

Morphology of open bite

Zur Morphologie des offenen Bisses

Karl-Friedrich Krey¹ · Karl-Heinz Dannhauer² · Thomas Hierl³

Abstract

Objectives. The purpose of this work was to define and illustrate the skeletal morphology of open-bite patients against the background of sagittal jaw relationships on the basis of lateral cephalograms.

Materials and methods. Lateral cephalograms of 197 untreated adults were analyzed in dental imaging software (Onyx Ceph 3™; Image Instruments, Chemnitz, Germany). Four groups were formed based on vertical (Index scores) and sagittal (individualized ANB values) parameters. Ninety-nine patients were defined as the control group due to their neutral sagittal and vertical relationships. The remaining patients were found by their vertical relationships to represent open-bite cases and were divided by their sagittal relationships into three study groups: neutral (Class I, n=34), distal (Class II, n=26), and mesial (Class III, n=38). A geometric morphometric approach was used to analyze the x,y-coordinates of 28 skeletal landmarks on each cephalogram. Relative size was captured based on centroid size (CS). The shape-determining factors in the groups were compared by permutation testing after Procrustes transformation, and intergroup differences were visualized in the form of thin-plate splines.

Results. While size (CS) was significantly increased in the Class III group, the other two groups were not different from the control group. After Procrustes transformation, characteristic and invariably significant ($p < 0.001$) differences in shape were detected. Neutral (Class I) open bite involved compression in the mandibular ramus and the upper anterior facial third, including vertical expansion in the lower molar and anterior nasal spine areas. Mesial (Class III) open bite was associated with pronounced vertical and sagittal size reductions in the upper posterior segments and

Zusammenfassung

Ziel. Erfassung und Darstellung der skelettalen Morphologie des offenen Bisses anhand von Fernröntgenseitbildern unter Berücksichtigung der sagittalen Kieferlagebeziehung.

Material und Methode. Fernröntgenseitbilder von 197 unbehandelten Erwachsenen wurden in Onyx Ceph 3™ (image instruments, Chemnitz) ausgewertet. Anhand der Vertikalen (Index) und Sagittalen (individualisierter ANB) wurden 4 Gruppen gebildet. Die Kontrollgruppe mit sagittal und vertikal neutraler Relation bildeten aus dieser Gesamtheit 99 Patienten. Als Untersuchungsgruppen mit vertikal offener Relation wurde nach der Sagittalen in neutral (Klasse I, n=34), mesial (Klasse III, n=38) und distal (Klasse II, n=26) selektiert. Die xy-Koordinaten von 28 skelettalen Punkten je Fernröntgenseitbild wurden nach Methoden der geometrischen Morphometrie analysiert. Die Erfassung der relativen Größe erfolgte anhand der Centroid-Größe (CS). Die formbestimmenden Faktoren der Gruppen wurden nach Procrustes-Transformation mittels Permutationstest verglichen und die Gruppenunterschiede in Thin-Plate-Splines visualisiert.

Ergebnisse. Bei Betrachtung der Größe (CS) war diese in der offen-mesialen Gruppe signifikant erhöht, alle anderen Gruppen zeigten keinen Unterschied zur Kontrollgruppe. Nach Procrustes-Transformation zeigten sich deutliche Formunterschiede zwischen den Gruppen. Diese waren statistisch signifikant ($p < 0,001$) und wiesen charakteristische Merkmale auf; offen-neutral: Kompression im Ramus mandibulae bei vertikaler Expansion im Molarengebiet des Unterkiefers und in der Region der Spina nasalis anterior bei gleichzeitiger Kompression im anterioren oberen Gesichtsdrittel; offen-mesial: deutliche vertikale und sagittale Verkleinerung im posterioren Bereich des Oberkiefers bei verkürztem Ramus mandibulae; offen-distal: Expansion im Bereich des Pterygoids bei komprimiertem Ramus mandibulae.

Schlussfolgerungen. Der offene Biss stellt keineswegs eine homogene Gruppe dar. Neben den Unterschieden, die sich in den Analysen der klassischen Morphometrie zeigen, weisen auch die Betrachtungen anhand der geometrischen Morphometrie charakteristische Muster aus. Nur bei der mesialen Kieferrelation scheint eine echte skelettale Überentwicklung vorzuliegen. Die

¹ Department of Orthodontics and Orofacial Orthopedics, Center for Dental, Oral and Craniomandibular Sciences, University Medicine Greifswald, Greifswald

² Department of Orthodontics and Orofacial Orthopedics, University Medicine Leipzig AöR, Leipzig

³ Department of Oral and Maxillofacial Plastic Surgery, University Medicine Leipzig AöR, Leipzig

Received: 13 May 2013; accepted: 10 October 2013;
published online: 2 May 2015

J Orofac Orthop 2015; 76:213-224
DOI 10.1007/s00056-015-0290-8

reduced lengths of the mandibular ramus. Distal (Class II) open bite involved expansion in the pterygoid area and compression in the mandibular ramus.

Conclusion. Open bite is not a homogeneous group. Our geometric techniques of morphometric analysis revealed typical patterns, thus, confirming the differences observed by traditional morphometry. True skeletal overdevelopment appears to be present only in open-bite cases having a mesial jaw relationship. All open-bite groups have in common that the mandibular ramus is compressed, but marked differences are seen in terms of vertical development of the maxilla. This differentiated view of open-bite cases should be taken into consideration during individual etiology assessment and treatment planning.

Keywords

Morphometrics · Adults · Cephalogram · Maxilla · Malocclusion

Introduction

The percentage of patients with open bite is relatively small at 1.2% [6]; however, treatment is associated with numerous questions and is generally considered extremely challenging [58]. Since this statement mainly holds true for skeletal open-bite cases, the first requirement is to distinguish these from cases of habitual open bite which are caused by extrinsic factors, although the boundaries between these two conditions are not distinct [8, 41]. As shown by Jarabak [25], the distinction is critical for treatment decisions, since habitual open bite will undergo spontaneous correction in up to 80% of cases [46, 64]. Skeletal forms of open bite are considered to have a less favorable prognosis. Numerous cephalometric studies have yielded information about their different manifestations.

Nahoum [38] found in a group of 52 open-bite patients that upper facial height was reduced and observed an almost constant upper to lower anterior facial height (UAFH to LAFH) ratio in these situations regardless of age. A follow-up study [40] by the same author corroborated this finding, which led to the postulation of a growth deficit in the posterior and upper anterior portion of the viscerocranium. This conclusion is consistent with more recent findings by Nielsen [41] and Kucera et al. [30]. Moreover, Ceylan and Eröz [10] reported that dentoalveolar height in the maxilla was increased and that the symphysis in the mandible was long and narrow, but those authors considered the gonial angle to be a key distinguishing feature.

The quest for better methods to describe morphology has prompted investigators to employ concepts like the “facial rectangle” [51], discriminant analysis [14], or receiver operating characteristic (ROC) analysis [62]. Skeletal open-bite cases are associated with a number of special aspects beyond the parameters known from cephalometric evaluation, such as compromised proprioceptive mechanisms (limited stereognosis, reduced gag reflex) [40], structurally reduced cross-sections of the alveolar processes [2], shorter chewing cycles with reduced muscle activity [42], adverse root-to-crown ratios [61], in-

Gruppen eint die Kompression im Ramus mandibulae, deutliche Unterschiede sind jedoch in der vertikalen Entwicklung des Oberkiefers zu sehen. Diese differenzierte Betrachtung des offenen Bisses sollte bei den Überlegungen zur Ätiologie und bei der Therapieplanung Berücksichtigung finden.

