

Aus der Klinik für Mund-, Kiefer- & Plastische Gesichtschirurgie

der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. Dr. med. dent. Norbert R. Kübler

Kiefergelenksposition, skelettale Stabilität und Rezidivrate in der
Dysgnathiechirurgie unter der Verwendung von biodynamischen
Osteosyntheseplatten

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin

der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Gizem Schäfer-Barutcu

2024

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

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter/in: Prof. Dr. Dr. Ulrich Meyer

Zweitgutachter/in: Prof. Dr. Dr. Rita Depprich

Zusammenfassung (deutsch)

Die Dysgnathiechirurgie stellt eine Behandlungsmöglichkeit zur Korrektur der skelettalen Kieferfehlstellung dar. Im Laufe der Jahre wurden verschiedene Operationsmethoden, Fixierungstechniken, prä- und postoperative Therapieansätze entwickelt mit dem Ziel, langfristig stabile Operationsergebnisse zu erreichen. Zudem soll die Behandlung die umliegenden Strukturen so gering wie möglich beeinflussen. Ein besonderes Problem stellt die intraoperative dreidimensionale Positionierung des Kiefergelenks und des zahntragenden Fragments dar. Ein Beispiel hierfür ist die operationsbedingte Fehlstellung des zahntragenden Fragments durch Rotationen im distalen Bereich. Ziel dieser retrospektiven Studie war es eine dreidimensionale Beurteilung der postoperativen Stabilität und des adaptionsbedingten Rezidivverhaltens im dentalen und skelettalen Bereich abzugeben. In diesem Zusammenhang wurde untersucht, wie die postoperative Position und Stabilität im kiefergelenks- und im zahntragenden Fragment waren. Zudem wurde evaluiert, ob die Patienten nach der Operation in eine stabile Regelverzahnung eingestellt werden konnten. Hierzu wurden 20 Patientenfälle (w=14; m=6), die in einem Zeitraum von 3 Jahren (2019-2021) eine mono- (n=9) oder bimaxilläre (n=11) Osteotomie erhalten haben, analysiert und ausgewertet. Die Korrektur des Unterkiefers erfolgte mit der bilateralen, sagittalen stufenförmigen Osteotomie (BSSO) nach Obwegeser und Dal Pont. Hierbei fand die Positionierung des Kiefergelenks ohne Hilfsmittel statt. Der Oberkiefer wurde nach der Le Fort-I Methode korrigiert. Die Fixierung der Fragmente erfolgte mit biodynamischen Osteosyntheseplatten sowie monokortikalen Schrauben. Es wurden prä- (T0), postoperativ (T1) und ein Jahr später (T2) Cone-Beam Computertomographien (CBCT) aufgenommen. Die kephalometrische Analyse wurde mit dem eXam-Vision Programm und die statistische Auswertung mit dem SPSS-Programm vorgenommen. Die Stabilität und Rezidivrate ließ sich durch den Vergleich der Bilder zum Zeitpunkt T2-T1 und die operativen Veränderungen durch T1-T0 ermitteln. Die Ergebnisse zeigten, dass postoperativ und über einen Zeitraum von einem Jahr keine signifikanten Veränderungen der Kondylenpositionen (Winkel Rezidivrate= 0,2%; Abstand Rezidivrate= 0,5%) stattfanden. Die Auswertung der Oberkieferlängen ergab eine Rezidivrate von 0,7% und der Unterkieferlängen von 0,4%. Die Auswertung des Overjets, Overbites und Interinzisalwinkels zeigte, dass sich nach einem Jahr, mit der Ausnahme des Overbites, die Werte nicht signifikant verändert haben. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Kondylenpositionierung ohne Hilfsmittel und die Fixierung der Kiefer mit biodynamischen Platten und monokortikalen Schrauben zu keiner Veränderung der Kieferposition im dreidimensionalen Raum führt. Durch die Anwendung der BSSO und Le Fort-I Osteotomie konnten stabile dentale und skelettale Ergebnisse erzielt werden. Alle Patienten erreichten durch eine postoperativ reguläre maxillo-mandibuläre Relation eine Klasse I Verzahnung.

Zusammenfassung (englisch)

Orthognathic surgery is a treatment option for correcting jaw deformities. Over the years, various surgical methods, fixation techniques, pre- and postoperative therapeutic approaches have been developed to achieve a long-term stability of the surgical outcome. Furthermore, the influence of the operation on the surrounding structures should be reduced to a minimum. A particular problem is the intraoperative three-dimensional positioning of the joint- and tooth-bearing fragment. An example of this is the operation-related misalignment of the tooth-bearing part due to rotations in the distal fragment.

The purpose of this retrospective study was to give a three-dimensional assessment of postoperative stability and adaptation required relapse rate in dental and skeletal areas. In this context, it was investigated how the postoperative position and stability was in the joint- and tooth-bearing fragment. Finally, it was evaluated whether the patients were able to achieve a class I occlusion after surgery.

Therefore, 20 cases (f=14; m=6), who received a mono- (n=9) or bimaxillary (n=11) osteotomy in a period of 3 years (2019-2021), were analysed and evaluated. The mandibula was corrected by using the bilateral sagittal split osteotomy (BSSO) after Obwegeser and Dal Pont with freehand condylar positioning. The maxilla was corrected by using the Le Fort-I method. Biodynamic plates and monocortical screws were used for fixation. Pre- (T0), postoperative (T1) and one year later (T2) cone-beam computed tomography (CBCT) were taken. The cephalometric analysis was done using the eXam-Vision program and the statistical evaluation using the SPSS-program. The stability and relapse rate could be determined by comparing the images T2-T1 and the skeletal changes by comparing T1-T0.

The results showed that condylar position was not altered by surgery (angle relapse rate=0.2%; distance relapse rate=0.5%) and no significant change was observed over a 1-year time period. Relapse rates were minimal in both jaws. A relapse rate of 0.7% was observed in the maxilla and 0.4% in the mandible. The evaluation of the overjet, overbite and interincisal angle showed that except the overbite the values did not change significantly after 1 year.

In conclusion, freehand condylar positioning and fixation with biodynamic plates and monocortical screws leads to unaltered bone positions in three-dimensional space. Long-term stability of jaw position can be achieved by using BSSO and Le Fort-I osteotomy. All patients could achieve a class I occlusion because of a postoperative regular maxillo-mandibular relation.

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent	m	englisch= male; deutsch= männlich
<	kleiner		
>	größer	µm	Mikrometer
Abb.	Abbildung	mm	Millimeter
BOS	balanced orthognathic surgery system	MRT	Magnetresonanztomographie
BSSO	bilaterale, sagittale stufenförmige Osteotomie	n=	Fallzahl/ Patientenzahl
ca.	circa= ungefähr	OK	Oberkiefer
CAD/CAM	Computer-aided Design/ Computer-aided Manufacturing	OPG	Orthopantomogramm
CBCT	Cone-Beam Computertomographie	p≤	kleiner gleich Signifikanzniveau
cm	Zentimeter	PDLA	Poly-D-lactid
CMD	Craniomandibuläre Dysfunktion	PGA	Polyglykolid
CT	Computertomographie	PLDLA	Poly-L/D-lactid
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde	PLLA	Poly-L-lactid
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine	PSI	patientenspezifische Implantate
DVT	Digitale Volumetomographie	T0	Aufnahmen zum Zeitpunkt (T) unmittelbar vor der Operation (0)
et al.	lateinische Abkürzung: et alii; deutsch: und andere	T1	Aufnahme zum Zeitpunkt (T) unmittelbar nach der Operation (1)
f	female	T2	Aufnahmen zum Zeitpunkt (T) ein Jahr später (2)
FOV	field of view	u.	und
FRS	Fernröntgenseitenbild	u.a.	unter anderem
GNE	Gaumennahtserweiterung	UK	Unterkiefer
IMF	intermaxilläre Fixierung	w	weiblich
IVRO	intraoral vertical ramus osteotomy	z.B.	zum Beispiel
KIG	kieferorthopädische Indikationsgruppe		

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einführung	1
1.2	Operationsindikation.....	2
1.3	Prä- und postoperative Maßnahmen	4
1.3.1	Präoperative kieferorthopädisch-chirurgische Maßnahmen.....	4
1.3.2	Prä- und postoperative diagnostische Unterlagen	5
1.3.3	Digitale Volumentomographie	6
1.3.4	Postoperative kieferorthopädisch-chirurgische Maßnahmen	7
1.4	Operationsmethode	7
1.4.1	Oberkiefer: Le Fort-I Osteotomie.....	7
1.4.2	Unterkiefer: bilaterale, sagittale stufenförmige Osteotomie.....	8
1.4.3	Fixierungstechniken der osteotomierten Segmente.....	9
1.4.4	Probleme der Segmentpositionierung und Hilfsmittel zur Positionierung der Kiefergelenke	11
1.5	Articulatio temporomandibularis- das Kiefergelenk	13
1.5.1	Aufbau und Mechanik	13
1.5.2	Pathophysiologie	13
2	Material und Methoden	14
2.1	Datenakquise.....	14
2.2	Prä-, intra- und postoperativer Behandlungsprotokoll.....	15
2.3	Röntgenologische Unterlagen.....	15
2.4	Kephalometrische Messung.....	16
2.5	Statistische Analyse	20
3	Ergebnisse	20
3.1	Patientengut	20
3.2	Ergebnisse der transversalen Ebene.....	21
3.3	Ergebnisse der sagittalen Ebene	23
3.4	Ergebnisse der dentalen Parameter	24
4	Diskussion	26
4.1	Die postoperative Stabilität im kiefergelenks- und zahntragenden Fragment.....	26
4.2	Die Fixierungsmethode und ihr Einfluss auf das Kiefergelenk.....	28
4.3	Stabilität in Abhängigkeit der Operationsmethode.....	30
4.4	Limitation und Stärken	32
4.4.1	Limitation	32
4.4.2	Stärken.....	32

4.5	Schlussfolgerung und Ausblick	33
5	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	34
5.1	Abbildungen.....	34
5.2	Tabellenverzeichnis	34
5.3	Literaturübersicht.....	35

1 Einleitung

1.1 Einführung

Das Gebiet der Dysgnathiechirurgie umfasst verschiedene Operationsmethoden, mit Hilfe derer Kieferfehlstellungen korrigiert werden können. Der Begriff Dysgnathie bezeichnet eine Abweichung des Ober- und Unterkiefers von einer normgerechten Stellung (Eugnathie). Die Fehlstellungen können angeboren oder erworben sein. Die angeborene Dysgnathie kann als alleiniges Krankheitsbild (nicht-syndromal) oder in Kombination mit anderen Erkrankungen (syndromal) auftreten. Exogene und endogene Einflüsse können Gründe für eine erworbene Kieferfehlstellung sein. Die Dysgnathie kann, unabhängig von der Ursache, sowohl dentoalveoläre als auch basale Anteile des Gebisses betreffen. (Mast and Ehrenfeld, 2010)

In der Regel werden Kieferanomalien während des Wachstums durch Zahnärzte oder Kieferorthopäden diagnostiziert, sodass frühzeitig kieferorthopädische Maßnahmen eingeleitet werden können. In einigen Fällen bedarf es einer interdisziplinären Kooperation mit anderen Fachbereichen, wie zum Beispiel der Logopädie oder der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie. Eine chirurgische Intervention erfolgt in den meisten Fällen nach Abschluss des Wachstums. Um die Eingriffe präzise planen und durchführen zu können, werden verschiedene Unterlagen des Patienten benötigt. Beispiele hierfür sind Gipsmodelle und röntgenologische Aufnahmen. Auf Basis dieser Befunde werden unter anderem kephalometrische Messungen durchgeführt und die passende Operationsmethode festgelegt. (Hofmeister, 2007)

Das Ziel jeder kieferorthopädisch-chirurgischen Intervention ist es, langzeitstabile skelettale und dentale Ergebnisse zu erreichen. Einige Studien untersuchten den Einfluss folgender Faktoren auf die Stabilität: die Operationsmethoden (Liebregts et al., 2019; Proffit et al., 2012), die Länge der Verlagerungsstrecke (Proffit et al., 2007), die prä- und postoperativen kieferorthopädischen Behandlungen (Jamilian et al., 2015; Seifi et al., 2018) und die Fixierungstechniken (Nooh, 2009; Meyer et al., 2004).

Des Weiteren wird eine möglichst geringe Beeinflussung der Kondylenposition angestrebt, um potentielle Kiefergelenksprobleme zu vermeiden. Die intraoperative Positionierung der osteotomierten Segmente also der kiefergelenks- und zahntrageden Fragmente stellen hierbei eine besondere Herausforderung dar. Die Kiefergelenke können in ihrer dreidimensionalen Position falsch plaziert werden und die axiale Walzenzuordnung kann fehlerhaft sein. Hierzu wurden in einigen Studien die nachstehenden Faktoren untersucht: die Positionierung der Kiefergelenke mit und ohne Hilfsmitteln (Ellis, 1994; Kim et al., 2014; Renzi et al., 2003; Gerressen et al., 2006), der Einfluss der gewählten Operationsmethode und

Verlagerungsrichtung der Fragmente (Aoyama et al., 2005; Jung et al., 2015; Holzinger et al., 2019), der Einfluss der kieferorthopädischen Behandlung (Zafar et al., 2014; Zhai et al., 2020) und der Osteosynthesetechnik (Erkmen et al., 2005).

Ziel dieser retrospektiven Arbeit war es, eine umfassende dreidimensionale Beurteilung der Stabilität und des Rezidivverhaltens im skelettalen und dentalen Bereich sowie des Kiefergelenks abzugeben.

Hierzu wurden, nach der Genehmigung der Ethikkommission der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (Studiennummer: 2021-1529), prä- (T0), postoperativ (T1) und ein Jahr später (T2) Cone-Beam Computertomographien (CBCT) von 20 Patienten (w=14/ m=6) in einem Zeitraum von 3 Jahren (2019-2021) aufgenommen. Die mono- (n=9) oder bimaxilläre (n=11) Osteotomie erfolgte nach der bilateralen, sagittalen stufenförmigen Osteotomie (BSSO) von Obwegeser und Dal Pont und der Le Fort-I Methode. Hierbei fand die Positionierung des Kiefergelenks ohne Hilfsmittel statt. Die Fixierung der Fragmente erfolgte mit biodynamischen Osteosyntheseplatten sowie monokortikalen Schrauben. Der komplette Datensatz wurde anonymisiert. Die Bilder wurden kephalometrisch analysiert und die Ergebnisse statistisch ausgewertet. Die Stabilität und Rezidivrate ließ sich durch den Vergleich der Bilder zum Zeitpunkt T2-T1 und die operativen Veränderungen durch T1-T0 ermitteln.

Folgende Fragestellungen wurden in diesem Zusammenhang untersucht: Wie ist die postoperative Stabilität in den kiefergelenkstragenden Fragmenten (Kiefergelenkwinkel und -abstand) und im zahntragenden Fragment? Ist die Stabilität und Rezidivrate abhängig von der Art der Operation (monomaxillär/bimaxillär)? Lassen sich die Patienten nach der Operation in eine stabile Regelverzahnung einstellen (Overjet, Overbite, Interinzisalwinkel)?

1.2 Operationsindikation

Die medizinische Indikation für eine chirurgische Korrektur der Dysgnathie unterliegt strengen Regelungen, da es sich in einigen Fällen um einen Wahleingriff handeln kann. Indiziert sind die Eingriffe zum Beispiel bei extremen Anomalien der Okklusion und Artikulation, bei syndromalen Wachstumsstörungen, bei ausgeprägten skelettalen Kieferlagen, Kiefergelenksfehlfunktionen und schweren psychischen Folgen. (Schopf, 2008; Mast and Ehrenfeld, 2010) Zunächst wird klassifiziert, welche Art der Fehlstellung vorliegt. Es wird zwischen der dentoalveolären und skelettalen Dysgnathie unterschieden. Die dentoalveoläre Dysgnathie bezeichnet die Fehlstellung der Alveolarfortsätze. Bei der Fehlstellung der Kieferbasen, in Relation zur Schädelbasis und zueinander, liegt eine skelettale Dysgnathie vor.

Beide Formen können symmetrisch oder asymmetrisch auftreten. Die Kombination beider Anomalien ist ebenfalls möglich. (Mast and Ehrenfeld, 2010)

Eine erste Klassifikation fand durch Edward H. Angle (1899) statt (Abb. 1). Es wurde angenommen, dass die ersten Oberkiefermolaren (Zahn 16 und 26) immer an der richtigen Position stehen (Molarenkonstanz) und der Oberkiefer in sagittaler Richtung nicht beeinflussbar ist. Somit wurde die Dysgnathie in 3 Hauptklassen eingeteilt. (Kahl-Nieke, 2009)

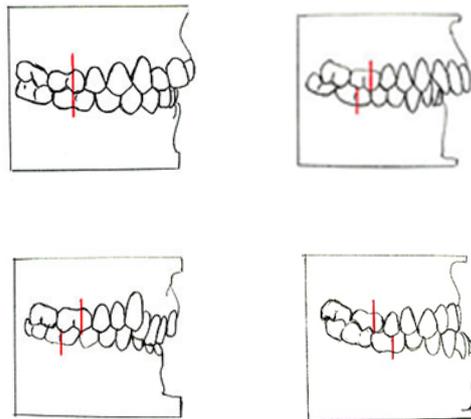


Abb. 1: Klassifizierung der Dysgnathien nach Edward H. Angle (Wikimedia Commons contributors, „File: Angle KL I-III.jpg; Zeichner: Dr. Risse, 2006)

oben links: Neutralbiss (Klasse I); oben rechts: Distalbiss (Klasse II-1)
unten links: Distalbiss (Klasse II-2); unten rechts: Mesialbiss (Klasse III)

Die Angle Klassifikation berücksichtigt lediglich die dentoalveoläre Fehlstellung in sagittaler Richtung. Hierbei wird eine skelettale Fehlbildung, die dental kompensiert wird, nicht erkannt. Somit rückte diese Klassifikation in den Hintergrund, da sowohl dentoalveoläre als auch skelettale Fehlbildungen in allen 3 Ebenen (sagittal, vertikal, transversal) mit Hilfe von verschiedenen Unterlagen begutachtet werden müssen. Erst dann lässt sich das ganze Ausmaß der Dysgnathie feststellen. Es kann entschieden werden, ob eine alleinige kieferorthopädische Behandlung ausreicht oder ein chirurgischer Eingriff notwendig ist. (Hofmeister, 2007)

Eine Einordnung nach der KIG-Klassifikation (Kieferorthopädische Indikationsgruppen) gibt einen Anhaltspunkt für die Notwendigkeit einer Kombinationsbehandlung (Tabelle 1).

