



Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien e. V. (DGPro) (vormals DGZPW): Anwendung des Gesichtsbogens beim funktionsgesunden Patienten im Rahmen restaurativer Maßnahmen

1 Einleitung

1.1 Zielgruppen und Grundlagen

Diese Stellungnahme ist auf die Zielgruppen der Zahnärztinnen und Zahnärzte sowie der Zahntechnikerinnen und Zahntechniker ausgerichtet.

Ziel der Anwendung eines Gesichtsbogens ist die Übertragung individueller anatomisch-geometrischer Verhältnisse vom Patienten auf den Artikulator. Durch die gesichtsbogenvermittelte Positionierung der Modelle im Artikulator – im Gegensatz zur Festlegung der Modellposition auf Mittelwerte (sog. Mittelwert-/arbiträre Montage) – soll im Rahmen des Herstellungsprozesses indirekter Restaurationen eine Minimierung der Fehler bei der Gestaltung der statischen und dynamischen Okklusionskontakte erzielt werden. Dies soll bei der Eingliederung von indirekt hergestellten Restaurationen folgende Vorteile mit sich bringen:

- geringeres Ausmaß okklusaler Anpassungsmaßnahmen
- dadurch weitgehende Erhaltung des durch den Zahntechniker gestalteten funktionellen okklusalen Reliefs
- insgesamt Reduktion des zahnärztlichen Arbeitsaufwandes.

Für die instrumentelle Funktions- und Okklusionsanalyse soll darüber hinaus eine verbesserte Simulation der indivi-

duellen statischen und dynamischen Okklusionskontakte im Artikulator ermöglicht werden.

1.2 Methoden der Gesichtsbogenübertragung

Bei der in Deutschland allgemein verbreiteten, schädel- und gelenkbezogenen Übertragung des Oberkiefermodells in den Artikulator wird durch die Anwendung eines Gesichtsbogens eine Individualisierung des Bonwill-Dreiecks und des Balkwill-Winkels erreicht.¹ Je nach Artikulatorsystem erfolgt die Ausrichtung des Bogens entsprechend der Frankfurter Horizontalen oder der Camper'schen Ebene. Entsprechend der gewählten Bezugsebene ergeben sich dadurch für die Gelenkbahnneigung unterschiedliche Mittelwerte.

Zur Übertragung der Kiefermodelle werden drei Referenzpunkte benötigt:

- Die beiden posterioren Referenzpunkte, die sich auf die sogenannte (meist zentrale) Schamierachse beziehen, können auf zwei Arten bestimmt werden:
 - (a) arbiträr anhand von Mittelwerten (arbiträre Technik, Anwendung u. a. bei den sogenannten Ohrbögen), oder
 - (b) individuell lokalisiert nach Anbringen eines Bogens am Unterkiefer und kinematischer Bestimmung der Rotationsachse.

- Die Lokalisation des anterioren (dritten) Referenzpunktes wird unterschiedlich festgelegt: Teilweise wird auf den tastbaren knöchernen unteren Rand der Orbita Bezug genommen, in anderen Fällen wird ein festgelegter Abstand kranial der Schneidekanten der Zähne 12 oder 22 abgemessen und im Bereich der Nasen-Wangen-Grenze auf der Haut markiert. Darüber hinaus existieren Systeme, die den Subnasalpunkt als Basis festlegen.

1.3 Fragestellung

Gesichtsbögen werden im Rahmen von zahnärztlich-rekonstruktiven Maßnahmen international nicht regelhaft angewandt (z. B. *Carlsson* und *Magnusson* 2000, *Wang* et al. 2008). Angesichts dieser Tatsache stellt sich die Frage, welche Belege für einen klinischen Nutzen dieses Hilfsmittels vorhanden sind.

2 Literaturrecherche und Evidenz aus klinischen Studien

2.1 Suchstrategie

Eine am 15.09.2009 durchgeführte Literaturanalyse zur Frage des Nutzens der Gesichtsbogenanwendung für den Bereich der zahnärztlichen Prothetik iden-

¹ Bei Anwendung der Methode nach *Albert Gerber* (Zürich) erfolgt dagegen die Übertragung unterkieferbezogen, d. h., es wird zunächst das Unterkiefermodell im Artikulator montiert.

tifizierte fünf Artikel über randomisierte klinische Studien. Die Literaturrecherche erfolgte manuell (Methodik in Hugger et al. 2001) sowie elektronisch in PubMed (Suchbegriffe: facebow OR facebow; *Limits*: Humans, Clinical Trial, Meta-analysis, Randomized Controlled Trial).