Schlüsselwörter

Morphometrie · Erwachsene · Kephhalogramm · Oberkiefer · Malokklusion

Einleitung

Die Anzahl der Patienten mit offenem Biss ist bei einer Häufigkeit von 1,2% relativ klein [6], ihre Behandlung wirft allerdings viele Fragen auf. Vor allem gilt diese Gruppe allgemein als extrem schwierig zu behandeln [58]. Dies ist jedoch in erster Linie der Fall für den skelettal offenen Biss. Deshalb gilt es, zuerst den exogen bedingten habituell offenen vom skelettal offenen Biss zu differenzieren, auch wenn die Übergänge fließend sind [8, 41]. Für die Therapie wird dies von entscheidender Bedeutung sein, wie Jarabak [25] aufzeigte. Ersterer zeigt Spontankorrekturen bis zu 80% [46, 64]. Der eher als prognostisch ungünstig angesehene skelettal offene Biss wurde in zahlreichen fernröntgenologischen Untersuchungen differenziert.

Nahoum [38] fand in einer Untersuchung von 52 Patienten mit offenem Biss eine verkleinerte obere Gesichtshöhe, dabei beobachtete er ein altersunabhängig fast konstantes Verhältnis oberer (UAFH) zu unterer Gesichtshöhe (LAFH). Eine spätere Analyse [40] untermauerte dies und postulierte ein Wachstumsdefizit im posterioren und oberen anterioren Gesichtsschädel. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen anderer Autoren wie Nielsen [41] und Kucera et al. [30]. Nach Ceylan u. Eröz [10] fanden sich zudem eine vergrößerte dentoalveoläre Höhe im Oberkiefer sowie eine lange und schmale Symphyse. Nach Ansicht der genannten Autoren ist aber der Gonionwinkel ein entscheidendes Differenzierungsmerkmal.

Auf der Suche nach die Morphologie besser beschreibenden Methoden wurde unter anderem auf das “facial rectangle” [51], Diskriminanz- [14] und ROC-Analysen [62] zurückgegriffen. Der skelettal offene Biss ist neben den aus Fernröntgenuntersuchungen bekannten Parametern auch durch weitere Besonderheiten gekennzeichnet. So wurden defizitäre propriozeptive Mechanismen (eingeschränkte Stereognosis, weniger Würgereflex; [40]), strukturell kleinere Querschnitte der Alveolarfortsätze [2], kürzere Kauzyklen mit geringerer muskulärer Aktivität [42], ungünstige Kronen-Wurzel-Relationen [61] sowie ein höheres Risiko für Wurzelresorptionen beschrieben [37]. Auch

creased risk of root resorption [37], and typical changes of the cervical spine (C2–C3 fusions, posterior arch deficiency at C1) as reported by Sonnesen and Kjaer [55].

Muscle function also exhibits abnormalities that are therapeutically relevant. Open-bite development has been reported to involve interaction of the tongue and chewing muscles [34], and there is unanimous agreement that concomitant myofunctional therapy is essential for successful orthodontic treatment [15, 16, 32, 54]. Attention should also be devoted to the tonsils and adenoids [20, 26], which must be taken into consideration to ensure the long-term stability of the treatment outcomes [65].

Treatment

While scarcely any other type of skeletal malocclusion has inspired orthodontists to develop such a large number of treatment concepts, this large number illustrates the clinical complexity and the therapeutic challenges posed by open-bite situations. The available treatment spectrum ranges from functional orthodontic devices [63], extraoral traction [9, 19, 24], magnetic appliances [11], spurs [36], molar extraction [35] and skeletal anchorage [31] up to complex treatment systems like the multiloop technique [29, 45]. Finally, the spectrum also includes surgical correction, with bimaxillary repositioning osteotomy being the most favorable scenario [43]. Premolar extraction has been reported to improve prognosis [17]. Good results are achieved with aligners in patients with habitual open-bite [50]. If utmost care is exercised in controlling the molars, achieving transversal expansion, and providing functional therapy, a good prognosis is expected [57].

However, focusing on potential appliances for correction quickly diverts attention from skeletal morphology and muscle function. To select the most appropriate treatment strategy for a given open-bite case, it is mandatory to precisely analyze a patient's existing morphology. Any blanket strategy to address the clinical finding of "open bite" is liable to fail in practice. Thus, improving the understanding of relevant shape variations by placing a strong focus on skeletal aspects is paramount.

Objectives

Therefore, we conducted the present study on lateral cephalograms with the objective of visualizing—and distinguishing between—different open-bite patterns against the background of various sagittal jaw relationships.

Materials and methods

Lateral cephalograms from 197 Caucasian adults (age ≥ 18 years) with no history of orthodontic treatment were available for this study from the archives of the Department of Orthodontics (Leipzig, Germany). Only patients who did not exhibit any extensive prosthetic restorations and who were fully dentate (not counting third molars) were included. Patients involving cleft formation or trauma or craniofacial malformations were excluded. All cephalograms were digitized using dental imaging software (Onyx Ceph 3™; Image Instru-

Tab. 1 Characteristics of the control and study groups.

Tab. 1 Charakterisierung der Untersuchungsgruppen und der Kontrollgruppe

Groups	All (n)	Women (n)	Men (n)	Mean age \pm SD (years)
Control group	99	61	38	28.7 \pm 9.98
Open-bite groups				
– Class I (neutral)	34	13	21	27.1 \pm 7.95
– Class II (distal)	26	13	13	29.1 \pm 9.98
– Class III (mesial)	38	14	24	26.2 \pm 6.29
Total	98	40	58	28.7 \pm 8.19

die Halswirbelsäule zeigt nach Sonnesen u. Kjaer [55] charakteristische Veränderungen (Fusionen C2–C3, posteriore Bogendefizienz bei C1). Auch die Muskelfunktion zeigt bei Patienten mit offenem Biss therapierrelevante Auffälligkeiten.

Die Interaktion der Zungen- und Kaumuskulatur ist an der Entstehung des offenen Bisses beteiligt [34], begleitende myofunktionelle Therapie nach einhelliger Meinung Voraussetzung für eine erfolgreiche kieferorthopädische Behandlung [15, 16, 32, 54]. Dies schließt auch die Beachtung von Tonsillen und Adenoiden [20, 26] ein. Gerade für die Langzeitstabilität von Behandlungsergebnissen scheint dies essenziell zu sein [65].

Therapie

Kaum eine andere Dysgnathie hat Kieferorthopäden zur Entwicklung einer so großen Anzahl von therapeutischen Konzepten inspiriert wie der offene Biss. Dies ist auch Zeugnis der komplexen klinischen Situation und der Schwierigkeiten der Therapie. Das Spektrum reicht von Funktionskieferorthopädie [63], extraoraler Traktion [9, 19, 24], Magnetapparaturen [11], Spikes [36], Molarenextraktion [35], skelettalen Verankerungen [31] bis hin zu komplexen Therapiesystemen wie Multiloop-Technik [29, 45] und nicht zuletzt zur operativen Korrektur, günstigerweise in Form einer bimaxillären Umstellungsosteotomie [43]. Prämolarenextraktionen stehen im Ruf, die Prognose zu verbessern [17]. Bei habituell offenem Biss haben sich auch Aligner in der Therapie bewährt [50]. Bei größter Sorgfalt in der vertikalen Kontrolle der Molaren, ausreichender transversaler Erweiterung und funktioneller Therapie wird die Prognose als gut eingeschätzt [57].