Indikationsgruppe (Befund)	Grad	3	4	5
Kraniofaziale Anomalien	A			z.B. Lippen-Kiefer-Gaumenspalten
Sagittale Stufe (distal)	D		>6-9mm	>9mm
Sagittale Stufe (mesial)	M		0-3mm	>3mm
Vertikale Stufe (offen- auch seitlich)	O	>2-4mm	>4mm (habituell offen)	>4mm (skelettal offen)
Vertikale Stufe (tief)	T	>3mm (mit traumatischem Kontakt)		
Transversale Abweichung	B		Bukkal-/ Lingualokklusion	
Transversale Abweichung (Kopfbiss)	K	beidseitiger Kreuzbiss	einseitiger Kreuzbiss	

Tabelle 1: Kieferorthopädische Indikationsgruppen zur Einstufung des Behandlungsbedarfs (Leitfaden für den KFO-Gutachter KZBV, 2014)

Vereinfachte Darstellung der Tabelle; Zahlenangaben in mm (Millimeter)
 Grad A= Entwicklungsstörung im Kopfbereich (u.a. Lippen-Kiefer-Gaumenspalten)
 Grad D= distale Bisslage; Grad M= mesiale Bisslage; Grad O= offener Biss;
 Grad T= Tiefbiss; Grad B= Bukkal- oder Lingualokklusion; Grad K= Kreuzbiss
 blau markierte Kategorien= kieferorthopädisch-chirurgische Eingriffe indiziert

1.3 Prä- und postoperative Maßnahmen

1.3.1 Präoperative kieferorthopädisch-chirurgische Maßnahmen

In der Regel werden Bissanomalien frühzeitig während des Wachstums durch Zahnärzte oder Kieferorthopäden diagnostiziert. Die Wachstumsprozesse der Kiefer und Zähne können durch rechtzeitige, meist langjährige Vorbehandlungen beeinflusst und dadurch zum Teil gelenkt werden. Zu den kieferorthopädischen Maßnahmen gehört zum Beispiel der Einsatz von herausnehmbaren und festsitzenden Apparaturen, die Zahnextraktion bei Platzmangel oder die Gaumennahtserweiterung (GNE). Die logopädische Begleittherapie bei gestörter Zungen- oder Schluckfunktion kann die kieferorthopädische Behandlung zusätzlich positiv beeinflussen. Sollte eine alleinige kieferorthopädische Intervention nicht ausreichen, um skelettale Fehlstellungen zu beheben, erfolgt nach Wachstumsabschluss die chirurgische Intervention. (Jamilian et al., 2015; Schuchardt, 1954) Ziel ist es Zahnfehlstellungen und Kieferbögen so zu korrigieren, auszurichten und zu nivellieren, dass die Kiefer in eine Normalstellung zur Schädelbasis eingestellt werden können. Zudem soll ermöglicht werden, dass intra- oder

postoperativ eine Einstellung in die regelrechte Verzahnung erfolgen kann. (Proffit and White, 2015)

1.3.2 Prä- und postoperative diagnostische Unterlagen

Um das Ausmaß der Verlagerung während der Umstellungsosteotomie feststellen, die Operation im Vorfeld genau planen und die Behandlung dokumentieren zu können, werden diagnostische Unterlagen erstellt. Hierzu werden Befunde erhoben, Abdrücke genommen und Röntgenaufnahmen angefertigt.

Zu den extra- und intraoralen klinischen Befunden zählt der Zahn- und Funktionsstatus. Hier werden unter anderem die Zähne, die Kaumuskulatur, die Kiefergelenke und die Zunge beurteilt, da diese bei einer Fehlfunktion oder -position den Behandlungserfolg der Chirurgie beeinflussen können. (Koizumi et al., 2022; Kim, 2017; Mast and Ehrenfeld, 2010)

Während des gesamten Behandlungsverlaufes werden mehrfach Abdrücke genommen, um Planungsmodelle aus Gips herstellen zu können. Das erste Modell dient zur Beurteilung der Kiefer in allen 3 Raumebenen und zur Diagnostik der Fehlstellungen. Mit Hilfe eines weiteren Modells wird eine vorläufige Modelloperation simuliert, in der die Verlagerung und das spätere Operationsergebnis visualisiert werden. Ob eine mono- oder bimaxilläre Operation in Frage kommt, hängt von der Stellung der Kiefer zur Schädelbasis und zueinander ab. Nach Abschluss der kieferorthopädischen Vorbehandlung werden 4 Wochen vor dem geplanten Eingriff letzte Modelle erstellt. Es werden Markierungslinien gesetzt, um die endgültige Kieverlagerung planen zu können. Die Modelle werden zersägt und neu justiert. Ziel ist es, während der Operation geplante Bewegungen der Kiefer durchführen zu können und eine stabile postoperative Okklusion zu schaffen. Hierfür werden auf den Modellen bei einem monomaxillären Eingriff eine Kunststoffschiene (Splint) und bei bimaxillärem Eingriff zwei Kunststoffschienen hergestellt. Diese Splinte sind farblich kodiert und dienen im Verlauf der Operation dazu, die Kiefer etappenweise in der erwünschten Position fixieren zu können. Intraoperativ kann, bei einer stabilen Okklusion, die intermaxilläre Fixierung ohne Splint erfolgen. (Jamilian et al., 2015; Ellis, 1994; Mast and Ehrenfeld, 2010)

Zur weiteren Röntgendiagnostik und Dokumentation werden im Verlauf der Behandlung Aufnahmen erstellt. Hierzu zählen das Orthopantomogramm (OPG), das Fernröntgenseitenbild (FRS), die seitlichen und Enface Fotostataufnahmen. Mit Hilfe der röntgenologischen Aufnahmen kann ein ossäres Screening und eine kephalometrische Analyse erfolgen. Die seitlichen und Enface Aufnahmen werden für die Weichgewebsprofilanalyse genutzt. Zusätzlich können zur Darstellung wichtiger Nerven- und Gefäßbündelverläufe

dreidimensionale Aufnahmen, wie die Digitale Volumentomographie (DVT), angefertigt werden. (Schopf, 2008)

1.3.3 Digitale Volumentomographie

Die digitale Volumentomographie (DVT; englisch: cone beam computed tomography= CBCT) bietet in der MKG-Chirurgie und Zahnmedizin die Möglichkeit der eigenständigen röntgenologischen Diagnostik, Planung und Dokumentation. (Haßfeld et al., 2008) Die Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) definierte in einer Stellungnahme die möglichen Indikationen für die Anwendung einer DVT. Aufgrund der unterschiedlichen Strahlenbelastung eines Zahnfilms, der OPG und der DVT soll, unter der Berücksichtigung des ALARA- Prinzips (as low as resonably achievable), die Anwendung einer DVT kritisch hinterfragt werden. Der DGZMK zufolge ist im Falle einer Dysgnathieoperation die Indikation gegeben. (DGZMK, 2022) Es können überlagerungsfreie und detaillierte Aufnahmen knöcherner Strukturen im Schädelbereich erfolgen, welche wichtig für die Operationsplanung sind. Das Gerät besteht aus einer Röntgenröhre und aus einem gegenüberliegenden Detektor (z.B. dem Flachbilddetektor). Diese drehen sich 360 Grad um das Objekt herum. Das kegelförmige Strahlenbündel erfasst das Objekt vollständig in allen 3 Ebenen. Abhängig vom Abstand der Messobjekte und der Kamera variiert die Größe des Bildbereichs (Sichtfeld= field of view [FOV]). Die Strahlung wird von dem Gewebe reflektiert und durch den Detektor erfasst. Es werden Summationsbilder hergestellt und über einen Algorithmus ein dreidimensionales Volumen berechnet. Die Schwächungswerte der einzelnen Volumenbereiche werden in der Größe der gewählten Voxel errechnet. Die Voxel sind isometrisch (würfelförmig) und haben je nach Dichte der jeweiligen Struktur einen bestimmten Graustufenwert. Mit einer speziellen Software können das Volumen manipuliert und somit Schnittebenen frei generiert werden. Zusätzlich können mit dieser Software zum Beispiel Markierungen und Messungen an den Bildern vorgenommen werden. (Scarfe et al., 2006; Haßfeld et al., 2008) Der DICOM-Standard (Digital Imaging and Communications in Medicine) ermöglicht unter anderem die verschlüsselte Weitergabe der Datensätze unabhängig vom Gerät. (Carter et al., 2016) In der S2k-Leitlinie der DGZMK wird eine Metaanalyse aufgeführt, in welcher ein durchschnittlicher effektiver Dosiswert im Bezug der FOV Größe empfohlen wird. (DGZMK, 2022) Im Vergleich zu der ebenfalls dreidimensionalen Computertomographie (CT) können durch die würfelförmige Voxelform Rekonstruktionen in allen Ebenen mit hohem Auflösungsvermögen erfolgen. Besonders geschieht dies in der vertikalen Dimension. Je kleiner die Kantenlänge ist, desto besser können feine Strukturen

dargestellt werden. Zudem ist die Strahlenbelastung und die Metallartefaktbildung bei der DVT geringer. Als Nachteil gilt die schlechtere Weichgewebsdarstellung. (Ludlow and Ivanovic, 2008; Tsiklakis et al., 2005; Holberg et al., 2005) Durch die überwiegenden Vorteile bietet die DVT eine sinnvolle Möglichkeit im Schädelbereich skelettale Veränderungen durch chirurgische Eingriffe möglichst genau planen und umsetzen zu können.

1.3.4 Postoperative kieferorthopädisch-chirurgische Maßnahmen

Nach erfolgter Operation bleibt der Patient einige Tage stationär. Für die Dauer des Aufenthaltes sind die Kiefer durch Gummiringe an den Brackets aneinander fixiert und können nach ca. 4 Wochen komplett entfernt werden. Fünf bis sechs Wochen nach der Operation kann mit der kieferorthopädischen Feineinstellung begonnen werden. Die Osteosyntheseplatten werden in der Regel nach einem halben Jahr in einem zweiten chirurgischen Eingriff entfernt. Für diesen Eingriff und zur Dokumentation wird eine letzte Röntgenaufnahme aufgenommen. Abschließend werden die Zähne mit Hilfe von Retainern oder Positionern fixiert. (Proffit and White, 2015)

1.4 Operationsmethode

1.4.1 Oberkiefer: Le Fort-I Osteotomie

Im Oberkiefer ist die Osteotomie entlang der Le Fort-I Ebene und die Down-Fracture-Technik nach Bell die Methode der Wahl (Abb. 2). (Bell, 1975; Kashani and Rasmusson, 2016) Die Operation findet unter Intubationsnarkose und Verwendung zusätzlicher Lokalanästhetika statt. Zunächst erfolgt eine circumvestibuläre Inzision und ein Mukoperiostlappen wird präpariert. Anschließend wird dorsal, mit einer oszillierenden Säge, die Tuber maxilla von dem Processus pterygoideus getrennt. Diese Osteotomie wird nach anterior fortgeführt, sodass die faziale Kieferhöhlen- und laterale Nasenwand, unter Schonung der Nasenschleimhaut, und das Septum der Crista palatina durchtrennt werden. Mittels der Down-Fracture wird der gesamte Oberkiefer von der Schädelbasis gelöst. Dies betrifft somit auch die dorsale Kieferhöhlenwand. Bei einer kranialen Verlagerung des Oberkiefers kann es zum Abtrag von Knochen kommen. Im Anschluss wird eine Drahtligatur an der Spina nasalis befestigt, um diese leichter in der gewünschten Position einstellen zu können. Der Oberkiefer wird durch das Einbringen des Zwischensplintes und der anschließenden Fixierung am Unterkiefer mittels Drahtligatur in die gewünschte Position gebracht, welche vorher in der Modelloperation festgelegt wurde. Die Fixierung des Oberkiefers am Knochen erfolgt durch 4 biodynamische 4-Loch

Osteosyntheseplatten. Zwei Platten werden jeweils im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris und lateral der Apertura piriformis angebracht. Abschließend wird die Gingiva speicheldicht mit 4-0 Vicryl-Fäden vernäht. (Mast and Ehrenfeld, 2010; Kashani and Rasmusson, 2016)

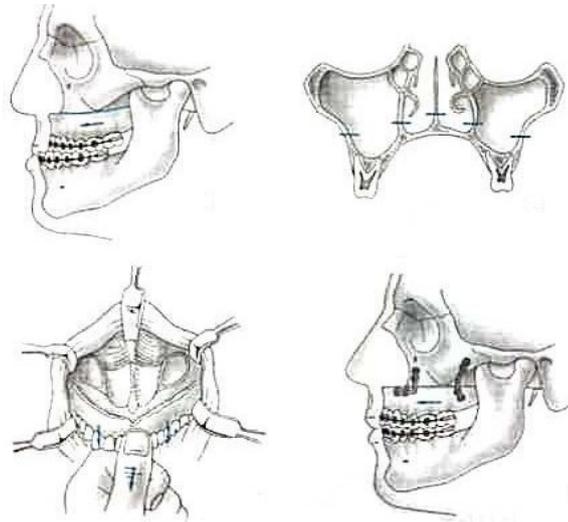


Abb. 2: schematische Darstellung der Oberkiefer Osteotomie in der Le Fort-I Ebene (Hofmeister, 2007)

oben links: vereinfachte Darstellung der Bewegungsrichtung des Oberkiefers
 oben rechts: Osteotomielinien (frontale Ansicht) des Oberkiefers
 unten links: Einsicht auf den mobilisierten Oberkiefer
 unten rechts: Fixierung des Oberkiefers nach Osteotomie

1.4.2 Unterkiefer: bilaterale, sagittale stufenförmige Osteotomie

Im Laufe der Jahre wurden verschiedene Operationsmethoden zur Korrektur der Unterkieferfehlstellung entwickelt und modifiziert. (Kashani and Rasmusson, 2016) Die bilaterale, sagittale stufenförmige Osteotomie nach Obwegeser und Dal Pont gilt als Methode der Wahl (Abb. 3). (Dal Pont, 1961; Obwegeser, 2001; Trauner and Obwegeser, 1957; Monson, 2013) Auch diese Operation findet unter Intubationsnarkose und Verwendung zusätzlicher Lokalanästhetika statt. Die Inzision beginnt vestibulär an der Vorderkante des aufsteigenden Astes und wird paramarginal bis zum Eckzahnbereich fortgesetzt. Anschließend wird ein Mukoperiostlappen zur Darstellung des Foramen mentale, des Unterkieferrandes, der Vorderkante des aufsteigenden Astes und des Foramen mandibulare präpariert. Unter Schonung des Nervus alveolaris inferior wird oberhalb der Lingula bzw. des Foramen mandibulare, eine linguale horizontale Osteotomie angelegt. Im weiteren Verlauf wird diese am Vorderrand des aufsteigenden Astes bis zum letzten Molaren fortgesetzt. Abschließend erfolgt die vertikale bukkale Osteotomie zwischen den letzten beiden Molaren bis zum Unterkieferbasalrand. Die Fragmente werden vorsichtig mit Hammer und Meißel getrennt, sodass der kiefergelenkstragende Anteil vom zahntragenden Anteil gelöst werden kann. Bei einer

Rückverlagerung muss unter Umständen die bukkale Knochenlamelle des kiefergelenkstragenden Anteils gekürzt werden. Mit Hilfe eines interokklusalen Kunststoffsplints wird der zahntragende Anteil entlang des Oberkiefers in die richtige Position gebracht und durch Drahtligaturen am Oberkiefer befestigt (maxillo-mandibuläre Fixation). Im Anschluss werden die beiden gelenktragenden Fortsätze ohne Hilfsmittel in ihre ursprüngliche, entspannte zentrale Position gebracht und mit biodynamischen Osteosyntheseplatten am Unterkieferkörper mittels monokortikaler Schrauben fixiert. Es folgt ein speicheldichter Wundverschluss mit 4-0 Vicryl-Fäden. (Hofmeister, 2007; Trauner and Obwegeser, 1957; Obwegeser, 1964)

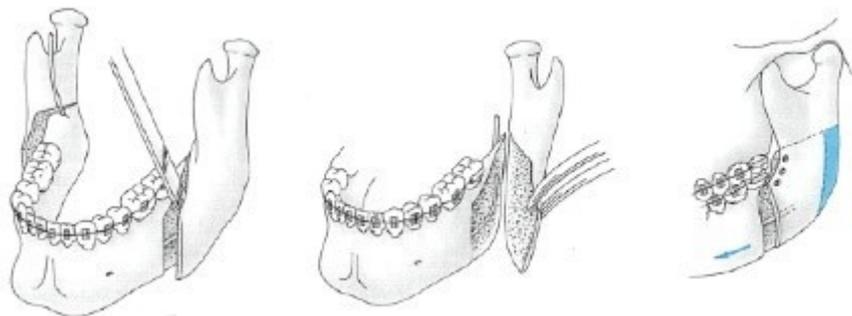


Abb. 3: schematische Darstellung der Unterkiefer Osteotomie nach H. Obwegeser und Dal Pont
(Hofmeister, 2007)

Links: bilaterale, sagittale stufenförmige Osteotomie des Unterkiefers

Mitte: Zustand nach Spaltung des Unterkiefers

Rechts: vereinfachte Darstellung der Bewegungsrichtung des Unterkiefers und Fixierung

1.4.3 Fixierungstechniken der osteotomierten Segmente

In der Dysgnathiechirurgie kann die Fixierung (=Osteosynthese) der Osteotomiefragmente durch verschiedene Techniken erfolgen. Diese können übungs- oder funktionsstabil sein.