2.2 Identifizierte Studien und ableitbare klinische Evidenz

Aus methodischen Gründen eignen sich die identifizierten Publikationen mit Ergebnissen aus vergleichenden Studien nicht für die Beantwortung der Frage nach dem Nutzen der Gesichtsbogenübertragung. Es konnte lediglich ein Beitrag über eine kontrollierte klinische Studie identifiziert werden, die den Nutzen der Gesichtsbogenanwendung in der Totalprothetik untersuchte (Kubrak 1998). Hierbei wurde die Totalprothesenherstellung gemäß der Methode nach Alfred Gysi (Gruppe 1) mit der Verwendung eines Quick-Master-Artikulators und Gesichtsbogens (Gruppe 2) verglichen. In Gruppe 2 wurde eine verringerte Adaptationszeit, aber auch eine verringerte Zahl okklusaler Korrekturen festgestellt. Aufgrund unvollständiger Angaben zum genauen Aufbau der Studie kann diese Untersuchung jedoch nur eingeschränkt herangezogen werden.

Zwei weitere „isolierte“ Gesichtsbogen-Studien bezogen sich auf die Herstellung von intraoralen Schienen:

- Schwahn und Kordafz (1997): Herstellung von Okklusionsschienen mit Eckzahnführung nach mittelwertiger versus mittels Gesichtsbogen erfolgter individueller Modellmontage. Beurteilung: Okklusale Situation beim Eingliedern, Zeitaufwand für okklusale Adjustierung am Patienten, Patientenempfinden. Die mitgeteilten Ergebnisse lassen Vorteile in Bezug auf die Analyse der okklusalen Situation und auf die Patientenbeurteilung erkennen.
- Shodadai et al. (2001): Eingliederung von Michigan-Schienen nach mittelwertiger versus individueller Modellmontage mit Hilfe des Gesichtsbogens. Beurteilung: Zahl der intraoralen Okklusionskontakte nach dem unmittelbaren Einsetzen der Schiene sowie Zeitaufwand für das okklusale Einschleifen derselben. Ergebnis: Mit

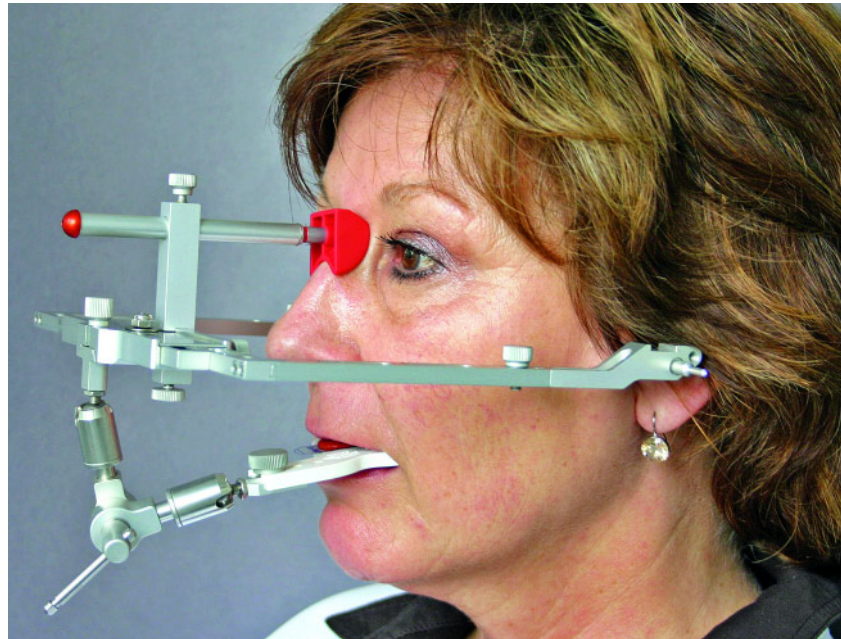


Abbildung 1 Moderner arbiträrer (mittelwertiger) Ohr-Gesichtsbogen.

(Abb. 1: K.-H. Utz)

Gesichtsbogen kein wesentlicher Zugewinn an Okklusionskontakten und kein wesentlicher Zeitgewinn. Größere Veränderungen der vertikalen Relation nach der Kieferrelationsbestimmung im Artikulator – was den Einsatz des Gesichtsbogens gerechtfertigt hätte – wurden in dieser Studie allerdings vermieden.

Bei den restlichen Publikationen unterschieden sich die Gruppen nicht ausschließlich dadurch, dass in einer Gruppe ein Gesichtsbogen verwendet wurde und in der anderen nicht. Stattdessen waren innerhalb der Vergleichsgruppen zusätzliche methodische Unterschiede vorhanden, welche es unmöglich machen, berichtete Unterschiede in den Ergebnissen derart zu interpretieren, dass diese zweifelsfrei auf die Anwendung oder Nichtanwendung des Gesichtsbogens zurückgeführt werden können. Somit geben diese Studienresultate **keine** unmittelbaren Hinweise auf die Wertigkeit der Anwendung eines Gesichtsbogens.