Die Frage nach apparativen Korrekturmöglichkeiten lenkt aber schnell den Blick weg von der skelettalen Morphologie und muskulären Funktion. Nur eine genaue Analyse der individuell vorliegenden Morphologie kann zur Auswahl der passenden Therapiestrategie führen. Eine undifferenzierte Therapiestrategie anhand des klinischen Befundes "offener Biss" wird in vielen Fällen einen Misserfolg in der Umsetzung nach sich ziehen. Um das Verständnis der Formvariationen des offenen Bisses zu verbessern, soll diese Untersuchung die skelettalen Aspekte näher untersuchen.

Tab. 2 Cephalometric results obtained in the various groups.**Tab. 2** Kephalemtrische Ergebnisse in den verschiedenen Gruppen

Mean values and standard deviations				
[°]	Class I	Class III	Class II	Control
SNA	79.8±4.74	80.7±4.59	82.4±3.91	81.3±3.71
SNB	78.7±4.34	84.7±3.90	75.7±3.03	79.1±3.14
ANB	1.1±1.42	-4.0±2.19	6.6±1.76	2.1±1.51
SNPog	79.6±4.37	86.2±3.72	76.5±3.25	80.9±3.23
NSBa	131.3±5.23	128.0±5.68	129.7±5.98	130.5±4.59
arGoGn	126.8±7.36	129.8±8.08	125.8±6.36	121.2±7.03
ML_NSL	36.0±7.50	31.4±7.74	37.3±4.87	29.8±7.07
NL_NSL	4.8±3.36	2.9±3.51	4.7±2.42	6.3±3.17
ML_NL	31.2±5.87	28.5±6.04	32.6±4.26	23.4±5.94
II	131.8±10.49	135.5±9.74	127.1±13.01	127.2±34.54
Pog-NB	1.9±1.58	2.9±2.47	1.5±1.41	3.4±2.34
N-Sp' [mm]	49.5±3.90	50.2±7.42	49.8±3.57	52.3±8.38
Sp'-Gn [mm]	74.6±6.79	75.1±11.28	73.0±5.05	66.9±11.36
WITs_value [mm]	-4.0±3.63	-10.2±4.47	2.8±3.05	-1.6±3.81
Index [%]	66.5±3.20	67.0±3.68	68.2±1.83	78.4±4.80
ODI	62.6±5.65	54.0±7.82	73.1±5.38	71.0±6.73
APDI	81.6±4.69	92.0±4.84	71.2±4.14	81.8±4.71
Overjet [mm]	2.7±2.44	-1.4±2.79	7.8±2.86	5.2±3.83
Overbite [mm]	-0.6±2.17	0.0±2.99	1.0±4.06	1.9±3.13

ments, Chemnitz, Germany). For cephalometric analysis, the method proposed by Segner and Hasund [52] with the addition of selected parameters from Kim/Sato's denture frame analysis was followed [18, 28].

The groups formed based on individualized ANB angles in accordance with Hasund and O-N-T assignments based on index scores (O: <71%; N: 71–89%; T: >89%) are shown in **Tab. 1**. The control group comprised individuals who showed neutral sagittal and vertical relationships, whereas any open-bite cases were assigned to three study groups according to the ANB angles (skeletal classes I, II, III). Due to this group assignment based on parameters for sagittal and vertical jaw relationships, the other parameters included for measurement also showed characteristic values (**Tab. 2**). The x,y-coordinates of 29 anatomical landmarks (**Fig. 1, Tab. 3**) were imported into the paleontological statistics software (PAST, v. 2.07) [22] and to the "R" environment for statistical computing and graphics (v. 2.12.2; <http://cran.r-project.org/>).

Centroid size (CS, log CS) was derived from these coordinates as a univariate measure of shape-independent relative size for each patient. It was calculated in accordance with Dryden and Mardia [12] as the square root of the sum of squares of the distances of all landmarks from the centroid. The coordinates were then subjected to Procrustes transformation [7] to compare and analyze the locations of any shape differences by obtaining the comparative consensus shape for each group. The assumption for the Procrustes transformation is that an object consists of a finite number of k points in n dimensions. Mathematical elimination of the components for translation, rotation, and scaling

Ziel

Ziel der Untersuchung war es verschiedene Muster des skelettalen Bisses im Fernröntgenseitbild anhand der sagittalen Kieferlagebeziehung zu differenzieren und zu visualisieren.

Material und Methode

Für die Untersuchung standen Fernröntgenseitbilder von 197 erwachsenen (Alter ≥ 18 Jahre), nicht kieferorthopädisch behandelten Kaukasierern aus dem Archiv der Poliklinik für Kieferorthopädie (Leipzig) zur Verfügung. Die Patienten wiesen keine umfangreichen prothetischen Versorgungen auf, und waren ohne Berücksichtigung der Weisheitszähne vollbezahnt. Patienten mit Spaltbildungen, Traumata oder kraniofazialen Fehlbildungen wurden nicht einbezogen. Alle vorliegenden wurden in Onyx Ceph 3™ (image instruments, Chemnitz, Deutschland) übertragen. Die kephalometrische Analyse folgte den Vorschlägen von Segner und Hasund [52], erweitert um einige Parameter der Denture Frame Analysis nach Kim/Sato [18, 28].

Anhand des individualisierten ANB nach Hasund und der Einordnung O-N-T anhand des Index (O: Index <71%, N: Index zwischen 71 und 89%, T: Index >89%) wurden die Untersuchungsgruppen gebildet (**Tab. 1**). Die Kontrollgruppe bestand aus Individuen, die sagittal und vertikal neutral eingestuft wurden, die Untersuchungsgruppen waren alle offen (O) und wurden anhand des ANB in skelettale Klasse I, II und III differenziert. Da eine Gruppierung anhand der Parameter für die sagittale und vertikale Kieferlagebeziehung erfolgte, finden sich auch

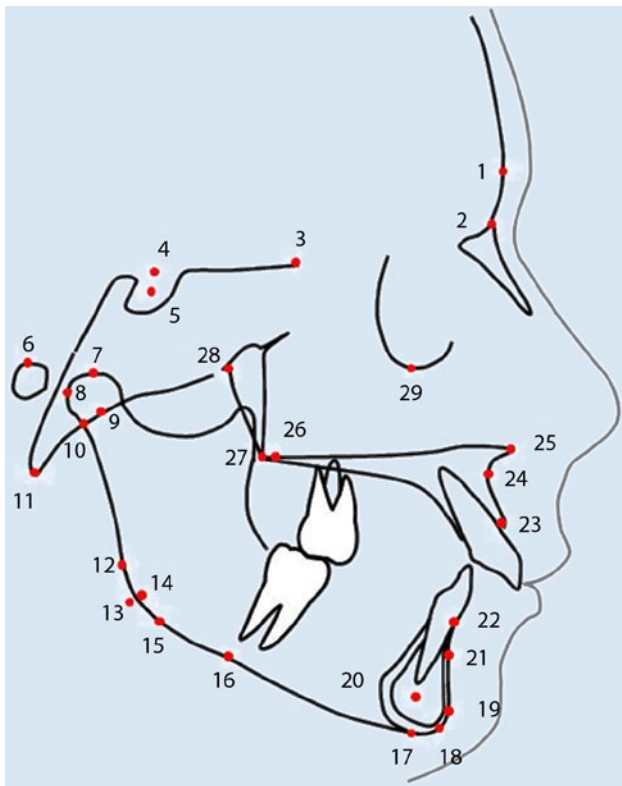


Fig. 1 ▲ Schematic of the 29 skeletal landmarks and constructed reference points that were used on lateral cephalograms.

Abb. 1 ▲ Schema der Position der 29 skeletalen und konstruierten Messpunkte im Fernröntgenseitbild

allows the object to be described by a quantity of equivalent classes [27]. This process is iteratively repeated until the adjustment of the smallest squares of all configurations no longer improves. In this way, several objects with homologous points are rendered comparable irrespective of their size [12, 27, 53].