Die übungsstabile Fixierung lässt Bewegungen, aber keine oder geringe Belastung der Fragmente zu. Bei der funktionsstabilen Fixierung darf neben der Bewegung auch eine funktionelle Belastung erfolgen. Es kann zwischen Draht-, Schrauben- und Plattenosteosynthese unterschieden werden. Eine weitere Unterscheidung kann zwischen resorbierbaren und nicht resorbierbaren Osteosynthesematerialien getroffen werden. (Hausamen et al., 2003)

Zu den Drahtfixierungsmethoden zählen unter anderem die Drahtnähte und Drahtumschlingungen. Aufgrund mangelnder Stabilität und der Notwendigkeit der langen intermaxillären Fixierung ist es anzuraten diese Methode nicht mehr oder nur in Kombination

mit anderen Fixierungsmethoden anzuwenden. (Hausamen et al., 2012; Schwenzer and Ehrenfeld, 2011)

Zu der Schraubenosteosynthese zählen die Zug- und Stellschrauben. Die Schrauben gibt es in unterschiedlichen Formen und Eigenschaften wie zum Beispiel selbstschneidende und nicht selbstschneidende Schrauben, manuell oder maschinell eindrehbare Schrauben, bündig mit der Platte abschließende oder hervorstehende Schraubenköpfe. Mit der Stellschraube werden die Fragmente so fixiert, dass bei dem Festdrehen der Schraube die Fragmente nicht aneinandergedrückt werden und somit der Frakturspalt bestehen bleibt. Das Gewinde befindet sich in beiden Frakturteilen. Es findet keine oder eine geringe Belastung des Knochens statt. (Schwenzer and Ehrenfeld, 2011; Hausamen et al., 2003) Die Zugschraube bewirkt, dass die Fragmente aneinandergedrückt werden. Das Gewindeloch befindet sich hierbei nur in einem Fragment. Der Schraubenkopf übt dabei Druck auf den Knochen aus. Durch verschiedene Möglichkeiten der Bohrlochgestaltung kann man diesem Druck entgegenwirken. Die Zugschraube soll senkrecht zu dem Frakturspalt eingebracht werden. Mit Zugschrauben können funktionsstabile Fixierungen erfolgen. Vorteil dieser Methode bietet der direkte Kontakt der Frakturflächen und somit eine primäre Knochenheilung. Ein Nachteil dieser Methode ist, dass zum Beispiel im Fall einer Umstellungsosteotomie die Fragmente beim Festziehen ihre Position verändern würden. (Hausamen et al., 2012; Hausamen et al., 2003)

Bei der Fixierung mit Hilfe von Platten können zwischen der lasttragenden und Lastmittragenden Plattenosteosynthese unterschieden werden. Bei der lasttragenden Osteosynthese wird die Last, die auf den Bruchspalt wirkt, von der Platte komplett getragen. Bei der Lastmittragenden Verplattung trägt der Knochen einen Teil der Last mit, sodass die Platten kleiner gestaltet werden können. (Schwenzer and Ehrenfeld, 2011) Eine Form der Plattenfixierung stellt die Kompressionsplatte dar. Durch das Festziehen der Schrauben gleiten diese in Richtung des Bruchspaltes und führen die Fragmente zueinander. Die Osteosynthese mit winkelstabilen Platten ermöglicht, dass die Schrauben fest mit der Platte verbunden sind ohne die Fragmente gegen die Platte zu bewegen. Die Vorteile sind zum Beispiel der Einsatz bei kiefergelenksnahen Frakturen und dass die Platten nicht an die Anatomie des vorliegenden Knochens angepasst sein müssen. Zudem ist die fehlende Kompression für die Durchblutung des Periosts vorteilhaft. (Schwenzer and Ehrenfeld, 2011; Hausamen et al., 2012; Horch and Hoffmeister, 2007) Die Miniplatten (Durchmesser 1,5-2mm) werden monokortikal auf der biodynamisch günstigeren Zugseite des Unterkiefers angebracht. Sobald es zu einer Zugbelastung kommt, wird diese durch die Platte kompensiert. Am Unterkieferrand kommt es zum Druckaufbau, wodurch eine dynamische Kompression und Zunahme der Stabilität stattfindet. (Hausamen et al., 2003)

Eine Alternative zu den nicht resorbierbaren Platten stellen die bioresorbierbaren Osteosynthesematerialien dar. Diese bestehen aus Polylactiden, Polyglycosiden oder deren Copolymeren. Ein Vorteil dieser Materialien ist, dass es keinen zweiten Eingriff benötigt um diese zu entfernen. Die Resorptionszeiten variieren zwischen Wochen bis Jahren. Ausschlaggebend hierfür können Faktoren wie zum Beispiel die Beschaffenheit der Materialien sein oder die Stressbelastung dem das Material an der Insertionsstelle ausgesetzt ist. Die Stabilität ist in der Literatur umstritten, weshalb die nicht resorbierbaren Materialien immer noch bevorzugt zum Einsatz kommen. (Schwenzer and Ehrenfeld, 2011; Ueki et al., 2005; Bergsma et al., 1993; Sukegawa et al., 2016)

1.4.4 Probleme der Segmentpositionierung und Hilfsmittel zur Positionierung der Kiefergelenke

Die Herausforderung in der Dysgnathiechirurgie stellt die intraoperative korrekte Positionierung der Kiefergelenke und der zahntragenden Fragmente dar. Das Ziel ist es, während der Umstellungsosteotomie die Veränderung der Kondylen-Fossa-Beziehung möglichst gering zu halten. Da dem Kiefergelenk eine Gelenkpfanne fehlt und die Gelenkposition hauptsächlich durch Bänder und die Muskulatur bestimmt wird, können die Patientenlagerung, die Muskelrelaxation während der Anästhesie sowie die Fixierungsmethode der zahntragenden und kiefergelenkstragenden Fragmente Gründe für eine intraoperative Veränderung der Kiefergelenksposition sein. Zudem kann die Richtung der Fragmentverlagerung, wie zum Beispiel die Rückverlagerung und Rotation, zur Fehlpositionierung des aufsteigenden Astes führen. (Mc Millen, 1972; Ellis, 1994)

Intra- und postoperative Adaptationsmechanismen beeinflussen zusätzlich die Position der Kiefergelenke und Fragmente. Der Begriff des Frührezidives ist in der Literatur ungenau beschrieben. Subsummiert werden die intraoperative Fehlpositionierung der Fragmente, die erst nach mehrtägiger Lösung der intermaxillären Fixierung (IMF) zu finden sind, sowie Fragmentdislokationen durch die Osteosynthese und andere seltene Faktoren. (Epker and Wessberg, 1982) Die Philosophie der biodynamischen Osteosyntheseplatten basiert auf der muskulär adaptierten Verformung der Platten, wobei jedoch nicht genau bekannt ist, in welchem Umfang diese tatsächlich in der Realsituation des Patienten erfolgt. Postoperative muskuläre Adaptationsvorgänge führen zu den klinischen Endresultaten. Das Langzeitrezidiv hängt somit von der Stabilität der Osteosynthese, der Knochenheilung und langfristigen muskulären Einflüssen ab. (Epker and Wessberg, 1982; Demircan et al., 2020)

Speissel (1974) und Leonardo (1976) berichteten erstmalig über den Einsatz von Positionierungshilfen für kiefergelenkstragende Segmente. (Hausamen et al., 2012; Ellis, 1994) Die Positionierungshilfe, beschrieben durch Leonardo, bestand aus einem Splint, der an die vestibulären Flächen der Oberkieferzähne fixiert wurde. Distal an dem Splint war ein Führungsdraht befestigt. An der Außenfläche des Unterkieferastes wurde hierfür eine Rille angelegt. Nach erfolgter Osteotomie konnte das kiefergelenkstragende Fragment verschoben und später mit Hilfe des Drahtes befestigt werden. Mit dieser Technik konnte die Rotation des Ramus verhindert werden. Der Nachteil dieser Methode war, dass die vorherige Kondylenposition nicht in allen 3 Ebenen reproduziert werden konnte. (Ellis, 1994)

Eine Positionierungshilfe, die dieses Problem behob, wurde erstmalig durch Luhr 1985 beschrieben. Eine rigide T-förmige Platte wurde am proximalen Segment des Unterkieferastes und an einer stabilen Struktur wie zum Beispiel den Oberkieferzähnen oder dem Processus zygomaticus maxillae befestigt. Zudem kam ein Okklusalsplint zum Einsatz. Somit fand während des operativen Eingriffs eine Sicherung der Kiefergelenksposition statt. (Ellis, 1994)

Im Bezug auf die Positionierung der Kiefergelenke während einer bimaxillären Umstellungsosteotomie war Luhr 1989 ebenfalls der Erste, der dies beschrieb. Vor der Osteotomie wurde eine T-förmige Platte an dem proximalen Segment des Unterkiefers und oberhalb der maxillären Schnitfführung am Os zygomaticum befestigt. Zusätzlich wurde ein Splint mit zentrischer Okklusion eingesetzt. Es erfolgte die Entfernung der T-förmigen Platte und die Osteotomie der Kiefer. Vor der Fragmentfixierung wurde die Platte erneut in derselben Position befestigt und das proximale Segment in ihrer ursprünglichen Form fixiert. Der Nachteil dieser Positionierungshilfe war, dass in diesem Segment eine Autorotation verhindert wurde. Einige Studien bewiesen, dass eine Autorotation zum Beispiel für neuromuskuläre Anpassungsvorgänge wichtig sei. (Ellis, 1994; Throckmorton et al., 1980; Luhr, 1989)

In den vergangenen Jahren wurden die Positionierungshilfen weiterentwickelt. Ziel war es die rigiden Fixierungen der Fragmente zu vermeiden. Es wurden Methoden entwickelt, die mit Hilfe von Zwischen- und Zielsplinten arbeiten. (Lindorf, 1977; Somsiri, 1987) Im Rahme der CAD/CAM- Technologie wurden zudem kleine okklusale Adjustierungen wie zum Beispiel Jigs oder U-förmige Kunststoffplatten hergestellt. (Kim et al., 2014; Cortese et al., 2019)

Die Entwicklung geht heutzutage in Richtung patientenspezifischer Implantate (PSI). Durch das CAD/CAM-Verfahren werden individuelle Splinte und Platten hergestellt. Als Vorteile dieser Methode gelten zum Beispiel die Verminderung der Fehlpositionierung des Kiefergelenks und der Wegfall des manuellen Anbiegens der Platten. Die Nachteile dieses

Systems sind unter anderem die fehlende intraoperative Flexibilität und die hohen Kosten. (Li et al., 2021; Gander et al., 2015; Hsu et al., 2013; Ferrari et al., 2023)

1.5 Articulatio temporomandibularis- das Kiefergelenk

1.5.1 Aufbau und Mechanik

Das Kiefergelenk ermöglicht die Beweglichkeit des Unterkiefers im Alltag. Die Verbindung entsteht zwischen dem Caput mandibulae (Gelenkkopf) des Processus condylaris und der Fossa mandibularis (Gelenkpfanne) des Os temporale. Diese beiden knöchernen Anteile werden von einer bindegewebigen Gelenkkapsel umgeben. Außen inserieren Bänder, die dem Gelenk mehr Stabilität und Mobilität verleihen. Im Inneren befindet sich zwischen dem Caput und der Fossa der Discus articularis (Gelenkscheibe). Dieser Faserknorpel unterteilt das Gelenk in eine obere (discotemporale) und untere (discomandibuläre) Kammer. Ventral wird das Gelenk durch das Tuberculum articulare begrenzt, sodass eine Luxation verhindert wird. (Aumüller et al., 2007) Dorsal ist der Discus mit der Kapsel verwachsen und bildet die bilaminäre Zone. Diese ist für die Blutversorgung und Stabilität des Knorpels und der Membran verantwortlich. Der Discus gleicht die Inkongruenz und den Größenunterschied des Caput und der Fossa aus. Zudem verschiebt er sich bei Kieferbewegungen und ermöglicht das Gleiten des Processus condylaris. (Ash and Schmidseder, 1999) Die Synovia (Gelenkflüssigkeit) unterstützt diese Gleitbewegung und ernährt zudem den Discus sowie die nicht durchbluteten Gelenkoberflächen. (Kares et al., 2006) Das Kiefergelenk zählt zu den Drehscharniergelenken (Trochoginglymus). Durch die zwei Kammerbildung ist es in der Lage sowohl Rotations- als auch Gleitbewegungen zu machen. Zudem ermöglicht das Kiefergelenk die Protrusion und Retrusion durch Translationsbewegungen. Bei der Mastikation erfolgt zusätzlich eine laterale Bewegung. Somit ist das Kiefergelenk in alle Richtungen beweglich. (Aumüller et al., 2007)

1.5.2 Pathophysiologie

Der Begriff Craniomandibuläre Dysfunktion (CMD) bezeichnet eine Vielzahl von Fehlfunktionen der orofazialen Region und den daraus resultierenden Beschwerden. In der Regel äußern sich Schmerzen im Bereich der Kiefergelenke, der Kaumusculatur und des Kopfes. Zudem können Ohren-, Nacken- sowie Rückenschmerzen auftreten. (de Leeuw, 2008) Gründe für die CMD können neben akut-traumatischen Einwirkungen auch chronische Fehlbelastungen, wie zum Beispiel Okklusionsstörungen oder Dysgnathien, sein. Diese Fehlbelastungen können angeboren sein oder zum Beispiel iatrogen durch Behandlungsfehler erzeugt beziehungsweise verstärkt werden. (Ash and Schmidseder, 1999) Muskuläre

Dysbalancen, Verlagerungen des Kiefergelenks und Discus, intrakapsuläre Degenerationen sowie skelettale Veränderungen sind mögliche Folgen. (Kares et al., 2006; Ash and Schmidseder, 1999; Stelzenmüller and Wiesner, 2004) Durch individuelle, funktionelle und morphologische Anpassungen versuchen die Kiefergelenke und die Muskulatur auf diese Veränderungen zu reagieren. (Stelzenmüller and Wiesner, 2004) Daraus resultierend können diese besonders im Kindesalter unerkannt bleiben. (Ricken and Toll, 2010)

Kieferorthopädische und chirurgische Eingriffe können einen unmittelbaren Einfluss auf das Gebiss und damit auf das orofaziale System (kondylo-okklusales System) haben. (Lüthje et al., 2016) Vor jeder Intervention muss eine ausführliche klinische und radiologische Untersuchung einschließlich eines Funktionsstatus des Kiefergelenks erfolgen sowie ein individueller Behandlungsplan erstellt werden. So können iatrogene Behandlungsfehler durch kieferorthopädisch unkontrollierte dentale Bewegungen oder falsche Anwendungen von Geräten vermieden werden. Dennoch wird der direkte Zusammenhang zwischen den Dysgnathieoperationen und den craniomandibulären Dysfunktionen in der Literatur kontrovers diskutiert. Einige Studien bewiesen, dass die Eingriffe keine Auswirkung auf das Kiefergelenk haben. (Holzinger et al., 2019; Chen et al., 2013; Sander et al., 2015; Fang et al., 2009) Es gibt jedoch Studien die diese Behauptungen widerlegen und einen Zusammenhang darstellen. (Jung et al., 2015; Ueki et al., 2002; Aoyama et al., 2005) In der Vergangenheit wurden hierfür folgende Faktoren und deren potentielle Auswirkungen untersucht: i) die Operationsmethoden (Hu et al., 2000; Ueki et al., 2002), ii) die Fixierungstechniken (Ureturk and Apaydin, 2018) und iii) die Positionierung der Kondylen mit und ohne Hilfsmittel (Ellis, 1994). Unterstützend konnten einige Studien zeigen, dass chirurgische Eingriffe sogar zur Verbesserung der CMD führen können. (Karabouta and Martis, 1985; Westermarck et al., 2001)

2 Material und Methoden

2.1 Datenakquise

Jährlich finden in der Kieferklinik Münster bis zu 200 Dysgnathieoperationen statt. In einem Zeitraum von 3 Jahren (2019-2021) wurden Patienten untersucht, die eine mono- oder bimaxilläre Umstellungsosteotomie erhalten haben. Aus dieser Studie ausgeschlossen wurden Fälle mit anamnestisch festgestellten Kiefergelenksbeschwerden oder morphologischen Kiefergelenksschädigungen, bei denen Traumata oder syndromale Erkrankungen zu einer Kieferfehlstellung geführt haben und Fälle, bei denen bereits eine chirurgische Kieferkorrektur

erfolgt war. Berücksichtigt wurden Patienten, bei denen eine angeborene skelettale Klasse II oder III Kieferfehlstellung vorlag. Zudem musste eine prä- und postoperative kieferorthopädische Behandlung stattgefunden haben. Des Weiteren mussten diese Patienten älter als 16 Jahre sein und alle röntgenologischen Unterlagen mussten vollständig vorliegen. Zusätzlich musste eine Indikation für die Anwendung der Le Fort-I Methode und der bilateralen, sagittalen, stufenförmigen Osteotomie nach Obwegeser-Dal Pont vorliegen. Ein Ethikantrag wurde an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf eingereicht und genehmigt (Studennummer: 2021-1529). Die Patienten haben eine Datenschutzerklärung und eine Einverständniserklärung unterschrieben. Der komplette Datensatz wurde anonymisiert.

