwendeten Materialien und die angewandte Methodik durch Herrn Prof. Dr. Bernd Koos und Frau Dr. Hannah Finke.

Die statistische Auswertung erfolgte eigenständig nach Beratung durch das Institut für klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie des Universitätsklinikum Tübingen, sowie nach Anleitung durch Herrn Dr. Johann Jacoby (Institut für klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie).

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den 12.09.2024

10 Publikationen

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie wurden als Posterbeitrag im Hauptprogramm der 95. Wissenschaftlichen Jahrestagung 2023 der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie e.V. (DGKFO) veröffentlicht und präsentiert.

11 Danksagung

Im Folgenden möchte ich mich herzlich bei allen beteiligten Studienteilnehmer/ -innen, Mitarbeitenden des Universitätsklinikums Tübingen, Mentoren/-innen, als auch bei meinen Freunden/-innen sowie meiner Familie bedanken, die mich bei der Erstellung, Durchführung, Auswertung und Niederschrift meines Dissertationsprojektes unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Bernd Koos, für die Annahme, Betreuung und Unterstützung des Dissertationsvorhabens, für die Bereitstellung der notwendigen Strukturen als auch die stetige akademische Motivation.

Mein außerordentlicher Dank gilt Frau Dr. Hannah Finke, als Betreuerin und Mentorin der vorliegenden Arbeit, für ihre umfassende und unermüdliche Unterstützung während allen Phasen der Promotion, ihre stetige konstruktive Motivation und den sympathischen Kommunikationsprozess - weit über den Erwartungshorizont hinaus.

Des Weiteren bedanke ich mich herzlich bei Herrn Dr. Johann Jacoby für die geduldige und humorvolle statistische Beratung im Zuge der Studienkonzeption als auch der Datenauswertung.

Danken möchte ich vor allem auch meinen Eltern Jutta und Anton, sowie meiner gesamten Familie für ihre immerwährende Unterstützung und Zuneigung. Besonderer Dank gilt meiner Partnerin Josephine Effert für ihren stetigen Zuspruch, ihren Enthusiasmus und ihre Liebe.