In addition, the shape differences were visualized by means of thin-plate splines and implementing the grid changes via the function $f(x)$ based on the minimum network-binding energy “E” required to superimpose the homologous landmarks (x_i, y_i) of two shapes [7, 12]. The superimposed grids also make it possible to visualize any transformations in the surroundings of the reference points by interpolation [67].

Results

Size and shape

Mann-Whitney U-testing revealed only non-significant intergroup differences in centroid size both for Class I versus Class II ($p=0.3968$) and for Class II versus controls ($p=0.3787$). In Fig. 2, it can be seen that the group Class III was associated with a marked distribution shift. The total centroid size was at its largest in this group.

The shape differences could be located and quantified by comparing the consensus shapes obtained by grid deformation within each thin-plate spline (Fig. 3). All groups differed signifi-

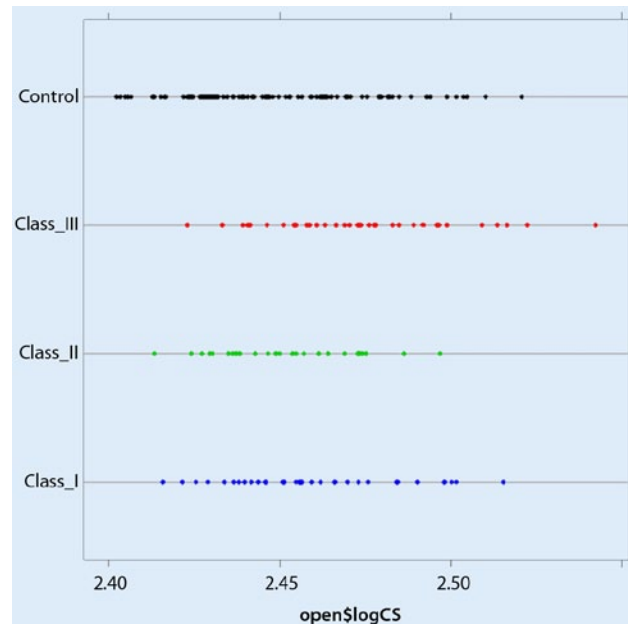


Fig. 2 ▲ Logarithmic representation of centroid sizes ($\log CS$), which served as a univariate measure of expansion in the plots of all individuals. Note the right shift of the Class III group relative to all other groups.

Abb. 2 ▲ Logarithmus ($\log CS$) der Centroid-Größe, einer univariaten Messgröße der Ausdehnung im Plot aller Probanden. Die Gruppe mit Klasse III zeigte eine Rechtsverschiebung im Vergleich zu den anderen Gruppen

charakteristische Werte für die anderen Messgrößen (Tab. 2). Die xy-Koordinaten von 29 Messpunkten (Abb. 1, Tab. 3) wurden zur morphologischen Analyse in das Programm Paleontological Statistics (PAST) 2.07 [22] und R 2.12.2 (<http://cran.r-project.org/>) übertragen.

Aus den Koordinaten wurde für jeden Patienten die Centroid-Größe (CS, $\log CS$) als Maß für die formunabhängige relative Größe abgeleitet. Nach Dryden u. Mardia [12] wird diese univariate Maßzahl berechnet als die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate der Entfernungen aller Messpunkte vom Centroid. Für den Vergleich und Analyse der Lokalisation von Formunterschieden wurden die Koordinaten Procrustes transformiert [7] und die Konsensusformen je Gruppe gebildet und verglichen. Für die Procrustes-Transformation wird angenommen, dass ein Objekt aus einer endlichen Anzahl von k Punkten in n Dimensionen besteht. Durch mathematische Entfernung der Komponenten für Translation, Rotation und Skalierung kann das Objekt durch eine Menge von äquivalenten Klassen beschrieben werden [27]. Dieser Vorgang wird iterativ wiederholt, bis die Anpassung der kleinsten Quadrate aller Konfigurationen sich nicht weiter verbessert. Mehrere Objekte mit homologen Punkten sind so größenunabhängig vergleichbar [12, 27, 53].

Des Weiteren wurden die Formunterschiede mittels Thin-Plate-Splines visualisiert. Die Gitterveränderungen werden gebildet durch die Funktion $f(x)$ der minimalen Netzbindungsenergie E, die nötig ist, die homologen Landmarken (x_i, y_i)

Tab. 3 Skeletal landmarks used for morphometric analysis.
Tab. 3 Skelettale Punkte der morphometrischen Analyse

1	Glabella
2	Nasion
3	Sphenoethmoidal
4	Sella entrance
5	Sella
6	Porion
7	Condylion
8	Most distal point of condyle
9	Center of condyle (hinge axis)
10	Articulare
11	Basion
12	Ramus down
13	Gonion
14	Corpus left
15	Mandibular angle
16	Masseteric notch
17	Menton
18	Gnathion
19	Pogonion
20	Center of symphysis
21	B-point
22	Infradentale
23	Prosthion
24	A-point
25	Anterior nasal spine
26	Pterygoid point (Ptm)
27	Posterior nasal spine
28	Pterygomaxillary fissure
29	Orbitale point

cantly both from the control group and from each other (**Tab. 4**). The permutation test was applied to check the mean values of any two groups for equality by permutation with 1999 substitutions. This test requires neither a multivariate normal distribution nor equality of the covariance matrices. The null hypothesis assumes the same likelihood for each component to be present in one of two groups to be compared. The (Euclidean) distance observed within the shape space was largest between Class II and Class III and smallest between Class I and the controls.

Changes in the various open-bite groups

The following changes for each of the three study groups in comparison with the control group (**Fig. 3**):

Class I: Contraction in the Class I cases included the entire mandibular ramus, the area below the nasion, and the cranial base toward the basion. An expansion could be identified in the mandibular body near the masseteric notch, in a subnasal position, and to a mild extent in the area of the condylar area. The chin was less pronounced.

Class II: Characterized by a striking expansion of the maxilla extending to the anterior nasal spine. An expansion was also

zweier Formen zu überlagern [7, 12]. Die übereinander gelagerten Gitter erlauben es auch, die Transformationen in der Umgebung der Messpunkte durch Interpolation zu visualisieren [67].

Ergebnisse

Größe und Form

Die Centroid-Größen unterschieden sich im Mann-Whitney U-Test nicht signifikant. In der Verteilung war zwischen den Gruppen Klasse I und Klasse II ($p=0,3968$) sowie zwischen der Gruppe Klasse II und der Kontrollgruppe ($p=0,3787$) eine deutliche Verschiebung der Gruppe Klasse III erkennbar (**Abb. 2**). Die Gesamtgröße war für diese Gruppe am größten.

Im Vergleich der Konsensusformen durch Gitterdeformation im Thin-Plate-Spline konnten die Formunterschiede lokalisiert und quantifiziert werden (**Abb. 3**). Alle Gruppen unterschieden sich signifikant von der Kontrollgruppe und jeweils untereinander (**Tab. 4**). Der verwendete Permutationstest prüft auf Gleichheit der Mittelwerte zweier Gruppen durch Permutation mit 1999 Ersetzungen. Er verlangt keine multivariate Normalverteilung und keine Gleichheit der Kovarianzmatrizen. Die Nullhypothese nimmt an, dass jede Komponente die gleiche Wahrscheinlichkeit hat in einer der beiden zu vergleichenden Gruppen realisiert zu sein. Im Shape-Space ist die größte (Euklidische) Distanz zwischen den Klasse II und Klasse III Individuen, die geringste zwischen Klasse I und der Kontrollgruppe zu erkennen.