2.2 Prä-, intra- und postoperativer Behandlungsprotokoll

Präoperativ erhielten alle Patienten eine kieferorthopädische Vorbehandlung mit lockeren oder festsitzenden Apparaturen. Die Korrektur im Oberkiefer fand nach der Le Fort-I Methode statt. Der Unterkiefer wurde mit Hilfe der BSSO nach Obwegeser und Dal Pont korrigiert. Die Fixierung der kiefergelenkstragenden Segmente erfolgte ohne Hilfsmittel. Für die Fixierung der Kieferfragmente wurden biodynamische Osteosyntheseplatten und monokortikale Schrauben verwendet. Alle Eingriffe wurden von einem erfahrenen Operateur unter standardisierten Bedingungen durchgeführt. Nach der Operation wurde die intermaxilläre Fixierung für 3-4 Wochen mit Gummibändern durchgeführt, so dass die kieferorthopädische Behandlung nach 6 Wochen fortgesetzt werden konnte. Die Platten und Schrauben wurden 6 Monate nach dem Eingriff entfernt.

2.3 Röntgenologische Unterlagen

In der Kieferklinik Münster werden standardmäßig die Panoramaschichtaufnahme (=Orthopantomogramm [OPG]), das Fernröntgenseitenbild und die Digitale Volumentomographie für die Diagnostik, Analyse, Therapieplanung und Dokumentation der Dysgnathieoperation verwendet. Die Bilder werden unter standardisierten Bedingungen mit dem Gerät der Marke KaVo 3 D Exam aufgenommen (Imaging Sciences International, Hatfield, PA 19440, EE. UU.). Dieser ist mit einem Extended-View-Sensor (Größe 17 x 23cm; Voxelgröße= 300µm) ausgestattet. Alle Aufnahmen werden in maximaler Okklusion durchgeführt, dadurch sind vergleichbare prä- und postoperative Situationen gegeben. Eine Zwangsbißpositionierung ist dabei nicht auszuschließen, ist aber nicht Fragestellung der Studie. Aus strahlenschutzrechtlichen Gründen werden die Aufnahmen auf das untere Gesichtsfeld

(=lower field of view [FOV]) begrenzt. Dieses ist definiert als das Feld von der Unterkieferbasis bis zum Infraorbitalpunkt. Die Daten dieser Studie wurden in das eXam Vision Programm importiert und ausgewertet. Das Programm ImageJ wurde benutzt um Ausschnitte aus den Aufnahmen zu erstellen (Wayne Rasband, National Institution of Health, Bethesda, Maryland, USA). Es wurden 3 röntgenologische Bilder erstellt: Die erste Aufnahme fand wenige Tage vor der Operation (T0) und die zweite 3 Tage nach der Operation (T1) statt. Eine weitere Aufnahme wurde ein Jahr nach dem Eingriff (T2) gemacht. Der Vergleich der Aufnahmen zum Zeitpunkt T1 und T0 diente dazu eine Aussage über die Verlagerungsstrecke zu treffen. Die postoperative Stabilität konnte durch den Vergleich der Aufnahmen T2 und T1 beurteilt werden.

2.4 Kephalemtrische Messung

Aus strahlenschutzrechtlichen Gründen wurden die Aufnahmen auf die infraorbitale Gesichtsschädelpartie beschränkt. Daraus resultierend mussten die Messpunkte angepasst werden. So diente statt der Nasion-Sella-Linie die Frankfurter Horizontale als Referenzlinie. Da es durch die Art der Kieferverlagerung zu einer Rotation des kiefergelenkstragenden Fragments kommen kann, wurden in dieser Studie solche Punkte als Meßparameter gewählt, mit welchen sich diese Fehlbewegungen am besten analysieren lassen. Auserwählte skelettale und dentale Punkte sowie konstruierte Punkte und Linien wurden auf den Aufnahmen markiert, sodass relevante Strecken und Winkel in allen 3 Ebenen erstellt und ausgemessen werden konnten (Tabelle 2).

In der transversalen Ebene wurden hierfür der Kondylenabstand, der Kondylenwinkel und die Position der anterioren Flächen der kiefergelenkstragenden Segmente determiniert. Der laterale Versatz in der Region der anterioren vertikalen Osteotomie definiert die Deviation des kiefergelenkstragenden Fragments und identifiziert die transversale Rotation im Kiefergelenk (Abb. 4, 5). In der sagittalen Ebene wurden die mandibuläre und maxilläre Länge ausgemessen (Abb. 6). Um eine Aussage über die maxillo-mandibuläre Relation treffen zu können, wurden stellvertretend für die dentalen Parameter der Overjet, der Overbite und der Interinzisalwinkel untersucht (Abb. 7).

Linien	
Frankfurter Horizontale (FH)= Linie zwischen dem Infraorbitalpunkt (Or) und dem höchsten Punkt des Porus acusticus externus (P) (Referenzlinie)	
Okklusionsebene (OcP)= Linie zwischen der Inzisalkante des am weitesten anterior stehenden Unterkieferfrontzahnes und dem distalen Höcker des letzten Unterkiefermolaren	
Sagittale Parameter	
FH-A Winkel	Winkel zwischen der FH-Linie und dem tiefsten Punkt der Oberkieferkurvatur (A)
FH-B Winkel	Winkel zwischen der FH-Linie und dem tiefsten Punkt der Unterkieferkurvatur (B)
referenzierte mandibuläre Länge	Abstand zwischen dem obersten Punkt des Kondylenkopfes (Co) und dem am weitesten anterior liegende Punkt der knöchernen Kinnspitze (Pog)
referenzierte maxilläre Länge	Abstand zwischen dem obersten Punkt des Kondylenkopfes (Co) und dem tiefsten Punkt der Oberkieferkurvatur (A)
Transversale Parameter	
Kondylen-abstand	Abstand zwischen dem rechten und linken Kondylenmittelpunkt (c); Mittelpunkt= der Mittelpunkt auf der Linie zwischen dem lateralsten (lpc) und medialsten (mpc) Punkt des Kondylenkopfes
Kondylen-winkel	Winkel zwischen der Längsachse des rechten und linken Kondylenkopfes; Längsachse= Linie zwischen dem lateralsten (lpc) und medialsten (mpc) Punkt des Kondylenkopfes
AKGS	= anteriore Fläche des kiefergelenkstragenden Segments; transversaler Abstand der anterioren Flächen der kiefergelenkstragenden Segmente im Bereich der Osteotomielinie (ol)
Dentale Parameter	
Overjet	sagittaler Abstand zwischen den Linien der Labialflächen des am weitesten anterior stehenden oberen Schneidezahnes (Ls) und des Antagonisten (Li)
Overbite	vertikaler Abstand zwischen den Inzisalkanten der oberen (UpIe) und unteren (LoIe) Schneidezähne senkrecht zur Okklusionsebene
Interinzisalwinkel	Winkel zwischen der Längsachse der Oberkiefer- (UpIa-UpIe) und Unterkieferfrontzähne (LoIa-LoIe)

Tabelle 2: Definition der relevanten Punkte, Linien und Winkel

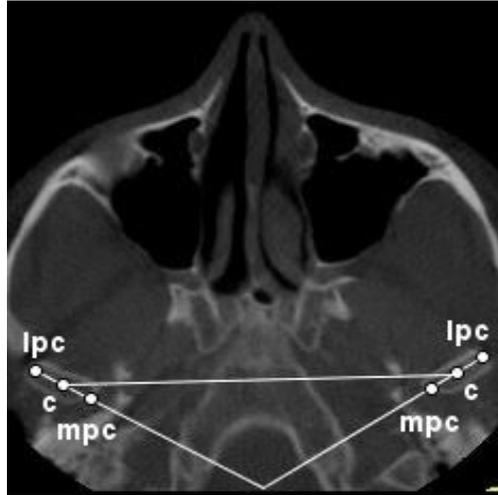


Abb. 4: Transversale Parameter – Kondylenwinkel und Kondylenabstand

Kondylenabstand= Abstand zwischen dem rechten und linken Kondylenmittelpunkt;

Kondylenmittelpunkt (c)= der Mittelpunkt auf der Linie zwischen dem lateralsten (lpc) und medialsten (mpc) Punkt des Kondylenkopfes ;

Kondylenwinkel= Winkel zwischen der Längsachse des rechten und linken Kondylenkopfes;

Längsachse= Linie zwischen dem lateralsten (lpc) und medialsten (mpc) Punkt des Kondylenkopfes

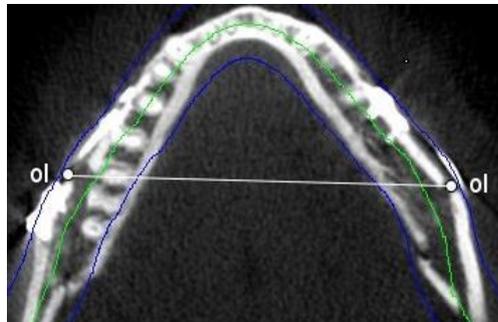


Abb. 5: Transversaler Parameter- Abstand der anterioren Flächen der kiefergelenkstragenden Segmente

Osteotomielinie (ol)= Abstand der anterioren Flächen der kiefergelenkstragenden Segmente (AKGS) im Bereich der Osteotomielinie

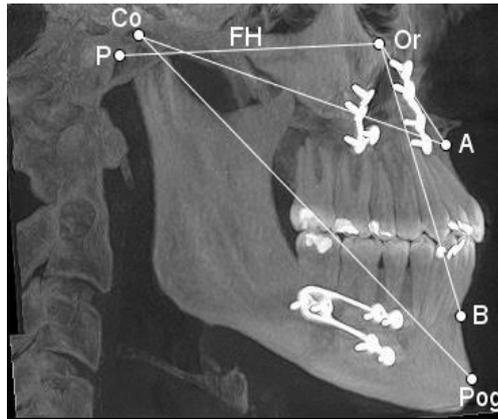


Abb. 6: Sagittale Parameter- referenzierte mandibuläre Länge und referenzierte maxilläre Länge

A-Punkt (A)= tiefster Punkt der Oberkieferkurvatur; B-Punkt (B)= tiefster Punkt der Unterkieferkurvatur; Condylion (Co)= höchster Punkt des Kondylenkopfes; Infraorbitalpunkt (Or)= tiefster Punkt des Infraorbitalrandes; Pogonion (Pog)= am weitesten anterior liegende Punkt der knöchernen Kinnschuppe (Pog); Porion (P)= der höchste Punkt des Porus acusticus externus; Frankfurter Horizontale (FH)= Linie zwischen P-Or (Referenzlinie); FH-A Winkel, FH-B Winkel; referenzierte mandibulare Länge= Abstand zwischen Co-Pog; referenzierte maxilläre Länge= Abstand zwischen Co-A

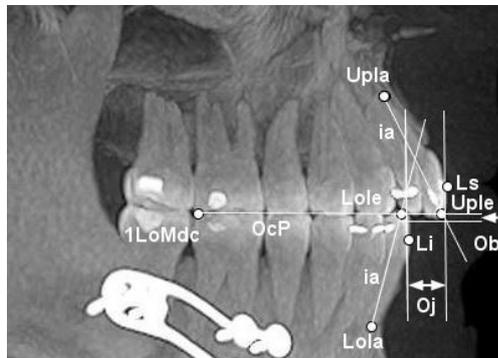


Abb. 7: Dentale Parameter- Overjet, Overbite and Interinzisalwinkel

Okklusionsebene (OcP)= Linie zwischen der Inzisalkante des am weitesten anterior stehenden Unterkieferfrontzahnes und dem distalen Höcker des letzten Unterkiefermolarens; Overjet (oj)= sagittaler Abstand zwischen den Linien der Labialflächen des am weitesten anterior stehenden oberen Schneidezahnes (Ls) und des Antagonisten (Li); Overbite (ob)= vertikaler Abstand zwischen den Inzisalkanten der oberen (UpIe) und unteren (LoIe) Schneidezähne senkrecht zur Okklusionsebene; Interinzisalwinkel (ia)= Winkel zwischen der Längsachse der Oberkiefer- (Upla-Uple) und Unterkieferfrontzähne (Lola-Lole); Labialfläche des Unterkieferfrontzahnes (Li); Apex des Unterkieferfrontzahnes (Lola); Inzisalkante des Unterkieferfrontzahnes (LoIe); Labialfläche des Oberkieferfrontzahnes (Ls); Apex des Oberkieferfrontzahnes (Upla); Inzisalkante des Oberkieferfrontzahnes (UpIe); distaler Höcker des ersten Unterkiefermolarens (1LoMdc)

2.5 Statistische Analyse

Die Daten wurden in einer Microsoft Excel Tabelle (2019, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) zusammengefasst. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm IBM SPSS Statistics für Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). In einer deskriptiven Statistik wurden der Median, die Standardabweichung, ein Minimum und ein Maximum, die 25., 50. und 75. Perzentile errechnet. Der Wilcoxon Test wurde für gepaarte Stichproben mit einem Signifikanzniveau $p \leq 0,05$ angewendet. Die Rezidivquote wurde mit Hilfe folgender Formel errechnet: $\frac{\text{Werte nach einem Jahr} - \text{postoperative Werte}}{\text{präoperative Werte}}$. Die Stabilität wurde, in Anlehnung an vorherige Studien, wie folgt definiert: postoperative Veränderungen $< 2\text{mm}$ oder weniger als 10% wurden als klinisch nicht signifikant und als sehr stabil angesehen. Veränderungen zwischen 2-4mm und weniger als 20% wurden als potenziell signifikant und stabil angesehen. Unterschiede außerhalb dieses Bereichs galten als hochsignifikant und wurden mit einer hohen Rückfallrate verbunden. (Proffit et al., 2007; Bailey et al., 2004)

3 Ergebnisse

3.1 Patientengut

Das Kollektiv dieser retrospektiven Studie bestand aus 20 Patienten (14 weiblich; 6 männlich). Das Alter des Gesamtkollektivs lag im Median bei 22 Jahren (Mittelwert: 29,4 Jahre). Die Frauen waren im Median 25,5 Jahre (Mittelwert: 32,2 Jahre) und die Männer 21,5 Jahre (Mittelwert: 23 Jahre) alt. Der jüngste Patient war 16 Jahre und der älteste 65 Jahre alt (Abb. 8).

Es erfolgten 9 monomaxilläre und 11 bimaxilläre Umstellungsosteotomien. Die monomaxillären Eingriffe teilten sich in 8 Unterkiefer Vorverlagerungen und eine Unterkiefer Rückverlagerung auf. Unter den bimaxillären Eingriffen erhielten 5 Patienten eine Oberkiefer Vor- und Unterkiefer Rückverlagerung. In 4 Eingriffen wurde der Oberkiefer zurück verlagert und der Unterkiefer vorverlagert. In 2 Fällen wurde sowohl der Ober- als auch der Unterkiefer vorverlagert.

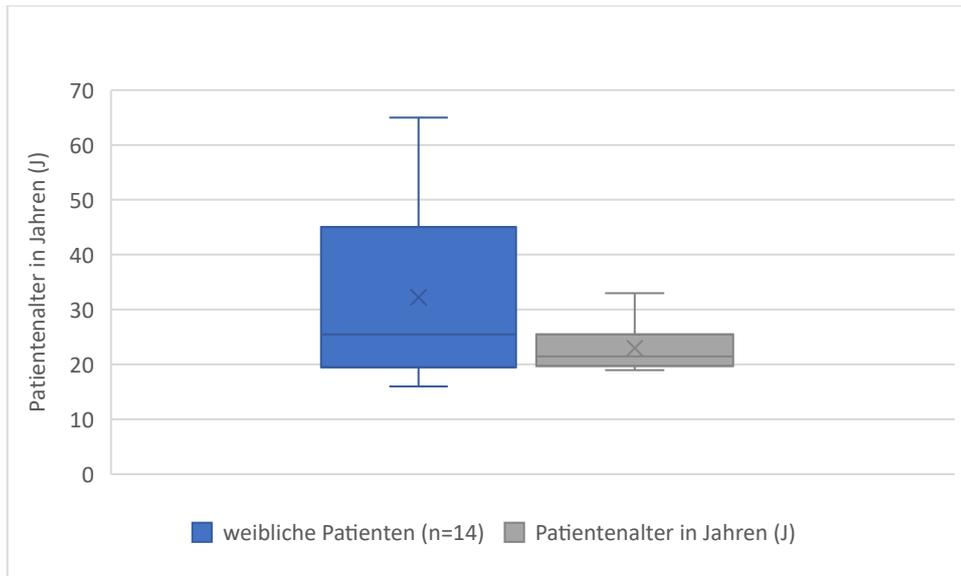


Abb. 8: Alters- und Geschlechterverteilung (präoperativ)

Patientenalter in Jahren (J); Patientenanzahl (n); blau= weibliches Patienten Klientel; grau= männliches Patienten Klientel

3.2 Ergebnisse der transversalen Ebene

In der transversalen Ebene wurden im Kiefergelenksbereich der Kondylenwinkel und der Kondylenabstand gemessen. Zudem wurde der Abstand der anterioren Flächen der kiefergelenkstragenden Segmente im Bereich der Osteotomielinie bestimmt. Tabelle 3 gibt die medianen prä- und postoperativen Werte sowie die medianen Werte nach einem Jahr wieder.