- Ellinger et al. (1979) sowie Douglass et al. (1993): Erstellung von Totalprothesen nach Standardmethode (ohne Gesichtsbogen) versus erweiterte prothetische Behandlungstechnik (*unter anderem* mit Gesichtsbogen). Beurteilung anhand von Patientenbefragungen und klinischen Parametern. Er-

gebnis: keine signifikanten Unterschiede nach 5 Jahren nachweisbar.

- Figuera Nascimento et al. (2004) sowie Heydecke et al. (2007, 2008) befassten sich mit der Herstellung und Eingliederung von Totalprothesen, wobei die Anwendung des Gesichtsbogens in einer bestimmten Patientengruppe wiederum nur *ein* Faktor neben einer Reihe anderer Einflussgrößen darstellte. Die Ergebnisse dieser Studien ließen keine Unterschiede zwischen den angewendeten Methoden oder Behandlungsgruppen erkennen, mit Ausnahme folgender Gesichtspunkte: Bei Figuera Nascimento et al. (2004): Bessere Ergebnisse bei der Patientenbefragung hinsichtlich Ästhetik, Komfort und Prothesenstabilität für das Behandlungsvorgehen, ohne Anwendung des Gesichtsbogens. Bei Heydecke et al. (2007, 2008): Bessere Beurteilungen durch die Patienten für die Aspekte allgemeine Zufriedenheit, Stabilität der Prothese und Ästhetik für die Behandlungsmethodik ohne Gesichtsbogengebrauch.

2.3 Forschungsbedarf

Auf der Basis von klinischen Studien mit hohem Evidenzniveau ist zurzeit keine definitive Beurteilung des klinischen Nutzens von Gesichtsbögen möglich.

Planung und Durchführung aussagekräftiger klinischer Studien mit einer ausreichend hohen Probandenzahl sind trotz ihres hohen Zeit- und Kostenaufwands dringend erforderlich. Hierbei müssen die vielfältigen Einflussgrößen im Rahmen der prothetisch-restaurativen Behandlung beachtet werden, wobei die mit der Gesichtsbogenübertragung immer kombinierte Kieferrelationsbestimmung als entscheidende Störgröße sorgfältig kontrolliert, bzw. standardisiert werden muss.

3 Modellrechnungen auf der Basis von klinischen Daten

3.1 Suchstrategie für die Literatur

Im Gegensatz zum offensichtlichen Mangel an kontrollierten klinischen Studien liegen Untersuchungen vor, die anhand von experimentellen Labormessungen bzw. mit Hilfe mathematisch-geometrischer Modellrechnungen die Auswirkungen funktioneller Determinanten, die bei der Gesichtsbogenanwendung berücksichtigt werden, im Okklusalebereich berechnen und darstellen können.

Eine Literaturrecherche in PubMed und der Cochrane Library, Stand 15.10.2009, wurde durch Handsuche in den Literaturverzeichnissen der veröffentlichten Publikationen ergänzt. Die Suchstrategie beinhaltete die Begriffe (hinge OR arbitrary OR kinematic) AND (error OR probability OR calculat* OR computat*) AND occlusion AND dental. 68 Zitate ergab die Datenbank basierte Suche, davon wurden 16 Publikationen als geeignet identifiziert. An Hand der Literaturverzeichnisse konnten weitere 9 Studien gefunden werden.

3.2 Grundlagen

Die Modellrechnungen dienen dazu, okklusale Fehler auf Grund von Abweichungen zwischen der individuellen Scharnierachse und einer arbiträren oder mittelwertigen Gelenkachse zu bestimmen. Solche Fehlerberechnungen erlauben zwar keine Angaben über den klinischen Nutzen des Gesichtsbogens. Jedoch ist eine Abschätzung möglich, welche Faktoren sich bei der Modellübertragung in den Artikulator auf die Okklusion auswirken und in welcher

Größenordnung Fehler erwartet werden können.

Zwei verschiedene Fehler müssen dabei differenziert werden. Zum einen treten okklusale Fehler bei der dynamischen Okklusion auf. Sie entstehen durch unterschiedliche Bewegungsparameter des Unterkiefers zwischen Patient und Artikulator, wobei das Okklusionsniveau beibehalten wird. Zum anderen gibt es Fehler bei der statischen Okklusion, die nach der Kieferrelationsbestimmung (z. B. in der zentrischen Kondylenposition) auf Grund einer Änderung der Vertikalrelation im Artikulator hervorgerufen werden.