Veränderungen in den verschiedenen Gruppen

Für die einzelnen Gruppen konnten folgende Veränderungen gegenüber der Kontrollgruppe beschrieben werden (**Abb. 3**):

Klasse I: Die Kontraktion umfasst hier sowohl den Ramus mandibulae in Gänze als auch den Bereich unterhalb des Nasion und der Schädelbasis Richtung Basion. Eine Expansion ist im Corpus mandibulae nahe der Incisura masseterica, subnasal und leicht im Bereich des Condylus auszumachen. Das Kinn ist auch geringer ausgeprägt.

Klasse II: Diese Gruppe ist auffällig durch eine Expansion der Maxilla bis zur Spina nasalis anterior gekennzeichnet. Auch in der Region der Fossa pterygoidea ist eine Expansion zu bemerken. Die ausgeprägte Kompression ist im kaudalen Bereich des Ramus mandibulae lokalisiert.

Klasse III: Charakteristisch war neben der Kompression im Ramus mandibulae auch eine deutliche vertikale und sagittale Reduktion der Maxilla bis zur Orbita und zum Alveolarfortsatz. Ebenso ist die Schädelbasis leicht komprimiert. Eine Expansion findet sich in der Region der Fossa pterygoidea und anterior des Randes der Alveole der oberen Inzisiven.

Die signifikanten Unterschiede in der Form der Gruppen wird auch in der 2-dimensionalen Projektion der ersten 3 Komponenten der PCA ("principal component analysis") des Procrustes Shape-Space deutlich (**Abb. 4**). Die statistische Konzeption der PCA sieht die Projektion eines Datensatzes von n -Punkten in einem p -dimensionalen Raum in einen Unterraum

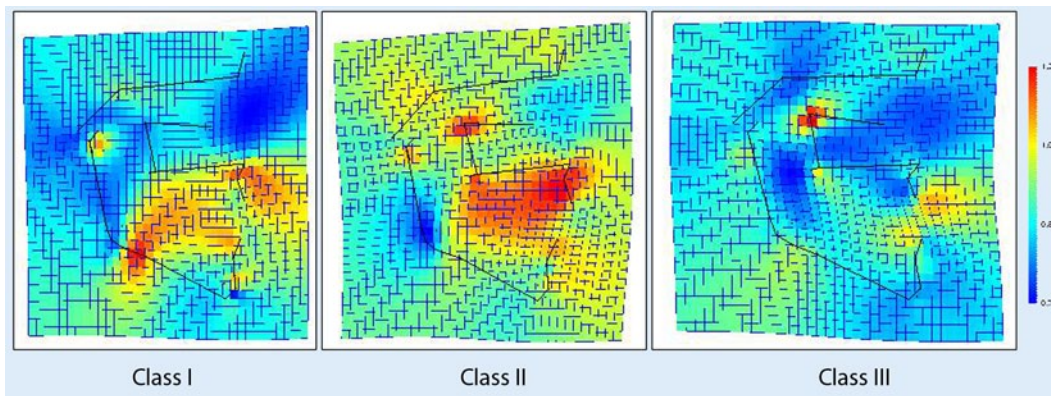


Fig. 3 ◀ Thin-plate splines with grid deformations against the reference group of control individuals. Shades of yellow to red indicate areas of expansion, while shades of blue indicate areas of compression.

Abb. 3 ◀ Gitterdeformation mit der Kontrollgruppe als Referenz. Expansionen sind gelb und rot markiert, Kompressionen in Blautönen

noted in the region of the pterygoid fossa, the area of marked compression being located in the caudal portion of the mandibular ramus.

Class III: Typical findings included compression in the mandibular ramus but also pronounced vertical and sagittal reductions of the maxilla extending to the orbits and the alveolar process. The cranial base was slightly compressed as well. Expansion was noted in the area of the pterygoid fossa and anterior to the border of the upper-incisor alveoli.

These significant shape differences between the various groups were also apparent from the two-dimensional projection of the first three components covered by the principal component analysis (PCA) of the Procrustes shape space (Fig. 4). The statistical design of the PCA was to project a dataset of n points within a p -dimensional space, based on a subspace comprising $q < p$ dimensions, in such a way that as much information as possible would be preserved. The calculation routine identified the eigenvalues and eigenvectors of the variance-covariance matrix or the correlation matrix, thus, illustrating the patterns of group variability within the shape space. The preexisting group assignments are reflected by the colors rather than the positions within the plot. The densest clustering was noted for Class II and the largest dispersion for Class III. The Class I and the control group involved the smallest distance and the largest area of intersection. Hence, the craniofacial architectures in the Class II and III groups were characterized by marked deviations. In addition, Class III involved the largest difference in size from the other (study and control) groups. Here the control group, which also showed the largest variations in size, revealed the largest variance.

Discussion

Our cephalometric findings (Tab. 2) show the same tendency as those reported for Classes II and III by Nahoun et al. [39] despite significant differences for angular parameters (NL-NSL, ML-NSL), which might be attributable to the fact that the sample of that study was composed of 128 men. The findings reported by Sonnensen and Kjaer [55] and Bock et al. [5] bear considerably greater resemblance to our own data. Other authors like Cangialosi [8], Lopez-Gavito et al. [33] and Beckmann

mit $q < p$ Dimensionen unter maximalem Erhalt von Informationen vor. Die Berechnungsroutine findet die Eigenwerte und Eigenvektoren der Varianz-Kovarianz-Matrix oder der Korrelationsmatrix.

Sie verdeutlicht die Muster der Gruppenvariabilität im Shape-Apace.

Die a priori festgelegte Gruppenzugehörigkeit bestimmt die Farbe, nicht die Position im Plot.

Die engste Clusterung ist bei Klasse II anzutreffen, die größte Dispersion bei Klasse III. Die Probanden mit Klasse I und die Kontrollgruppe haben die geringste Distanz und größte Schnittmenge. Die kraniofaziale Architektur bei Klasse II und III sind damit deutlich abweichend. Zusätzlich weist die Klasse III den bedeutendsten Größenunterschied zu den anderen Untersuchungsgruppen und der Kontrollgruppe auf. Die auch in der Größe die breiteste Varianz zeigende Kontrollgruppe zeigte hier die breiteste Streuung.

Diskussion

Die Werte der Fernröntgenanalyse (Tab. 2) sind im Trend für die Klasse II und III vergleichbar mit den von Nahoun et al. [39] angegebenen Daten. In einigen Winkeln (NL-NSL, ML-NSL) ergeben sich aber erhebliche Differenzen. Die Ursache könnte in der Zusammensetzung der Stichprobe (128 Männer) bei Nahoun liegen. Die von Sonnensen u. Kjaer [55] und Bock et al. [5] beschriebenen Daten sind den vorliegenden Ergebnissen weitaus ähnlicher. Auch andere Untersuchungen von Cangialosi [8], Lopez-Gavito et al. [33] und Beckmann et al. [2] ergaben ähnliche Konfigurationen, im Detail sind die Abweichungen jedoch bemerkenswert. Ursache könnte in der jeweiligen Definition der Gruppen, Altersunterschieden und verschiedenen regionalen Populationen zu sehen sein.

Eine die gesamte skelettale Struktur erfassende und abstrahierende Analyse scheint in diesem Zusammenhang vorteilhaft zur Beschreibung von Formvariationen. Roy et al. [47] fanden im FRS von 120 Erwachsenen eine kleinere Fläche der Maxilla, eine lange und schmale Symphyse, ein Unterschied in der Fläche der Mandibula wurde nicht gefunden. Dies steht in Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen für die logCS der Klasse I und II offenen Bisse. Die Klasse III – offen kann als gesonderte

Tab. 4 Pairwise comparisons between groups by permutation testing^a.