Parameter	präoperativ		postoperativ		1 Jahr		p-Wert (a)
	Median	(25./75.P)	Median	(25./75.P)	Median	(25./75.P)	
Kondylenwinkel	125,0	(117/131)	127,0	(117/134)	127,0	(117/134)	0,334
Kondylenabstand	97,13	(92/102)	95,44	(92/101)	95,75	(92/101)	0,953
AKGS	---		64,06	(62/67)	65,11	(62/68)	0,173

Tabelle 3: Statistischer Überblick der Messwerte (transversale Parameter)

Veränderung und Stabilität der Kondylenwinkel (Grad), der Kondylenabstände (mm) und der Abstände der anterioren Flächen der kiefergelenkstragenden Segmente (=AKGS; mm) im Verlauf

(a) Prüfung der Stabilität (Werte ein Jahr- Werte postoperativ) auf Signifikanz im Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben ($p \leq 0,05$)

Die mediane Differenz des prä- und postoperativen Kondylenwinkels betrug 2,0 Grad. Bei dem Vergleich von T2 und T1 wurde nach einem Jahr kein signifikanter Unterschied festgestellt (Abb. 9). Die mediane Rezidivquote lag bei 0,2%.

Die mediane Differenz des prä- und postoperativen Kondylenabstandes betrug 1,69mm. Im Verlauf wurde eine minimale, aber nicht signifikante Veränderung mit einer Rezidivquote von 0,5% festgestellt (Abb. 10).

Abbildung 11 gibt die Werte der Abstände der anterioren Flächen der kiefergelenkstragenden Segmente im Bereich der Osteotomielinie zum Zeitpunkt T1 und T2 wieder. Diese haben sich im Verlauf nicht signifikant verändert.

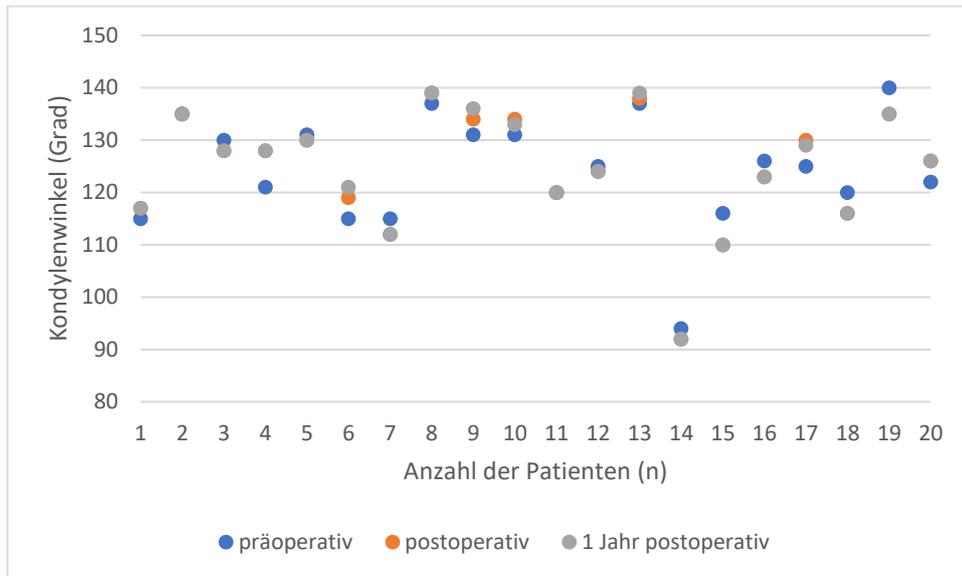


Abb. 9: Messungen Kondylenwinkel (Grad)

Patientenanzahl (n=20); Messwerte prä-(blau), postoperativ (orange) und ein Jahr später (grau)

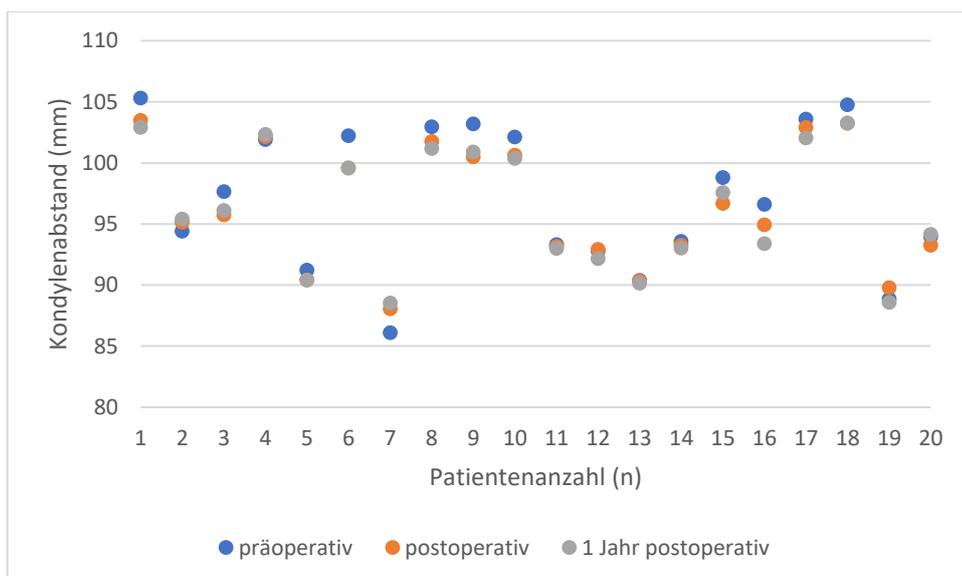


Abb. 10: Messungen Kondylenabstand (mm)

Patientenanzahl (n=20); Messwerte prä-(blau), postoperativ (orange) und ein Jahr später (grau)

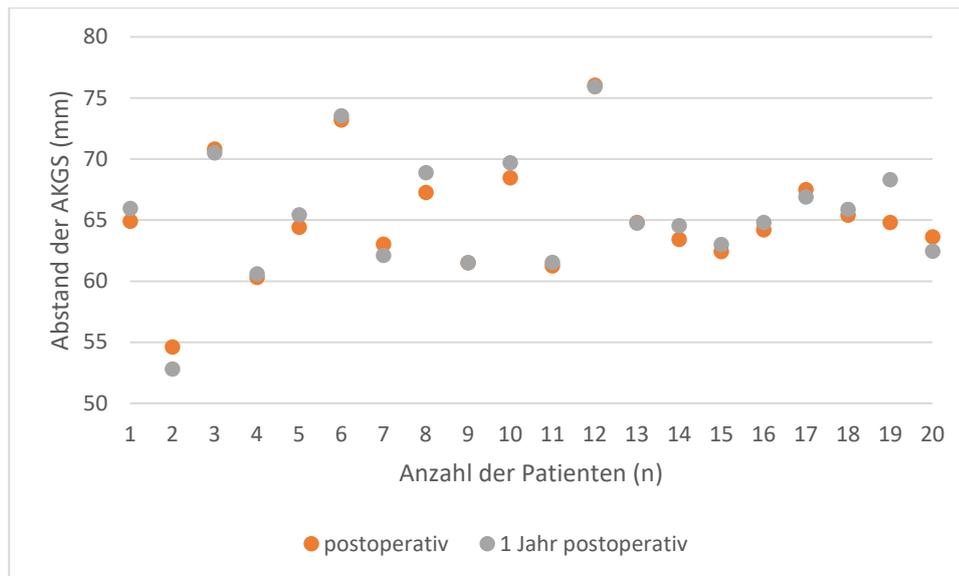


Abb. 11: Messungen Abstand der anterioren Flächen der kiefergelenkstragenden Segmente (=AKGS; mm)
 Patientenanzahl (n=20); Messwerte postoperativ (orange) und ein Jahr später (grau)

3.3 Ergebnisse der sagittalen Ebene

In der sagittalen Ebene wurden die mandibulären und maxillären Längen vermessen. Tabelle 4 gibt die medianen prä- und postoperativen Werte sowie die medianen Werte nach einem Jahr wieder.

Parameter	präoperativ		postoperativ		1 Jahr		p-Wert (a)
	Median	(25./75.P)	Median	(25./75.P)	Median	(25./75.P)	
maxilläre Länge	86,18	(84/89)	85,31	(83/94)	85,49	(84/93)	0,911
mandibuläre Länge	111,85	(103/117)	114,32	(107/117)	113,65	(107/117)	0,411

Tabelle 4: Statistischer Überblick der Messwerte (sagittale Parameter)

Veränderung und Stabilität der referenzierten mandibulären (mm) und maxillären Länge (mm) im Verlauf

(a) Prüfung der Stabilität (Werte ein Jahr- Werte postoperativ) auf Signifikanz im Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben ($p \leq 0,05$)

Die maxillären Verlagerungen lagen zwischen 1,9mm und 4,8mm. Es lag keine signifikante Veränderung zwischen dem medianen postoperativen Wert und dem Wert nach einem Jahr vor. Die Rezidivquote lag bei 0,7% (Abb. 12).

Die mandibulären Verlagerungen lagen bei 1,6mm und 6,3mm. Nach einem Jahr konnte keine signifikante Veränderung der Verlagerung festgestellt werden mit einer Rezidivquote von 0,4% (Abb. 13).

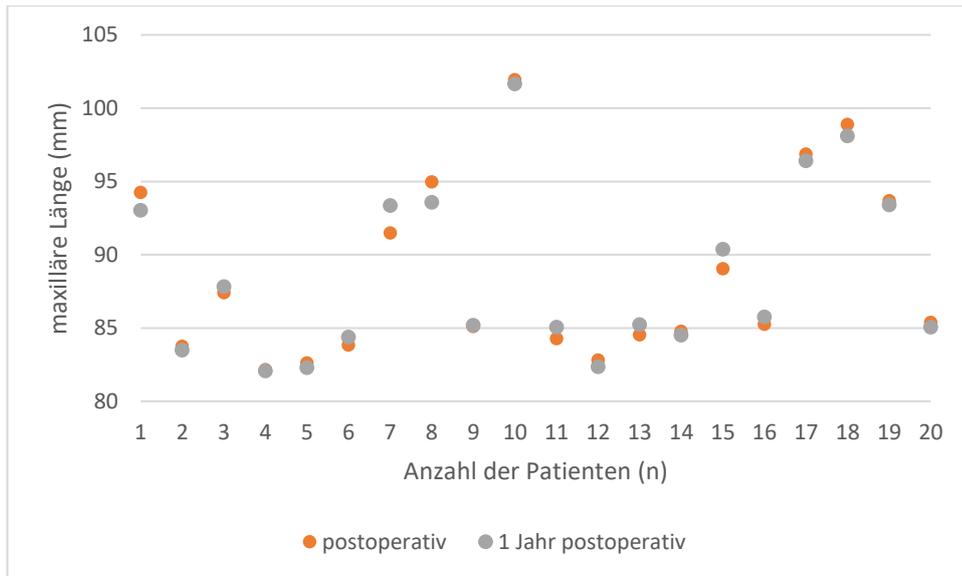


Abb. 12: Messungen maxilläre Länge (mm)

Patientenanzahl (n=20); Messwerte postoperativ (orange) und ein Jahr später (grau)

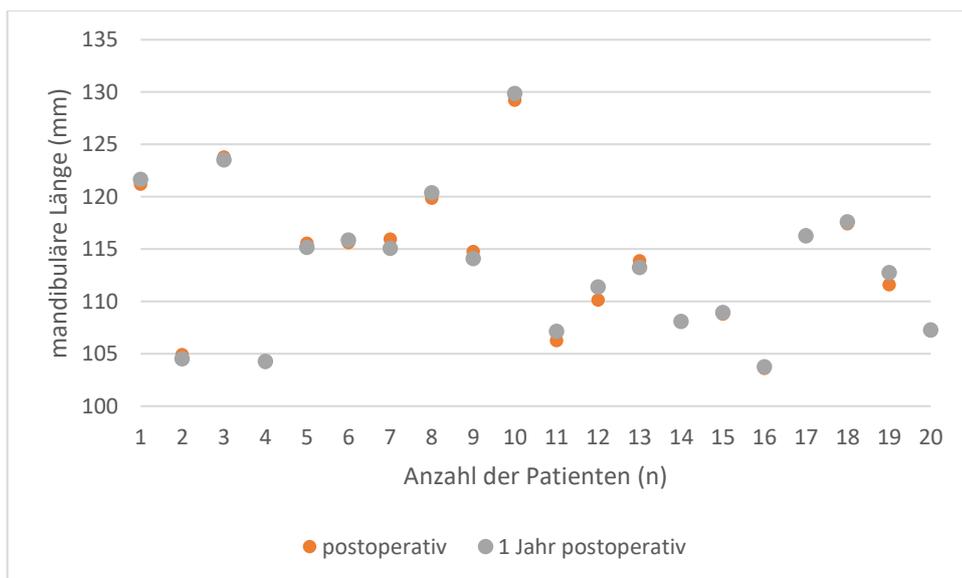


Abb. 13: Messungen mandibuläre Länge (mm)

Patientenanzahl (n=20); Messwerte postoperativ (orange) und ein Jahr später (grau)

3.4 Ergebnisse der dentalen Parameter

Stellvertretend für die dentalen Parameter wurden der Overjet, der Overbite and der Interinzisalwinkel gemessen. Tabelle 5 gibt die medianen prä- und postoperativen Werte sowie die medianen Werte nach einem Jahr wieder.

Parameter	präoperativ		postoperativ		1 Jahr		p-Wert (a)
	Median	(25./75.P)	Median	(25./75.P)	Median	(25./75.P)	
Overjet	5,4	(-0,3/7)	2,45	(2,4/4,5)	2,7	(1,8/3,3)	0,276
Overbite	1,1	(0,6/3,1)	0,8	(-0,5/1,2)	1,3	(1,2/2,3)	0,000
Interinzisalwinkel	124	(118/135)	126	(116/132)	126	(122/133)	0,657

Tabelle 5: Statistischer Überblick der Messwerte (dentale Parameter)

Veränderung und Stabilität des Overjets (mm), des Overbites (mm) und des Interinzisalwinkels (Grad) im Verlauf

(a) Prüfung der Stabilität (Werte ein Jahr-Werte postoperativ) auf Signifikanz im Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben ($p \leq 0,05$)

Der mediane präoperative Wert des Overjets verkleinerte sich postoperativ. Ein minimaler jedoch nicht-signifikanter Unterschied wurde während der Verlaufskontrolle festgestellt. Es lag eine signifikante Differenz des medianen Overbite Wertes zum Zeitpunkt T2 vor. Die mediane Differenz des prä- und postoperativen Interinzisalewinkels lag bei 2,0 Grad. Es wurde keine signifikante Differenz nach einem Jahr festgestellt.

4 Diskussion

4.1 Die postoperative Stabilität im kiefergelenks- und zahntragenden Fragment

In dieser Studie wurden die kiefergelenkstragenden Segmente ohne Hilfsmittel positioniert. In verschiedenen Studien wurden unterschiedliche Punkte zur Evaluierung der Kieferfragmentpositionierung und damit einhergehenden Stabilität verwendet. (Sander et al., 2015; Fang et al., 2009; Ueki et al., 2002; Mah et al., 2017) Wir haben in unserer Studie die für diese Problematik signifikantesten Punkte ausgewählt, die einer möglichen Veränderung unterliegen. Dies sind in der transversalen besonders die Kondylen selbst (Abstand und Winkelrotation) als auch der laterale Kompaktapunkt der vertikalen Osteotomielinie des kiefergelenkstragenden Anteils. Diese Punkte und Winkel sind für die gewählte Aufgabenstellung am relevantesten, wurden aber bei kaum anderen Studien verwendet. (Sander et al., 2015; Ueki et al., 2002; da Silva Félix Junior et al., 2017) Diese Punkte sind auch deswegen kaum verwendet worden, da bei den meisten älteren Studien keine dreidimensionalen Datensätze vorhanden waren, sondern zweidimensionale Röntgenbilder verwendet wurden. (Mah et al., 2017; Andersen et al., 2015) Bei den neueren dreidimensionalen Studien wurden häufiger sagittale und weniger transversale Stabilitäten untersucht, insbesondere in den kiefergelenkstragenden Fragmenten. (Fang et al., 2009; Andersen et al., 2015; Mah et al., 2017; Hu et al., 2000) Die Messgenauigkeit der Studie basierte auf der Voxelgröße von 0,3 mm. Die statistische Analyse basiert im Schwerpunkt auf der Bestimmung der Medianen und der 25. und 75. Perzentile.

Die Auswertung der CBCT-Scans in dieser Studie ergab sowohl in den kiefergelenks- als auch zahntragenden Segmenten im Median keine signifikanten Veränderungen. Sander et al. erzielten ähnliche Ergebnisse in ihrer retrospektiven Studie mit 78 Patienten. Die Korrektur der Kiefer erfolgte ebenfalls mit der BSSO-Technik und die kiefergelenkstragenden Segmente wurden ohne Hilfsmittel positioniert. Die dreidimensionale Auswertung der Bilder zeigte minimale nicht signifikante Veränderungen der Kondylenpositionen. (Sander et al., 2015) Hirjak et al. untersuchten 45 Patienten, bei denen die gleiche Operationsmethode durchgeführt wurde. Es fanden 14 Unterkiefervorverlagerungen und 31 Unterkiefrückverlagerungen statt. Die CT-Auswertungen beider Gruppen ergaben sowohl in der axialen als auch sagittalen Ebene keine signifikanten Veränderungen der Kiefergelenke. (Hirjak et al., 2020) Park et al. teilten 18 Patienten in zwei Untersuchungsgruppen auf (mono- und bimaxillär), deren Kondylen ebenfalls ohne Hilfsmittel positioniert wurden. Mit Hilfe von CBCT-Scans wurden die Rotation und Verlagerung der Kondylen untersucht. Bei allen Patienten wurde eine signifikante

Abwärtsbewegung festgestellt. In allen anderen Ebenen blieben die Positionen der Kondylen jedoch unverändert. Es fanden keine signifikanten Rotationen statt. (Park et al., 2018)

Andere Studien empfehlen die intraoperative Anwendung von Positionierungshilfen. (Kim et al., 2011; Lee et al., 2022) Helm et al. untersuchten mit einem Axiographen die Positionen der Kiefergelenke von 30 Patienten, die eine bimaxilläre Umstellungsosteotomie erhielten. Die Kondylen wurden mit einem dafür vorgesehenem Instrument in Position gebracht. Postoperativ wurde nur bei einem Patienten eine minimale Veränderung der Position festgestellt. (Helm and Stepke, 1997) Gerressen et al. und Renzi et al. untersuchten in ihren Studien Kondylen die mit und ohne Hilfsmittel in Position gebracht worden sind. Die Auswertung der Ergebnisse zeigte keine wesentlichen Unterschiede der beiden Verfahren. (Gerressen et al., 2006; Renzi et al., 2003) Ein Grund warum in dieser Studie auch ohne Positionierungshilfen stabile Ergebnisse im Kondylenbereich erzielt wurden ist, dass der langjährig erfahrene Chirurg ohne viel Druck auszuüben die Kondylen in Position gebracht hat. Des Weiteren wurde ein Splint benutzt, um die zahntragenden Fragmente zu positionieren, sodass die kiefergelenkstragenden Fragmente entsprechend fixiert werden konnten.

Mit der Einführung der Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing (CAD/CAM)-Technologie erfolgten weitere Entwicklungen der Positionierungshilfen. In der Studie von Lee et al. wurden 11 Patienten untersucht die eine Osteotomie mittels computerassistierter Simulation erhielten (balanced orthognathic surgery system [BOS]). Mit Hilfe des enthaltenen CAD/CAM-Systems wurde ein Splint hergestellt. Die Auswertung der CT-Bilder ergab, dass die Veränderung der Kondylenposition hauptsächlich entlang der y-Achse ($-1,09 \pm 0,62\text{mm}$) und minimal entlang der x-Achse ($0,02 \pm 0,68\text{mm}$) und z-Achse ($0,01 \pm 0,48\text{mm}$) erfolgte. Somit wurde dieses Verfahren als Alternative zum klassischen Vorgehen in Erwägung gezogen. (Lee et al., 2022) Cortese et al. erhoben eine Fallstudie über eine 25-jährige Patientin mit einer fazialen Asymmetrie. Auf der einen Seite hatte die Patientin eine Klasse III Verzahnung und auf der anderen Seite eine Klasse I Verzahnung mit Kreuzbiss. In einem CAD/CAM-Verfahren wurde ein U-förmiger Spint hergestellt, der beidseits an der Krone des letzten Molaren und am vorderen Rand des Unterkieferastes befestigt wurde, um die Kondylen und damit die Okklusion in einer zentrischen Position zu fixieren. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass durch dieses Verfahren eine präzise Kontrolle über die kiefergelenkstragenden Fragmente möglich sei. (Cortese et al., 2019) Kim et al. untersuchten 20 Patienten, deren skelettale Klasse III durch die BSSO mit semi-rigider Fixierung korrigiert wurde. In einem CAD/CAM-Verfahren wurde ein Jig zur Positionierung hergestellt. Die Auswertung in der frontalen und sagittalen Achse ergab keine signifikanten Veränderungen. In der axialen Ebene gab es signifikante Veränderungen

allerdings kleiner 1mm und 1 Grad. (Kim et al., 2014) Aufgrund hoher Anschaffungskosten für Maschine und Software sowie der zusätzlichen intraoperativen Handhabung der Positionierungshilfen sehen viele Chirurgen von diesem System ab und bleiben bei der manuellen Positionierung. (Pranave et al., 2022)

Eine Alternative zu dieser Methode stellt die intraoperative Sonographie dar. Bethge et al. untersuchten hierfür 76 Patienten, deren Kondylen mit Hilfe der Sonographie in Position gebracht worden sind. Die Auswertung der Magnetresonanztomographien (MRT) ergab, dass bei allen Patienten die Position des Discus unverändert blieb und die Kondylenposition nicht signifikant verändert wurde. Folglich wurde die Sonographie als nicht-invasive, kostengünstige und effiziente intraoperative Methode zur Kondylenpositionierung angesehen. (Bethge et al., 2015) Landes untersuchte dieses Verfahren anhand 30 bimaxillärer Operationen und einer Kontrollgruppe von 23 Patienten, deren Kondylenpositionierungen mit einem Splint und Platten vorgenommen worden sind. Postoperativ traten vergleichbare Veränderungen der Kondylen- und Discuspositionen auf. Die Operationszeit konnte mit der Sonographie jedoch deutlich verringert werden. Der Autor ist der Meinung, dass die Sonographie als Realtime-Monitoring eine kostengünstige, einfache, sichere und schnelle Methode darstellt. (Landes, 2004)

4.2 Die Fixierungsmethode und ihr Einfluss auf das Kiefergelenk

In dieser Studie wurden zur Fixierung der Unterkieferfragmente biodynamische Osteosyntheseplatten und monokortikale Schrauben verwendet. Die Ergebnisse zeigten, dass diese Fixierungsmethode zu keiner signifikanten Veränderung der Kondylenposition führte. Zudem ließen sich stabile skelettale Langzeitergebnisse erreichen. Dieser Art der semi-rigiden Fixierung steht die rigide Fixierungsmethode gegenüber. Die rigide Fixierung mit Titanplatten und Schrauben ist eine gängige Methode in der Dysgnathiechirurgie. (Gómez-Barrachina et al., 2020; van Bakelen et al., 2013) Vorteile der rigiden Fixierung sind: i) die Minimierung und rigide Fixierung des Osteotomiespaltes, ii) die Möglichkeit zur schnelleren Heilung des Knochens, iii) eine schnellere postoperative funktionelle Belastung. (Rubens et al., 1988; Erkmen et al., 2005; Ozden et al., 2006) Einige Untersuchungen zeigten jedoch, dass unter der Verwendung rigider Fixierungen die Kondylen aus der gewohnten Position gedrängt wurden. (Becktor et al., 2002; Ellis and Hinton, 1991; Kundert and Hadjianghelou, 1980) Im Gegensatz dazu konnten Tabrizi et al., Borstlap et al. und Demircan et al. zeigen, dass die Kondylen unter der Verwendung von biodynamischen Osteosyntheseplatten und monokortikalen Schrauben die Möglichkeit hatten in ihre gewohnte Position zurück zu kehren. (Tabrizi et al., 2016; Borstlap

et al., 2004; Demircan et al., 2020) Dies könnte auch der Grund für unsere stabilen Ergebnisse im kondylären Bereich unter der Verwendung der biodynamischen Osteosyntheseplatten sein. Ein Nachteil von Titan ist eine mögliche weitere Operation zur Materialentfernung. Gründe hierfür können sein: i) Hypersensibilität gegenüber Kälte, ii) Wachstumsbeschränkung des Knochens bei Kindern, iii) Wunddehiszenzen, iiiii) ungewollte Freilegung durch die Schleimhaut und Entzündungen. (Gómez-Barrachina et al., 2020; Imola et al., 2001; Schmidt et al., 1998) Die routinemäßige Materialentfernung wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Der Prozentsatz der Plattenentfernung variiert zwischen 1% und 55%. (Sukegawa et al., 2016) O'Connell et al. erhoben eine Langzeitstudie mit einer Kontrolllaufzeit von 10 Jahren. Sie untersuchten 535 Patienten nach maxillofazialen Traumata und Dysgnathieoperationen. Die Fragmente wurden mit Miniplatten aus Titan fixiert. Es wurden nur 3% der Platten wieder entfernt. 41% dieser Platten wurden aus Gründen der Infektion im ersten Jahr nach Insertion entfernt. Die Autoren schließen daraus, dass asymptomatische Platten belassen werden sollten. (O'Connell et al., 2009) Daniels et al. untersuchten 985 Patienten, von denen in 149 Fällen (15,1%) die Miniplatten und Schrauben entfernt wurden. Diese Studie sah ebenfalls keine Evidenz für eine routinemäßige Entfernung von Platten im Ober- und Unterkiefer. (Daniels et al., 2021)

Den rigiden und semi-rigiden Fixierungsmethoden mit nicht resorbierbaren Materialien stehen die resorbierbaren Fixierungsmaterialien gegenüber. Diese bestehen aus Homo- (Poly-L-lactid [PLLA], Poly-D-lactid [PDLA] und Polyglykolid [PGA]) oder Copolymeren (z.B. Poly-L/D-lactid [PLDLA]). (Ueki et al., 2005) Die Vorteile der bioresorbierbaren Materialien sind zum Beispiel, dass sie osteokonduktive Wirkungen besitzen, keine zweite Operation zur Materialentfernung benötigt wird und keine Interferenzen mit der Röntgenstrahlung entstehen. Des Weiteren werden in der Pädiatrie bioresorbierbare Platten bevorzugt, da unter Verwendung dieser eine Wachstumsbeschränkung verhindert wird. (Sukegawa et al., 2016; Buijs et al., 2007; Bos et al., 1989) Copolymere werden bevorzugt, da die reinen Stoffe, wie in einigen Studien bewiesen, eher zu Fremdkörperreaktionen neigen, eine geringere Stabilität und längere Resorptionszeiten haben. (Sukegawa et al., 2016; Yolcu et al., 2015; Bali et al., 2013; Bergsma et al., 1993)

Die Resorptionszeit ist unter anderem abhängig von folgenden Faktoren: i) der chemischen Zusammensetzung, ii) der Größe und dem Gewicht des Fixierungsmaterials, iii) der Beschaffenheit der Implantationsstelle und iiiii) dem biomechanischen Stress, dem das Material ausgesetzt ist. (Yolcu et al., 2015; Peltoniemi and Hilikka, 2000) In der Literatur werden Resorptionszeiten von 6 Wochen bis 5,7 Jahren beschrieben. (Bergsma et al., 1995) Die

Stabilität der bioresorbierbaren Platten und Schrauben im Vergleich zu Titanmaterialien werden in der Literatur umstritten diskutiert. Ueki et al. untersuchten die skelettale Stabilität nach BSSO, bei denen eine Fixierung mit Titan- oder PLLA-Platten erfolgte. Des Weiteren wurde die Kondylenachse beurteilt. Die Auswertung ergab eine größere Veränderung der Kondylenachse unter dem Einsatz von Titanplatten. Die Stabilität war bei beiden zufriedenstellend. (Ueki et al., 2005) Stockmann et al. untersuchten in einer Langzeitstudie über 8 Jahre die Fixierung mit PLLA-Positionierungsschrauben im Vergleich zu Titanschrauben nach BSSO. Zwischen den zwei Gruppen wurde kein signifikanter Unterschied der Stabilität festgestellt. (Stockmann et al., 2010) Landes et al. untersuchten 18 Patienten, die zwei verschiedene bioresorbierbare Platten inseriert bekamen. Innerhalb der Kontrollzeit von 1,5 Jahren kam es in 27 Fällen zu Problemen wie zum Beispiel zu Brüchen und Rezidiven. (Landes and Kriener, 2003) Van Bakelen et al. untersuchten in einer multizentrischen, randomisierten Studie 230 Patienten über zwei Jahre. Bei 11,9% der Patienten, deren Fragmente mit Titanplatten fixiert wurden, mussten diese entfernt werden. Bei den bioresorbierbaren Platten lag die Quote mit 24,1% höher. (van Bakelen et al., 2013) Al-Moraissi et al. erstellten eine Metaanalyse mit 557 Pubmed-Artikeln. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen der skelettalen Stabilität nach einer Fixierung mit Titan oder resorbierbaren Platten. Bei der Materialbeschaffenheit von Schrauben jedoch konnte ein signifikanter Unterschied zwischen Titan und bioresorbierbaren Schrauben festgestellt werden, wobei die Titanschrauben besser abschnitten. (Al-Moraissi and Ellis, 2015) Obwohl es einige Vorteile gegenüber den Titanplatten gibt, muss auf dem Gebiet der bioresorbierbaren Materialien weiter geforscht werden, um Nachteile wie lange Resorptionszeiten und Fremdkörperreaktionen zu reduzieren. Schlussendlich obliegt die Wahl der Operationsmethode und der entsprechenden Fixierungsmethode dem Operateur.

4.3 Stabilität in Abhängigkeit der Operationsmethode

In dieser Studie wurde der Unterkiefer mit der bilateralen, sagittalen stufenförmigen Osteotomie nach Obwegeser und Dal Pont und der Oberkiefer mit der Le Fort-I Methode korrigiert. Die Auswertung der transversalen Parameter ergab keine signifikante Veränderung der Kondylenposition. In der Literatur werden verschiedene Operationstechniken im Zusammenhang mit der Positionsveränderung der Kondylen und der daraus resultierenden CMD-Problematiken untersucht. So konnte in der Studie von Kerstens et al. mit 480 Patienten gezeigt werden, dass 11,5% der asymptomatischen Patienten nach einer Korrektur mit Le Fort-I, BSSO und IVRO (intraoral vertical ramus osteotomy) Kiefergelenksprobleme bekamen.

(Kerstens et al., 1989) In der Studie von Hu et al. wurden ähnliche Ergebnisse festgestellt. Nach Operationen mit BSSO und rigider Fixierung verschlechterte sich bei 10% der präoperativ symptomatischen Patienten der Befund und in 8% der Fälle traten neue CMD-Problematiken bei präoperativ asymptomatischen Patienten auf. (Hu et al., 2000) Es gibt jedoch auch Studien, die ähnliche Ergebnisse wie die unsere erzielten. Chen et al. untersuchten die Kondylenposition nach BSSO und Le Fort-I Osteotomie in einer Kurz- und Langzeitkontrolle mittels CT. Trotz Positionsveränderung stellten sich 67% der Kondylen nach 3 Monaten in die gewohnte Kondylen-Fossa-Beziehung ein. Präoperativ wurden bei 22,6% der Patienten Kiefergelenksgeräusche festgestellt. Dieser Wert verbesserte sich nach erfolgter Operation, sodass nur noch 9,7% betroffen waren. Nach einem Jahr blieben alle Werte stabil und es gab keine neuen CMD-Fälle. (Chen et al., 2013) Kim et al. untersuchten in einer Studie die Kondylenachsen nach erfolgter bimaxillärer Umstellungsosteotomie. Die Ergebnisse zeigten Veränderungen der Achsen. Jedoch fand bei jedem Patienten eine Adaptation der Kiefergelenke in der neuen Position statt, ohne zu Kiefergelenksproblemen zu führen. (Kim et al., 2014) Unterschiedliche Kontrolllaufzeiten, verschiedene Operationsmethoden und präoperativ bestehende Kondylenprobleme können die Gründe für unterschiedliche Ergebnisse sein.