Tab. 4 Vergleich Formen der Gruppen durch Permutationstest^a

Group versus group	p-value	Distance
Class II Class III	0.0005*	0.0686
Class I Control	0.0005*	0.0315
Control Class III	0.0005*	0.0455
Class II Control	0.0005*	0.0418
Class II Class I	0.0001*	0.0352
Class III Class I	0.0005*	0.0359

^a1999 samples; distance = Euclidean*Value considered significant.

et al. [2] have reported similar configurations, while including remarkably deviating details, which might be due to different group definitions, age groups, and geographical populations.

It seems beneficial to describe the shape variations in question via assessments that capture the entire skeletal structure at higher levels of abstraction. On evaluating the cephalograms of 120 adults, Roy et al. [47] observed reductions in maxillary surface area along with a long and narrow symphysis but without differences in mandibular surface area. This observation is consistent with the centroid sizes involved in our Class I and Class II cases of open bite. Those in the Class III group may be regarded as a separate category with true overdevelopment of the mandible. The findings of reduced size are essentially due to growth deficits both of the mandibular ramus and of the maxilla related to inadequate functional loading [26, 57].

The relative expansion of the anterior maxilla in Class II open-bite situations can often be interpreted as an argument supporting Rakosi's [44] reasoning that open-bite situations develop from anterior inclination of the maxilla and vertical growth patterns. As this expansion is also found in the posterior areas, however, the possibility cannot be ruled out that bite opening may result from a squeeze-out effect of posterior crowding during molar eruption [45]. Situations of this type seem to involve failure of the compensation mechanism which is normally offered by variable positioning of the molars [3].

Our findings of a deviating morphological pattern in Class III patients (Fig. 3, 4, Tab. 4) characterized by length-reduced vertical development of the nasomaxillary complex suggest that these cases are clearly distinct from all other groups of open bite. They also confirm findings of the same effect by Trouten et al. [59]. Both the differences in size and the changes in shape argue in favor of a distinct craniofacial architecture. This peculiarity was already indicated in a cephalometric study by Jarabek [25]. Muscular imbalance [15] has a compounding effect on the presence of a reduced vertical dimension of the maxilla and on the direction of mandibular growth [59].

The observation that even patients with long-face syndrome may exhibit regular occlusal relationships already led Schendel et al. [49] to identify ramus length as the critical difference. In fact, reduced ramus length had been described as a characteristic feature even in early reports by Hellmann [23] and Wylie [66]. Surgical ramus lengthening as a causal alternative treat-

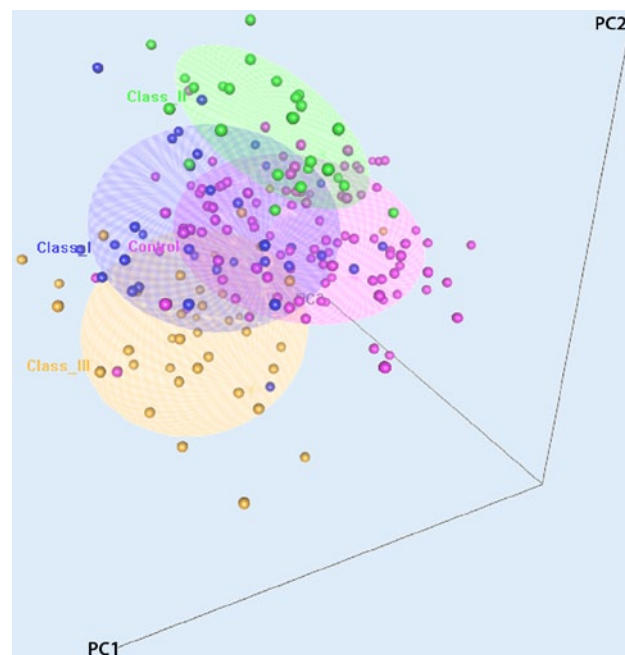


Fig. 4 ▲ Two-dimensional projection of the first three components covered by the PCA that was performed on the shape coordinates (which account for 52.4% of the variance in the sample). Red: control group, blue: Class I group, green: Class II group, yellow: the Class III group.

Abb. 4 ▲ Zweidimensionale Projektion der ersten 3 Komponenten der PCA (rot: Kontrollgruppe, blau: Klasse I, grün: Klasse II, gelb: Klasse III) der Formkoordinaten (zusammen 52,4% Erklärung der Varianz in der Stichprobe)

Gruppe mit echter Überentwicklung der Mandibula angenommen werden. Die verringerte Größe wird maßgeblich durch ein Wachstumsdefizit im Ramus mandibulae und im Oberkiefer in Zusammenhang mit funktioneller Minderbeanspruchung [26, 57] bestimmt.

Die relative Expansion der anterioren Maxilla bei Klasse II – offen kann als Argument zugunsten der Überlegungen von Rakosi [44] zur Entwicklung des offenen Bisses als anteriore Inklination des Oberkiefers und vertikalem Wachstumsmuster aufgefasst werden. Da diese Expansion aber auch im posterioren Bereich zu finden ist, wäre eine Bissöffnung im Rahmen des Molarendurchbruchs (Squeeze-out-Effekt) durch posterioren Engstand nicht auszuschließen [45]. Der Kompensationsmechanismus durch die Varianz der vertikalen Position der Molaren [3] scheint hier zu versagen.

Die abweichende Morphologie bei der Klasse III (Abb. 3 und 4, Tab. 4) mit verkürzter vertikaler Entwicklung des nasomaxillären Komplexes, die sie deutlich von anderen Formen des offenen Bisses unterscheidet, bestätigt die Untersuchungen von Trouten et al. [59]. Sowohl die Größendifferenz als auch die Formveränderung sprechen für eine andere kraniofaziale Architektur in dieser Gruppe. Auf diese Besonderheiten wies schon Jarabek [25] in Folge der Analyse von Fernröntgenseitbildern hin. Das muskuläre Ungleichgewicht [15] wirkt verstärkend in Kombination mit einer verringerten Vertikale des Oberkiefers und der Wachstumsrichtung des Unterkiefers [59].

Hier steht eine Anzeige.

 Springer

ment to Obwegeser–Dal Pont osteotomy was proposed by Aymach and Kawamura [1] and should be considered in open-bite cases with a neutral jaw relationship. A conceivable option in Class II cases would be to perform a Le Fort I osteotomy [13] with ramus osteotomy. Class III cases should preferably be addressed by bimaxillary repositioning osteotomy [13, 56].

However, since 75% rates of long-term stability have been reported both for regimens of orthodontic treatment combined with orthodontic surgery and for orthodontic regimens only [21], the available results do not necessarily suggest a preference for orthognathic surgery to achieve what is presumed to constitute morphological correction. Furthermore, the finding by Betzenberger et al. [3] that regular overbites are present despite ML-NSL angles $>40^\circ$ in roughly 80% of patients analyzed thanks to natural vertical compensation by the molars adds to the evidence that compensational shortcomings of muscular and respiratory malfunction may be a key causal factor.

Already in 1969, Sassouni [48] presented a distinction between eight types of faces based on vertical and sagittal parameters, which has stood the test of time and remains useful in defining prognoses even today. Much the same can be said of the open-bite classification proposed by Zou et al. [68] into dentoalveolar, mandibular clockwise rotation, maxillary counterclockwise rotation, and Class III. Likewise, Tsuchida et al. [60] reported that skeletal factors predominate in open bite patients with the presence of ANB angles $\leq 1^\circ$ and describe them as a separate group.

Conclusion

The method presented in this article clearly allows the different morphological patterns in the various study groups to be identified and located. It is also plausible from the above considerations that stable correction may be achievable by purely orthodontic vertical movement of molars [29, 31]. In combined treatments that include surgery in the form of bimaxillary repositioning osteotomy, ramus lengthening [1] should be considered an alternative to the traditional Obwegeser–Dal Pont method of sagittal splitting.

The morphological changes shown are probably not applicable to children because marked changes in the facial skeleton and soft tissues continue particularly between the ages of 15 and 17 years [4]. Hence any relevant treatment decisions should always be made on a case-by-case basis. Rather than relying on a blanket diagnosis of “open bite”, all parameters should be considered. The most suitable approach should be selected from the spectrum of available treatments previously discussed in this article as dictated by each patient’s existing morphology.

Compliance with ethical guidelines

Conflict of interest. K.-F. Krey, K.-H. Dannhauer, and T. Hierl state that there are no conflicts of interest.

The accompanying manuscript does not include studies on humans or animals.

Da auch Patienten mit Long-face-Syndrom eine regelrechte Okklusion aufweisen können, wurde der entscheidende Unterschied schon von Schendel et al. [49] in der Ramuslänge lokalisiert. Auch in den frühen Arbeiten von Hellmann [23] und Wylie [66] wird die verkürzte Ramuslänge als charakteristisches Merkmal beschrieben. Eine operative Ramusverlängerung als kausale Therapiealternative zur Osteotomie nach Obwegeser–Dal Pont wurde von Aymach u. Kawamura [1] vorgeschlagen und sollte bei offenem Biss mit neutraler Kieferrelation in Erwägung gezogen werden. Für Klasse-II-offene Relationen wäre eine LeFort-I-Osteotomie [13] mit Ramusosteotomie denkbar. Für Patienten mit Klasse III-offener Relation ist eine bimaxilläre Umstellungsosteotomie [13, 56] besser.

Da allerdings die Langzeitstabilität sowohl bei kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischer als auch rein kieferorthopädischer Therapie mit 75% angegeben wird [21], kann aus den Ergebnissen nicht unbedingt eine Präferenz für die vermeintlich morphologische Korrektur durch orthognathe Chirurgie gefolgert werden. Zudem konnten Betzenberger et al. [3] zeigen, dass trotz eines ML-NSL-Winkels von über 40° etwa 80% der Untersuchten einen regelrechten Überbiss aufwiesen, verursacht durch eine natürliche vertikale Kompensation der Molaren. Dies ist ein weiterer Hinweis darauf, dass die fehlende Kompensationsfähigkeit bedingt durch Fehlfunktion von Muskulatur und Atmung ein wesentlicher kausaler Faktor ist.

Die von Sassouni schon 1969 [48] beschriebenen 8 Gesichtstypen zur Differenzierung anhand der Vertikalen und Sagittalen sind auch heute noch als aktuell anzusehen und in der Abschätzung der Prognose wertvoll. Ähnlich ist die von Zou et al. [68] vorgeschlagene Einteilung des offenen Bisses in dentoalveolären, “clock wise” mandibular, “counter clock wise” maxillar und Klasse-III-Typ offenen Biss einzuordnen. Auch Tsuchida et al. [60] sehen bei Patienten mit offenem Biss ab einem ANB $<1^\circ$ skelettale Faktoren überwiegen und fassen diese in einer eigenen Gruppe zusammen.

Schlussfolgerungen

Die vorgestellte Methodik konnte klar die unterschiedliche Morphologie der Untersuchungsgruppen zeigen und lokalisieren. Ferner öffnen die obigen Überlegungen den Weg für die Plausibilität einer stabilen, rein kieferorthopädischen Korrektur über die Beeinflussung der vertikalen Position der Molaren [29, 31]. Bei kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Therapie sollte im Rahmen der bimaxillären Umstellungsosteotomie an eine Ramusverlängerung [1] als Alternative zur klassischen sagittalen Spaltung nach Obwegeser–Dal Pont gedacht werden.

Die gezeigten morphologischen Veränderungen sind wahrscheinlich nicht ohne weiteres auf Kinder übertragbar, da insbesondere zwischen dem 15. und 17. Lebensjahr noch deutliche Veränderungen in Gesichtsskelett und den Weichgeweben stattfinden [4]. Die Therapieentscheidung sollte individuell also immer unter Beachtung aller Parameter stattfinden, nicht unter einer pauschalen Diagnose “offener Biss”. Aus dem eingangs be-