Die Ergebnisse der sagittalen Ebene zeigten keine signifikanten Veränderungen der Ober- und Unterkieferlängen nach einem Jahr. Die Rezidivrate lag, unabhängig von der mono- oder bimaxillären Umstellung, unter 1%. Die Auswertung der dentalen Parameter ergab, mit Ausnahme des Overbites, keine signifikanten Veränderungen der Werte nach einem Jahr. Durch die postoperative reguläre maxillo-mandibuläre Relation der Kiefer konnten alle Patienten durch die nachfolgende kieferorthopädische Behandlung in eine reguläre Verzahnung eingestellt werden. In der Literatur wird über die Stabilität der maxillären und mandibulären Vor- und Rückverlagerung diskutiert. Der Studie von Proffit et al. zur Folge ist die alleinige mandibuläre Vorverlagerung und die maxilläre kraniale Verlagerung am stabilsten. (Proffit et al., 2007) Mucedero et al. fanden heraus, dass bimaxilläre Eingriffe dann stabil blieben, wenn maxilläre Vorverlagerungen bis zu 5mm stattfanden und wenn die sagittalen intermaxillären Diskrepanzen unter 7mm lagen. (Mucedero et al., 2008) Epker untersuchte maxilläre Verlagerungen in bimaxillären Interventionen und stellte fest, dass Vorverlagerung am stabilsten blieben. (Epker, 1981) De Haan et al. und Goncalves et al. untersuchten die Stabilität und das Rezidivverhalten nach bimaxillären Eingriffen. Sie schlussfolgerten, dass die mandibulären Eingriffe eine höhere Rezidivrate besaßen als die maxilläre Intervention. (de Haan et al., 2013; Goncalves and Siqueira, 2012) Die Ergebnisse unserer Studie zeigten, dass mandibuläre Verlagerungen von mehr als 6mm stabil blieben und dass die Rezidivrate im

Oberkiefer nicht signifikant, aber höher war als im Unterkiefer. Gründe für diese Ergebnisse könnten sein, dass 88% unserer monomaxillären Eingriffe im Unterkiefer Vorverlagerungen waren und ein erfahrener Chirurg diese Operation durchführte. Des Weiteren wurde ein hoher Anteil der Oberkiefer kaudal verlagert, was der Studie von Proffit et al. zufolge als instabil galt. (Proffit et al., 2007)

4.4 Limitation und Stärken

4.4.1 Limitation

In dieser Studie gibt es 3 limitierende Faktoren. Zum einen sind retrospektive Studien prospektiven Studien unterlegen. Dennoch ist in diesem Fall abzuwägen ob in einer prospektiven Studie das Outcome der Stabilität merklich von unseren Ergebnissen abweichen würde. Es zeigte sich, dass eine geringe Varianz bei diesem Untersuchungsgut vorlag, sodass ein repetitives Ergebnismuster vorlag. Diese würde bei einer größeren Fallzahl keine größere Abweichung zeigen.

Zum anderen wäre die Verwendung von Kontrollgruppen zum Vergleich vom Vorteil. Die Ergebnisse in dieser Studie wurden nicht im direkten Vergleich hinsichtlich alternativen Operations- und Fixierungsmethoden ausgewertet.

Zuletzt basiert die Studie auf einem kleinen Untersuchungsgut. Dies ist auf eine strenge Indikation des dritten CBCT-Scans zurückzuführen. Somit sind die Aufnahmen nach einem Jahr nicht bei jedem Patienten indiziert und fanden in dieser Studie aufgrund anderweitiger Indikationen statt.

4.4.2 Stärken

Die Stärke dieser Studie war es, dass der Einfluss der Operations- und Fixierungstechnik, sowie die manuelle Positionierung des Kiefergelenks nicht im zweidimensionalen, sondern im dreidimensionalen Raum beurteilt wurde. Neben der transversalen und sagittalen Ebene wurde auch die dentoalveoläre Ebene untersucht.

Des Weiteren wurden die Aufnahmen mit einer hochauflösenden Untersuchungsmethode erstellt (Voxelgröße= 300 µm).

Zudem orientierte sich der Kontrollzeitraum von einem Jahr an bestehenden Studien.

Die Eingriffe wurden von einem langjährig erfahrenen Chirurgen durchgeführt, was eine Vergleichbarkeit der Operationsergebnisse erleichterte. Dadurch ließen sich die kiefergelenkstragenden Segmente sicher ohne Hilfsmittel positionieren. Bei unterschiedlichen und nicht erfahrenen Chirurgen können die Ergebnisse deutlich abweichen.

4.5 Schlussfolgerung und Ausblick

In dieser Studie wurde im Hinblick auf die Positionierung der Kieferfragmente und die Stabilität der Verlagerungsoperation die gewählte Operations- und Fixierungsmethode evaluiert. Die bisher veröffentlichten Studien wurden zusammenfassend betrachtet, Unterschiede und Gemeinsamkeiten herausgearbeitet und mit den Erfahrungen dieser Studie in Relation gesetzt.

Die Kondylenpositionierung ohne Hilfsmittel und die Fixierung der Fragmente mittels biodynamischer Osteosyntheseplatten stellen eine gute Option dar, den Einfluss der Osteotomie auf umliegende Strukturen wie dem Kiefergelenk zu minimieren und stabile skelettale Langzeitergebnisse zu erreichen.

Interessant ist die Weiterentwicklung im Bereich der patientenspezifischen Implantate (PSI) bei digitaler Planung der Operationen. Zukünftige Untersuchungen werden zeigen ob diese Innovation zu stabileren und besseren Operationsergebnissen führen werden.

5 Literatur- und Quellenverzeichnis

5.1 Abbildungen

Abb. 1: Klassifizierung der Dysgnathien nach Edward H. Angle (Wikimedia Commons contributors, „File:.....	3
Abb. 2: schematische Darstellung der Oberkiefer Osteotomie in der Le Fort-I Ebene (Hofmeister, 2007)	8
Abb. 3: schematische Darstellung der Unterkiefer Osteotomie nach H. Obwegeser und Dal Pont.....	9
Abb. 4: Transversale Parameter – Kondylenwinkel und Kondylenabstand.....	18
Abb. 5: Transversaler Parameter- Abstand der anterioren Flächen der kiefergelenkstragenden Segmente	18
Abb. 6: Sagittale Parameter- referenzierte mandibuläre Länge und referenzierte maxilläre Länge	19
Abb. 7: Dentale Parameter- Overjet, Overbite and Interinzisalwinkel.....	19
Abb. 8: Alters- und Geschlechterverteilung (präoperativ)	21
Abb. 9: Messungen Kondylenwinkel (Grad).....	22
Abb. 10: Messungen Kondylenabstand (mm)	22
Abb. 11: Messungen Abstand der anterioren Flächen der kiefergelenkstragenden Segmente	23
Abb. 12: Messungen maxilläre Länge (mm)	24
Abb. 13: Messungen mandibulare Länge (mm)	24

5.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kieferorthopädische Indikationsgruppen zur Einstufung des Behandlungsbedarfs (Leitfaden für den KFO-Gutachter KZBV, 2014).....	4
Tabelle 2: Definition der relevanten Punkte, Linien und Winkel.....	17
Tabelle 3: Statistischer Überblick der Messwerte (transversale Parameter)	21
Tabelle 4: Statistischer Überblick der Messwerte (sagittale Parameter).....	23
Tabelle 5: Statistischer Überblick der Messwerte (dentale Parameter).....	25

5.3 Literaturübersicht

- Al-Moraissi, E. A. and Ellis, E., 3rd (2015) 'Biodegradable and Titanium Osteosynthesis Provide Similar Stability for Orthognathic Surgery', *J Oral Maxillofac Surg*, 73(9), pp. 1795-808.
- Andersen, K., Svenstrup, M., Pedersen, T. K., Küseler, A., Jensen, J. and Nørholt, S. E. (2015) 'Stability after Cleft Maxillary Distraction Osteogenesis or Conventional Orthognathic Surgery', *J Oral Maxillofac Res*, 6(2), pp. e2.
- Aoyama, S., Kino, K., Kobayashi, J., Yoshimasu, H. and Amagasa, T. (2005) 'Clinical evaluation of the temporomandibular joint following orthognathic surgery -Multiple logistic regression analysis', *Journal of medical and dental sciences*, 52, pp. 109-14.
- Ash, M. M. and Schmidseeder, J. (1999) *Schientherapie*. München: Urban und Fischer Verlag, p. 35-37.
- Aumüller, G., Aust, G., Conrad, A., Engele, J. and Kirsch, J. (2007) *Duale Reihe Anatomie. Kiefergelenk und Kaumuskulatur* Stuttgart: Thieme, p. 1033-1035.
- Bailey, L., Cevidanes, L. H. and Proffit, W. R. (2004) 'Stability and predictability of orthognathic surgery', *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 126(3), pp. 273-7.
- Bali, R. K., Sharma, P., Jindal, S. and Gaba, S. (2013) 'To evaluate the efficacy of biodegradable plating system for fixation of maxillofacial fractures: A prospective study', *Natl J Maxillofac Surg*, 4(2), pp. 167-72.
- Becktor, J. P., Rebellato, J., Becktor, K. B., Isaksson, S., Vickers, P. D. and Keller, E. E. (2002) 'Transverse displacement of the proximal segment after bilateral sagittal osteotomy', *J Oral Maxillofac Surg*, 60(4), pp. 395-403.
- Bell, W. H. (1975) 'Le Forte I osteotomy for correction of maxillary deformities', *J Oral Surg*, 33(6), pp. 412-26.
- Bergsma, E. J., Rozema, F. R., Bos, R. R. and de Bruijn, W. C. (1993) 'Foreign body reactions to resorbable poly(L-lactide) bone plates and screws used for the fixation of unstable zygomatic fractures', *J Oral Maxillofac Surg*, 51(6), pp. 666-70.
- Bergsma, J. E., de Bruijn, W. C., Rozema, F. R., Bos, R. R. and Boering, G. (1995) 'Late degradation tissue response to poly(L-lactide) bone plates and screws', *Biomaterials*, 16(1), pp. 25-31.
- Bethge, L. S., Ballon, A., Mack, M. and Landes, C. (2015) 'Intraoperative condyle positioning by sonographic monitoring in orthognathic surgery verified by MRI', *J Craniomaxillofac Surg*, 43(1), pp. 71-80.
- Borstlap, W. A., Stoelinga, P. J., Hoppenreijs, T. J. and van't Hof, M. A. (2004) 'Stabilisation of sagittal split advancement osteotomies with miniplates: a prospective, multicentre study with two-year follow-up. Part I. Clinical parameters', *Int J Oral Maxillofac Surg*, 33(5), pp. 433-41.

Bos, R. R. M., Rozema, F. R., Boering, G., Nijenhuis, A. J., Pennings, A. J. and Verwey, B. (1989) 'Bioabsorbable plates and screws for internal fixation of mandibular fractures: A study in six dogs', *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 18(6), pp. 365-369.

Buijs, G. J., van der Houwen, E. B., Stegenga, B., Bos, R. R. and Verkerke, G. J. (2007) 'Mechanical strength and stiffness of biodegradable and titanium osteofixation systems', *J Oral Maxillofac Surg*, 65(11), pp. 2148-58.

Carter, J. B., Stone, J. D., Clark, R. S. and Mercer, J. E. (2016) 'Applications of Cone-Beam Computed Tomography in Oral and Maxillofacial Surgery: An Overview of Published Indications and Clinical Usage in United States Academic Centers and Oral and Maxillofacial Surgery Practices', *J Oral Maxillofac Surg*, 74(4), pp. 668-79.

Chen, S., Lei, J., Wang, X., Fu, K.-Y., Farzad, P. and Yi, B. (2013) 'Short- and Long-Term Changes of Condylar Position After Bilateral Sagittal Split Ramus Osteotomy for Mandibular Advancement in Combination With Le Fort I Osteotomy Evaluated by Cone-Beam Computed Tomography', *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 71.

Cortese, A., Chandran, R., Borri, A. and Cataldo, E. (2019) 'A Modified Novel Technique for Condylar Positioning in Mandibular Bilateral Sagittal Split Osteotomy Using Computer-Assisted Designed and Computer-Assisted Manufactured Surgical Guides', *J Oral Maxillofac Surg*, 77(5), pp. 1069.e1-1069.e9.

da Silva Félix Junior, W., Klüppel, L. E., da Costa, D. J., Fernandes, Â., Scariot, R. and Rebellato, N. L. B. (2017) 'Radiographic evaluation of condylar positioning in patients undergoing orthognathic surgery', *Oral Maxillofac Surg*, 21(4), pp. 419-423.

Dal Pont, G. (1961) 'Retromolar osteotomy for the correction of prognathism', *J Oral Surg Anesth Hosp Dent Serv*, 19, pp. 42-7.

Daniels, J., Albakry, I., Braimah, R. and Samara, M. (2021) 'Is the Routine Removal of Titanium Plates and Screws Following Miniplate Osteosynthesis of Maxillofacial Bone Fractures Justified? A Fifteen-Year Experience in a Maxillofacial Centre, Saudi Arabia.', *Craniofacial Trauma & Reconstruction Open.*, 6.

de Haan, I. F., Ciesielski, R., Nitsche, T. and Koos, B. (2013) 'Evaluation of relapse after orthodontic therapy combined with orthognathic surgery in the treatment of skeletal class III', *J Orofac Orthop*, 74(5), pp. 362-9.

de Leeuw, R. (2008) 'Orofacial pain: Guidelines for assessment, diagnosis, and management', *Chicago: American Academy of Orofacial*, pp. 1-24.

Demircan, S., Uretürk, E. U., Apaydın, A. and Şen, S. (2020) 'Fixation Methods for Mandibular Advancement and Their Effects on Temporomandibular Joint: A Finite Element Analysis Study', *Biomed Res Int*, 2020, pp. 2810763.

DGZMK (2022): *S2k-Leitlinie Dentale digitale Volumentomographie*. Available at: [Available from: https://www.dgzmk.de/documents/10165/1373255/LL_083-005_S2k_DVT_LL-Report_2022/b461b655-66b5-4e91-beb5-f712071ff8b7].

- Ellis, E., 3rd (1994) 'Condylar positioning devices for orthognathic surgery: are they necessary?', *J Oral Maxillofac Surg*, 52(6), pp. 536-52; discussion 552-4.
- Ellis, E., 3rd and Hinton, R. J. (1991) 'Histologic examination of the temporomandibular joint after mandibular advancement with and without rigid fixation: an experimental investigation in adult *Macaca mulatta*', *J Oral Maxillofac Surg*, 49(12), pp. 1316-27.
- Epker, B. N. (1981) 'Superior surgical repositioning of the maxilla: long term results', *J Maxillofac Surg*, 9(4), pp. 237-46.
- Epker, B. N. and Wessberg, G. A. (1982) 'Mechanisms of early skeletal release following surgical advancement of the mandible', *Br J Oral Surg*, 20(3), pp. 175-82.
- Erkmen, E., Simşek, B., Yücel, E. and Kurt, A. (2005) 'Comparison of different fixation methods following sagittal split ramus osteotomies using three-dimensional finite elements analysis. Part 1: advancement surgery-posterior loading', *Int J Oral Maxillofac Surg*, 34(5), pp. 551-8.
- Fang, B., Shen, G. F., Yang, C., Wu, Y., Feng, Y. M., Mao, L. X. and Xia, Y. H. (2009) 'Changes in condylar and joint disc positions after bilateral sagittal split ramus osteotomy for correction of mandibular prognathism', *Int J Oral Maxillofac Surg*, 38(7), pp. 726-30.
- Ferrari, R., Wagner, M. and Essig, H. (2023) 'Einsatz von patientenspezifischen Implantaten – eine Übersicht und aktuelle Entwicklungen', *MKG-Chirurgie Springer Link*, 16, pp. 131-137.
- Gander, T., Bredell, M., Eliades, T., Rucker, M. and Essig, H. (2015) 'Splintless orthognathic surgery: a novel technique using patient-specific implants (PSI)', *J Craniomaxillofac Surg*, 43(3), pp. 319-22.
- Gerressen, M., Zadeh, M. D., Stockbrink, G., Riediger, D. and Ghassemi, A. (2006) 'The functional long-term results after bilateral sagittal split osteotomy (BSSO) with and without a condylar positioning device', *J Oral Maxillofac Surg*, 64(11), pp. 1624-30.
- Goncalves, F. A. and Siqueira, V. C. V. d. (2012) 'Stability of bimaxillary surgery on Class III malocclusion treatment', *Dental Press J Orthod.*, 17 (6), pp. 41-51.
- Gómez-Barrachina, R., Montiel-Company, J. M., García-Sanz, V., Almerich-Silla, J. M., Paredes-Gallardo, V. and Bellot-Arcís, C. (2020) 'Titanium plate removal in orthognathic surgery: prevalence, causes and risk factors. A systematic literature review and meta-analysis', *Int J Oral Maxillofac Surg*, 49(6), pp. 770-778.
- Hausamen, J., Machtens, E., Reuther, J., Eufinger, H., Kübler, A. and Schliephake, H. (2012) *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie: Operationslehre und -atlas*. Springer Verlag, p. 376-378.
- Hausamen, J.-E., Becker, J., Neukam, F. W., Reichart, P. A., Schliephake, H. and Schmelzeisen, R. (2003) *Curriculum Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*. Berlin: Quintessenz Verlag, p. 382-388.