References

- Aymach Z, Kawamura H (2012) Facilitating ramus lengthening following mandibular-dependent surgical closing of skeletal open bite with short ramus: a new modified technique. *J Cranio Maxillo Fac Surg* 40:169–172
- Beckmann SH, Kuitert RB, Prahl-Andersen B et al (1998) Alveolar and skeletal dimensions associated with overbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 113:443–452
- Betzenberger D, Ruf S, Pancherz H (1999) The compensatory mechanism in high-angle malocclusions: a comparison of subjects in the mixed and permanent dentition. *Angle Orthod* 69:27–32
- Bishara SE, Peterson LC, Bishara EC (1984) Changes in facial dimensions and relationships between the age of 5 and 25 years. *Am J Orthod* 85:238–252
- Bock JJ, Bock F, Böhm B, Fuhrmann RA (2005) Classification of anterior open bite using individualized cephalometry. *J Orofac Orthop* 66:338–348
- Bock JJ, Czarnota J, Hirsch C, Fuhrmann R (2011) Orthodontic treatment need in a representative adult cohort. *J Orofac Orthop* 72:421–433
- Bookstein F (1991) *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*. Cambridge University Press, Cambridge
- Gangialosi TJ (1984) Skeletal morphologic features of anterior open bite. *Am J Orthod* 85:28–36
- Cassis MA, Almeida RR de, Janson G et al (2012) Treatment effects of bonded spurs associated with high-pull chin cap therapy in the treatment of patients with anterior open bite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 142:487–493
- Ceylan I, Eröz ÜB (2001) The effects of overbite on the maxillary and mandibular morphology. *Angle Orthod* 71:110–115
- Dellinger EL (1986) A clinical assessment of the active vertical corrector—a non-surgical alternative for skeletal open bite treatment. *Am J Orthod* 89:428–436
- Dryden I, Mardia K (1998) *Statistical shape analysis*. Wiley & Sons, Chichester
- Ellis E, McNamara JA (1984) Components of adult class III open-bite malocclusion. *Am J Orthod* 86:277–290
- Fields HW, Proffit WR, Nixon WL et al (1984) Facial pattern differences in long-faced children and adults. *Am J Orthod* 85:217–223
- Fränkel R (1980) Lip seal training in the treatment of skeletal open bite. *Eur J Orthod* 2:219–228
- Fränkel R, Fränkel C (1983) A functional approach to treatment of skeletal open bite. *Am J Orthod* 84:54–68
- Freitas MR de, Beltrao RTS, Janson G et al (2004) Long-term stability of anterior open bite extraction treatment in the permanent dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 125:78–87
- Freudenthaler J, Celar A, Kubota M et al (2011) Comparison of Japanese and European overbite depth indicator and antero-posterior dysplasia indicator values. *Eur J Orthod* doi:10.1093/ejo/cjq177
- Galletto L, Urbaniak J, Subtelný JD (1990) Adult anterior open bite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 97:522–526
- Gershater MM (1972) The proper perspective of open bite. *Angle Orthod* 42:263–272
- Greenlee GM, Huang GJ, Chen SSH et al (2011) Stability of treatment for anterior open-bite malocclusion: a meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139:154–169
- Hammer O, Harper D, Ryan P (2001) PAST: Paleontological statistics package for education and data analysis. *Paleontologica Electronica*. http://paleo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm. Accessed 13 February 2015
- Hellman M (1931) Open-bite. *Int J Orthod Oral Surg Radiol* 17:421–444
- Iscan HN, Dincer M, Gültan A et al (2002) Effects of vertical chin cap therapy on the mandibular morphology in open-bite patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 122:506–511
- Jarabak JR (1983) Open bite. Skeletal morphology. *Fortschr Kieferorthop* 44:122–133
- Jonas I, Schlenker W (1982) Hals-Nasen-Ohrenärztliche Befunde beim offenen Biß. *Fortschr Kieferorthop* 43:127–138
- Kendall D (1984) Shape-manifolds, procrustean metrics and complex projective spaces. *Bull Lond Math Soc* 16:81–121
- Kim YH (1974) Overbite depth indicator with particular reference to anterior open bite. *Am J Orthod* 65:586–611
- Kim YH, Han UK, Lim DD, Serraon MLP (2000) Stability of anterior openbite correction with multiloop edgewise archwire therapy: a cephalometric follow-up study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 118:43–54
- Kucera J, Mark I, Tycova H, Baccetti T (2011) Molar height and dentoalveolar compensation in adult subjects with skeletal open bite. *Angle Orthod* 81:564–569
- Kuroda S, Katayama A, Takano-Yamamoto T (2004) Severe anterior open-bite case treated using titanium screw anchorage. *Angle Orthod* 74:558–567
- Lin LH, Huang GW, Chen CS (2013) Etiology and treatment modalities of anterior open bite malocclusion. *J Exp Clin Med* 1–4. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecm.2013.01.004>
- Lopez-Gavito G, Wallen TR, Little RM et al (1985) Anterior open-bite malocclusion: a longitudinal 10-year postretention evaluation of orthodontically treated patients. *Am J Orthod* 87:175–186
- Lowe AA (1980) Correlations between orofacial muscle activity and craniofacial morphology in a sample of control and anterior open-bite subjects. *Am J Orthod* 78:89–98
- Matsumoto MAN, Romano FL, Ferreira JTL, Valerio RA (2012) Open bite: diagnosis, treatment and stability. *Braz Dent J* 23:768–778
- Meyer-Marcotty P, Hartmann J, Stellzig-Eisenhauer A (2007) Dentoalveolar open bite treatment with spur appliances. *J Orofac Orthop* 68:510–521
- Motakawa M, Terao A, Kaku M et al (2013) Open bite as a risk factor for orthodontic root resorption. *Eur J Orthod*. doi:10.1093/ejo/cjs100
- Nahoum HI (1971) Vertical proportions and palatal plane in anterior open-bite. *Am J Orthod* 59:273–282
- Nahoum HI, Horowitz SL, Benedicto EA (1972) Varieties of anterior open-bite. *Am J Orthod* 61:486–492
- Nahoum HI (1975) Anterior open-bite: a cephalometric analysis and suggested treatment procedures. *Am J Orthod* 67:513–521
- Nielsen IL (1991) Vertical malocclusions: etiology, development, diagnosis and some aspects of treatment. *Angle Orthod* 61:247–260
- Piancino MG, Isola G, Merlo A et al (2012) Chewing pattern and muscular activation in open bite patients. *J Electromyogr Kinesiol* 22:273–279
- Proffit WR, Bailey LJ, Phillips C, Turvey TA (2000) Long-term stability of surgical open-bite correction by Le Fort I osteotomy. *Angle Orthod* 70:112–117
- Rakosi T (1982) Ätiologie und diagnostische Beurteilung des offenen Bisses. *Fortschr Kieferorthop* 43:68–73
- Ribeiro GLU, Regis S, Cunha TMA da et al (2010) Multiloop edgewise archwire in the treatment of a patient with an anterior open bite and long face. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138:89–95
- Richardson A (1981) A classification of open bites. *Eur J Orthod* 3:289–296
- Roy AS, Tandon P, Chandna AK et al (2012) Jaw morphology and vertical facial types: a cephalometric appraisal. *J Orofac Res* 2:131–138
- Sassouni V (1969) A classification of skeletal facial types. *Am J Orthod* 55:109–123
- Schendel SA, Eisenfeld J, Bell WH et al (1976) The long face syndrome: Vertical maxillary excess. *Am J Orthod* 70:398–408
- Schupp W, Haubrich J, Neumann I (2010) Treatment of anterior open bite with invisalign system. *J Clin Orthod* 64:501–507
- Scott JH (1958) The analysis of facial growth. I. The anteroposterior and vertical dimensions. *Am J Orthod* 44:507–512
- Segner D, Hasund A (2003) Individualisierte Kephalmetrie. Segner, Hamburg
- Slice DE (2001) Landmark coordinates aligned by procrustes analysis do not lie in Kendall's shape space. *Syst Biol* 50:141–149
- Smithpeter JA, Covell D (2010) Relapse of anterior open bites treated with orthodontic appliances with and without orofacial myofunctional therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137:605–614
- Sonnesen L, Kjaer I (2008) Cervical column morphology in patients with skeletal open bite. *Orthod Craniofac Res* 11:17–23

schriebenen Spektrum der verfügbaren Therapien sollte die für die jeweilige Morphologie passende Strategie gewählt werden.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. K.-F. Krey, K.-H. Dannhauer und T. Hierl geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

56. Swinnen K, Politius C, Willems G et al (2001) Skeletal and dento-alveolar stability after surgical-orthodontic treatment of anterior open bite: a retrospective study. *Eur J Orthod* 23:547–557
57. Swinehart EW (1942) A clinical study of open bite. *Am J Orthod Oral Surg* 28:18–34
58. Subtelny JD, Sakuda M (1964) Open-bite: diagnosis and treatment. *Am J Orthod* 50:337–358
59. Trouten JC, Enlow DH, Rabine M et al (1983) Morphologic factors in open bite and deep bite. *Angle Orthod* 53:192–211
60. Tsuchida T, Morimoto T, Inoue N et al (1989) Morphological study on open bite patients. *Nippon Kyosei Shika Gakkai Zasshi* 48:496–505
61. Uehara S, Maeda A, Tomonari H, Miyawaki S (2013) Relationship between the root-crown ration and the loss of occlusal contact and high mandibular plane angle in patients with open bite. *Angle Orthod* 83:36–42
62. Wardlaw DW, Smith RJ, Hertweck DW, Hildebolt CF (1992) Cephalometrics of anterior open bite: a receiver operating characteristic (ROC) analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 101:234–243
63. Weinbach JR, Smith RJ (1992) Cephalometric changes during treatment with the open bite bionator. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 101:367–374
64. Worms FW, Meskin LH, Isaacson RJ (1971) Open-bite. *Am J Orthod* 59:589–595
65. Wriedt S, Buhl V, Al-Nawas B, Wehrbein H (2009) Combined treatment of open bite- long term evaluation and relapse factors. *J Orofac Orthop* 70:318–326
66. Wylie WL (1946) The relationship between ramus height, dental height, and overbite. *Am J Orthod Oral Surg* 32:57–67
67. Zelditch M, Swiderski S, Sheets D (2004) Geometric morphometrics for biologists. Elsevier Academic, New York
68. Zou B, Zeng X, Tseng JY (2001) A classification of anterior open bite. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 36:61–63

Correspondence Address

Prof. Dr. Karl-Friedrich Krey
Department of Orthodontics and Orofacial Orthopedics, Center for
Dental, Oral and Craniomandibular Sciences, University Medicine
Greifswald
Rotgerberstr. 8, 17475 Greifswald
Germany
kreyk@uni-greifswald.de