- Haßfeld, S., Kunkel, M., Ulrich, H., Wagner, W. and Zöllner, J. (2008) 'Indikationen zur Schnittbilddiagnostik in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (CT/DVT)', *Der MKG-Chirurg; Springer Link*, 1, pp. 148-151.
- Helm, G. and Stepke, M. T. (1997) 'Maintenance of the preoperative condyle position in orthognathic surgery', *J Craniomaxillofac Surg*, 25(1), pp. 34-8.
- Hirjak, D., Dvoranova, B., Reyneke, J. P., Machon, M. and Neff, A. (2020) 'Condylar position and mandibular function after bilateral sagittal split osteotomy', *Bratisl Lek Listy*, 121(6), pp. 379-385.
- Hofmeister, B. (2007) *Chirurgie der Dysgnathie. Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie* (4. Auflage vols). München: Urban & Fischer, p. 558-559, 569-576.
- Holberg, C., Steinhäuser, S., Geis, P. and Rudzki-Janson, I. (2005) 'Cone-beam computed tomography in orthodontics: benefits and limitations', *J Orofac Orthop*, 66(6), pp. 434-44.
- Holzinger, D., Willinger, K., Millesi, G., Schicho, K., Breuss, E., Wagner, F. and Seemann, R. (2019) 'Changes of temporomandibular joint position after surgery first orthognathic treatment concept', *Sci Rep*, 9(1), pp. 2206.
- Horch, H.-H. and Hoffmeister, B. (2007) *Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie. Chirurgie der Dysgnathien*: Elsevier, p. 572-589.
- Hsu, S. S., Gateno, J., Bell, R. B., Hirsch, D. L., Markiewicz, M. R., Teichgraeber, J. F., Zhou, X. and Xia, J. J. (2013) 'Accuracy of a computer-aided surgical simulation protocol for orthognathic surgery: a prospective multicenter study', *J Oral Maxillofac Surg*, 71(1), pp. 128-42.
- Hu, J., Wang, D. and Zou, S. (2000) 'Effects of mandibular setback on the temporomandibular joint: a comparison of oblique and sagittal split ramus osteotomy', *J Oral Maxillofac Surg*, 58(4), pp. 375-80; discussion 380-1.
- Imola, M. J., Hamlar, D. D., Shao, W., Chowdhury, K. and Tatum, S. (2001) 'Resorbable plate fixation in pediatric craniofacial surgery: long-term outcome', *Arch Facial Plast Surg*, 3(2), pp. 79-90.
- Jamilian, A., Darnahal, A. and Perillo, L. (2015) 'Orthodontic preparation for orthognathic surgery', *A Textbook of Advanced Oral and Maxillofacial Surgery: Volume 2*, pp. 2105.
- Jung, H.-D., Kim, S. Y., Park, H.-S. and Jung, Y.-S. (2015) 'Orthognathic surgery and temporomandibular joint symptoms', *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery*, 37(1), pp. 14.
- Kahl-Nieke, B. (2009) *Einführung in die Kieferorthopädie*. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag Köln, p. 7.
- Karabouta, I. and Martis, C. (1985) 'The TMJ dysfunction syndrome before and after sagittal split osteotomy of the rami', *J Maxillofac Surg*, 13(4), pp. 185-8.

- Kares, H., Schindler, H. and Schöttl, R. (2006) *Der etwas andere Kopf-und Gesichtsschmerz: craniomandibuläre Dysfunktionen CMD*. Hannover: Schlütersche, p. 41-43.
- Kashani, H. and Rasmusson, L. (2016) 'Osteotomies in orthognathic surgery', *A Textbook of Advanced Oral and Maxillofacial Surgery Volume 3*: IntechOpen.
- Kerstens, H. C., Tuinzing, D. B. and van der Kwast, W. A. (1989) 'Temporomandibular joint symptoms in orthognathic surgery', *J Craniomaxillofac Surg*, 17(5), pp. 215-8.
- Kim, H. M., Baek, S. H., Kim, T. Y. and Choi, J. Y. (2014) 'Evaluation of three-dimensional position change of the condylar head after orthognathic surgery using computer-aided design/computer-aided manufacturing-made condyle positioning jig', *J Craniofac Surg*, 25(6), pp. 2002-7.
- Kim, Y. I., Cho, B. H., Jung, Y. H., Son, W. S. and Park, S. B. (2011) 'Cone-beam computerized tomography evaluation of condylar changes and stability following two-jaw surgery: Le Fort I osteotomy and mandibular setback surgery with rigid fixation', *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 111(6), pp. 681-7.
- Kim, Y. K. (2017) 'Complications associated with orthognathic surgery', *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg*, 43(1), pp. 3-15.
- Koizumi, K., Shintani, T., Yoshimi, Y., Higaki, M., Kunimatsu, R., Yoshioka, Y., Tsuga, K., Tanimoto, K., Shiba, H. and Toratani, S. (2022) 'Impact of Maximum Tongue Pressure in Patients with Jaw Deformities Who Underwent Orthognathic Surgery', *Diagnostics (Basel)*, 12(2).
- Kundert, M. and Hadjianghelou, O. (1980) 'Condylar displacement after sagittal splitting of the mandibular rami. A short-term radiographic study', *J Maxillofac Surg*, 8(4), pp. 278-87.
- Landes, C. A. (2004) 'Proximal segment positioning in bilateral sagittal split osteotomy: intraoperative dynamic positioning and monitoring by sonography', *J Oral Maxillofac Surg*, 62(1), pp. 22-8.
- Landes, C. A. and Kriener, S. (2003) 'Resorbable plate osteosynthesis of sagittal split osteotomies with major bone movement', *Plast Reconstr Surg*, 111(6), pp. 1828-40.
- Lee, Y. C., Sohn, H. B., Park, Y. W. and Oh, J. H. (2022) 'Evaluation of postoperative changes in condylar positions after orthognathic surgery using balanced orthognathic surgery system', *Maxillofac Plast Reconstr Surg*, 44(1), pp. 11.
- Li, B., Wei, H., Jiang, T., Qian, Y., Zhang, T., Yu, H., Zhang, L. and Wang, X. (2021) 'Randomized Clinical Trial of the Accuracy of Patient-Specific Implants versus CAD/CAM Splints in Orthognathic Surgery', *Plast Reconstr Surg*, 148(5), pp. 1101-1110.
- Liebrechts, J., Baan, F., Lierop, P., Koning, M., Berge, S., Maal, T. and Xi, T. (2019) 'One-year postoperative skeletal stability of 3D planned bimaxillary osteotomies: maxilla-first versus mandible-first surgery', *Scientific Reports*, 2019.
- Lindorf, H. H. (1977) '[Surgical-cephalometric bite reconstruction (double splint method)]', *Dtsch Zahnarztl Z*, 32(3), pp. 260-1.

- Ludlow, J. B. and Ivanovic, M. (2008) 'Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology', *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 106(1), pp. 106-14.
- Luhr, H. G. (1989) 'The significance of condylar position using rigid fixation in orthognathic surgery', *Clin Plast Surg*, 16(1), pp. 147-56.
- Lüthje, J., Schünke, M., Schulte, E. and Schumacher, U. (2016) *Prometheus LernPaket der Anatomie: Schädel. Kiefergelenk (Articulatio temporomandibularis)* Stuttgart: Thieme.
- Mah, D. H., Kim, S. G., Oh, J. S., You, J. S., Jung, S. Y., Kim, W. G. and Yu, K. H. (2017) 'Comparative study of postoperative stability between conventional orthognathic surgery and a surgery-first orthognathic approach after bilateral sagittal split ramus osteotomy for skeletal class III correction', *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg*, 43(1), pp. 23-28.
- Mast, G. and Ehrenfeld, M. (2010) *Chirurgische Kieferorthopädie. Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie* Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, p. 234-238, 253-255.
- Mc Millen, L. B. (1972) 'Border movements of the humane mandible', *Journal of Prosthetic Dentistry*, 27, pp. 524-532.
- Meyer, U., Kleinheinz, J. and Joos, U. (2004) 'Biomechanical and clinical implications of distraction osteogenesis in craniofacial surgery', *J Craniomaxillofac Surg*, 32(3), pp. 140-9.
- Monson, L. A. (2013) 'Bilateral sagittal split osteotomy', *Semin Plast Surg*, 27(3), pp. 145-8.
- Mucedero, M., Coviello, A., Baccetti, T., Franchi, L. and Cozza, P. (2008) 'Stability factors after double-jaw surgery in Class III malocclusion. A systematic review', *Angle Orthod*, 78(6), pp. 1141-52.
- Nooh, N. (2009) 'Stability of the mandible after bilateral sagittal split osteotomy: Comparison between positioning screws and plate', *Saudi Dent J*, 21(3), pp. 123-6.
- O'Connell, J., Murphy, C., Ikeagwuani, O., Adley, C. and Kearns, G. (2009) 'The fate of titanium miniplates and screws used in maxillofacial surgery: a 10 year retrospective study', *Int J Oral Maxillofac Surg*, 38(7), pp. 731-5.
- Obwegeser, H. (1964) 'The indications for surgical correction of mandibular deformity by the sagittal splitting technique', *Br J Oral Surg*, 1, pp. 157-71.
- Obwegeser, H. (2001) 'The Sagittal Splitting of the Mandible Procedure', pp. 359-384.
- Ozden, B., Alkan, A., Arici, S. and Erdem, E. (2006) 'In vitro comparison of biomechanical characteristics of sagittal split osteotomy fixation techniques', *Int J Oral Maxillofac Surg*, 35(9), pp. 837-41.
- Park, J. C., Kim, U. K. and Hwang, D. S. (2018) 'Three-Dimensional Analysis of Perioperative Condylar Displacement After Mandibular Setback Surgery With Intended Manual Condylar Positioning', *J Craniofac Surg*, 29(8), pp. e767-e773.

Peltoniemi and Hillka (2000) *Biocompatibility and Fixation Properties of Absorbable Miniplates and Screws in Growing Calvarium : An experimental study in sheep*. Medical Faculty of the University of Helsinki, Helsinki.

Pranave, P., Kshirsagar, R., Singh, V. and Sardeshmukh, A. (2022) 'Are condylar repositioning devices required in bilateral sagittal split osteotomies?.', *Journal of Oral Medicine Oral Surgery Oral Pathology and Oral Radiology*, 8, pp. 105-107.

Proffit, W. R., Phillips, C. and Turvey, T. A. (2012) 'Stability after mandibular setback: mandible-only versus 2-jaw surgery', *J Oral Maxillofac Surg*, 70(7), pp. e408-14.

Proffit, W. R., Turvey, T. A. and Phillips, C. (2007) 'The hierarchy of stability and predictability in orthognathic surgery with rigid fixation: an update and extension', *Head Face Med*, 3, pp. 21.

Proffit, W. R. and White, J. R. P. (2015) 'Combined surgical-orthodontic treatment: How did it evolve and what are the best practices now?', *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 147(5, Supplement), pp. S205-S215.

Renzi, G., Becelli, R., Di Paolo, C. and Iannetti, G. (2003) 'Indications to the use of condylar repositioning devices in the surgical treatment of dental-skeletal class III', *J Oral Maxillofac Surg*, 61(3), pp. 304-9.

Ricken, C. and Toll, D. E. (2010) *Kieferorthopädie unter Berücksichtigung von CMD-ganzheitliches Therapiekonzept für ein stabiles Behandlungsergebnis. Therapie von Kiefergelenkschmerzen* Stuttgart: Thieme.

Rubens, B. C., Stoelinga, P. J., Blijdorp, P. A., Schoenaers, J. H. and Politis, C. (1988) 'Skeletal stability following sagittal split osteotomy using monocortical miniplate internal fixation', *Int J Oral Maxillofac Surg*, 17(6), pp. 371-6.

Sander, A. K., Meyer, U., Martini, M., Konermann, A.-C. and Wenghoefer, M. (2015) 'Freehand Condyle-Positioning During Orthognathic Surgery: Postoperative Cone-Beam Computed Tomography Shows Only Minor Morphometric Alterations of the Temporomandibular Joint Position', *Journal of Craniofacial Surgery*, 26(5).

Scarfe, W. C., Farman, A. G. and Sukovic, P. (2006) 'Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice', *J Can Dent Assoc*, 72(1), pp. 75-80.

Schmidt, B. L., Perrott, D. H., Mahan, D. and Kearns, G. (1998) 'The removal of plates and screws after Le Fort I osteotomy', *J Oral Maxillofac Surg*, 56(2), pp. 184-8.

Schopf, P. (2008) *Curriculum Kieferorthopädie*. Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH, p. 766-770.

Schuchardt, K. (1954) 'Die Chirurgie als Helferin der Kieferorthopädie', *Fortschritte der Kieferorthopädie*, 15(1), pp. 1-25.

Schwenzer, N. and Ehrenfeld, M. (2011) *Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie*. Thieme Verlag, p. 304-311.

Seifi, M., Matini, N. S., Motabar, A. R. and Motabar, M. (2018) 'Dentoskeletal Stability in Conventional Orthognathic Surgery, Presurgical Orthodontic Treatment and Surgery-First Approach in Class-III Patients', *World J Plast Surg*, 7(3), pp. 283-293.

Somsiri, S. T. (1987) '[A double-splint procedure in preparation for simultaneous surgical correction of the position of the maxilla and mandible]', *Fortschr Kieferorthop*, 48(1), pp. 59-65.

Stelzenmüller, W. and Wiesner, J. (2004) *Therapie von Kiefergelenkschmerzen: ein Behandlungskonzept für Zahnärzte, Kieferorthopäden und Physiotherapeuten; 94 Tabellen. Ganzheitliche Diagnostik des Kiefergelenks und Kieferorthopädie* Würzburg: Georg Thieme Verlag, p. 64-;79-86.

Stockmann, P., Böhm, H., Driemel, O., Mühling, J. and Pistner, H. (2010) 'Resorbable versus titanium osteosynthesis devices in bilateral sagittal split ramus osteotomy of the mandible – the results of a two centre randomised clinical study with an eight-year follow-up', *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 38(7), pp. 522-528.

Sukegawa, S., Kanno, T., Katase, N., Shibata, A., Takahashi, Y. and Furuki, Y. (2016) 'Clinical Evaluation of an Unsintered Hydroxyapatite/Poly-L-Lactide Osteoconductive Composite Device for the Internal Fixation of Maxillofacial Fractures', *J Craniofac Surg*, 27(6), pp. 1391-7.

Tabrizi, R., Shahidi, S., Bahramnejad, E. and Arabion, H. (2016) 'Evaluation of Condylar Position after Orthognathic Surgery for Treatment of Class II Vertical Maxillary Excess and Mandibular Deficiency by Using Cone-Beam Computed Tomography', *J Dent (Shiraz)*, 17(4), pp. 318-325.

Throckmorton, G. S., Finn, R. A. and Bell, W. H. (1980) 'Biomechanics of differences in lower facial height', *Am J Orthod*, 77(4), pp. 410-20.

Trauner, R. and Obwegeser, H. (1957) 'The surgical correction of mandibular prognathism and retrognathia with consideration of genioplasty. I. Surgical procedures to correct mandibular prognathism and reshaping of the chin', *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 10(7), pp. 677-89; contd.

Tsiklakis, K., Donta, C., Gavala, S., Karayianni, K., Kamenopoulou, V. and Hourdakakis, C. J. (2005) 'Dose reduction in maxillofacial imaging using low dose Cone Beam CT', *Eur J Radiol*, 56(3), pp. 413-7.

Ueki, K., Marukawa, K., Nakagawa, K. and Yamamoto, E. (2002) 'Condylar and temporomandibular joint disc positions after mandibular osteotomy for prognathism', *J Oral Maxillofac Surg*, 60(12), pp. 1424-32; discussion 1432-4.

Ueki, K., Nakagawa, K., Marukawa, K., Takazakura, D., Shimada, M., Takatsuka, S. and Yamamoto, E. (2005) 'Changes in condylar long axis and skeletal stability after bilateral sagittal split ramus osteotomy with poly-L-lactic acid or titanium plate fixation', *Int J Oral Maxillofac Surg*, 34(6), pp. 627-34.

Ureturk, E. U. and Apaydin, A. (2018) 'Does fixation method affects temporomandibular joints after mandibular advancement?', *J Craniomaxillofac Surg*, 46(6), pp. 923-931.

van Bakelen, N., Buijs, G., Jansma, J., Visscher, J., Hoppenreijns, Theo, Bergsma, J., Stegenga, B. and Bos, R. (2013) 'Comparison of Biodegradable and Titanium Fixation Systems in Maxillofacial Surgery: A Two-year Multi-center Randomized Controlled Trial.', *Journal of dental research*, 92.

Westermarck, A., Shayeghi, F. and Thor, A. (2001) 'Temporomandibular dysfunction in 1,516 patients before and after orthognathic surgery', *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg*, 16(2), pp. 145-51.

Yolcu, Ü., Alan, H., Malkoç, S., Bozkurt Ş, B. and Hakki, S. S. (2015) 'Cytotoxicity Evaluation of Bioresorbable Fixation Screws on Human Gingival Fibroblasts and Mouse Osteoblasts by Real-Time Cell Analysis', *J Oral Maxillofac Surg*, 73(8), pp. 1562.e1-10.

Zafar, H., Choi, D. S., Jang, I., Cha, B. K. and Park, Y. W. (2014) 'Positional change of the condyle after orthodontic-orthognathic surgical treatment: is there a relationship to skeletal relapse?', *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg*, 40(4), pp. 160-8.

Zhai, Y., Han, J. J., Jung, S., Kook, M. S., Park, H. J. and Oh, H. K. (2020) 'Changes in the temporomandibular joint clicking and pain disorders after orthognathic surgery: Comparison of orthodontics-first approach and surgery-first approach', *PLoS One*, 15(9), pp. e0238494.

Danksagung

Mein besonderer Dank ist an Herrn Professor Dr. med. Dr. med. dent. Ulrich Meyer und Universitätsprofessor Dr. med. Dr. med. dent. Norbert R. Kübler gerichtet, die diese Dissertation ermöglicht haben. Als Doktorvater war Professor Meyer zu jedem Zeitpunkt ansprechbar und hat diese Studie intensiv betreut. Ich habe mich sehr gut aufgehoben gefühlt. Weiterhin bedanke ich mich bei meiner Gutachterin Professor Dr. med. Dr. med. dent. Rita Depprich, die ihre wertvolle Zeit in die Bewertung meiner Arbeit investiert und durch relevante Anmerkungen zur Verbesserung der Dissertation verholfen hat.

Nicht zuletzt gilt ein großer Dank meinem Ehemann, Dr. Franz Schäfer, für seine grenzenlose liebevolle Unterstützung (Ekmek).

Abschließend bedanke ich mich aus tiefstem Herzen bei meinen Eltern, Gülperi und Nizamettin Barutcu und meinem Bruder Cem, die mir alles im Leben ermöglicht und mich immer unterstützt haben!