Die meisten Publikationen berechnen okklusale Fehler auf der Basis von Abweichungen der Gelenkachsen, die in der Arbeit fest vorgegeben werden. Aus diesen Ergebnissen wird deutlich, dass die Größe der okklusalen Fehler u. a. von folgenden Faktoren abhängig ist:

- Ort der Kauflächenbetrachtung
- Höckerneigung
- Ausmaß der Lateralbewegung
- Ausmaß der vertikalen Relationsänderung.

3.3 Berechnungen auf der Basis individueller Probandenuntersuchungen

3.3.1 Effekte auf die statische Okklusion

Nur wenige Publikationen berechnen okklusale Fehler auf der Grundlage von individuellen Messungen an Probanden. Diese Methode erlaubt es jedoch, die Größenordnung und die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von okklusalen Fehlern in einer realen Population zu bestimmen.

Bei der vertikalen Relationsänderung im Artikulator treten sowohl bei der Verwendung der arbiträren Gelenkachspunkte als auch bei der mittelwertigen Modellübertragung okklusale Fehler auf. Die Fehler sind stark vom Umfang der vertikalen Relationsänderung abhängig und sind bei der mittelwertigen Modellübertragung größer als bei der Verwendung der arbiträren Gelenkachspunkte. Maßgeblichen Einfluss auf die Größe der okklusalen Fehler hat bei der mittelwertigen Modellübertragung der verwendete *Balkwill-Winkel*, der die Neigung zwischen Okklusionsebene und *Bonwill-Dreieck* am Inzisivenpunkt beschreibt. Durchschnittlich am geringsten sind die Abweichungen bei einem

Winkel von 17°. Je größer der *Balkwill-Winkel* wird, desto stärker nehmen die okklusalen Fehler zu. Abhängig vom verwendeten Artikulator orientieren sich die Hilfen zum mittelwertigen Einartikulieren von Modellen an *Balkwill-Winkeln* zwischen 18° und 25° und entsprechen für diesen Zweck oft nicht den ermittelten Anforderungen (*Morneburg und Pröschel*, 2010).

Ist nach der Kieferrelationsbestimmung eine vertikale Relationsänderung im Artikulator erforderlich, so führt die Verwendung von Gesichtsbogen mit arbiträren Gelenkachspunkten im Vergleich zur mittelwertigen Modellmontage zu einer klinisch relevanten Reduktion der Fehler im Bereich der statischen Okklusion.

Wird eine vertikale Relationsänderung im Artikulator von 2 mm durchgeführt beträgt nach statistischen Berechnungen der okklusale Fehler mit einer Wahrscheinlichkeit von 10 % am 2. Molar bei einer arbiträren Gelenkachsbestimmung 340 µm oder mehr. Mittelwertige Modellmontage ohne Gesichtsbogen führt in Abhängigkeit vom verwendeten *Balkwillwinkel* (BW) mit einer Wahrscheinlichkeit von 10 % dagegen zu Fehlern von mindestens 440 µm und mehr (BW 17°) bis zu 1.120 µm und mehr (BW 25°).

3.3.2 Effekte auf die dynamische Okklusion

Bei der Berechnung der Effekte der Gesichtsbogenübertragung auf die dynamischen Okklusionskontakte zeigt sich, dass die okklusalen Fehler nicht allein von der Verwendung des Gesichtsbogens zur Übertragung der Modelle abhängig sind. Andere Parameter, wie der *Bennett-Winkel*, der *sagittale Gelenkbahnneigungswinkel*, der *Interkondylarabstand*, *Inzisalbahnführungswinkel* und der Ort der Kauflächenbetrachtung haben teilweise einen größeren Einfluss.

Sieht man einen okklusalen Fehler von bis zu 200 µm als noch zu tolerierende Grenze an, so wird am 2. Molaren bei der Verwendung von Mittelwerten diese Schwelle auf der Arbeitsseite mit einer Wahrscheinlichkeit von 14 % und auf der Balanceseite mit einer Wahrscheinlichkeit von 11 % überschritten. Die individuelle Berücksichtigung der Gelenkbahnneigung reduziert diese Werte auf 11 % bzw. 9 %. Eine Übertragung der Modelle in den Artikulator mittels Ge-

sichtsbogen würde zu einer Reduktion der Wahrscheinlichkeit auf der Arbeitsseite auf 5 % und einen Anstieg auf der Balanceseite auf 11 % führen. Die individuelle Einstellung des Bennett-Winkels reduziert die Wahrscheinlichkeit zur Überschreitung der 200 µm-Grenze noch weiter auf 7 % auf der Arbeitsseite und 2 % auf der Balanceseite (Pröschel et al., 2000).

Die Anwendung des Gesichtsbogens allein würde daher die okklusalen Fehler nur marginal reduzieren. Deshalb ist es mit Zielrichtung auf die dynamischen Okklusionskontakte sinnvoll, entweder alle wichtigen Bewegungsparameter zu bestimmen, oder anderenfalls auch auf die Gesichtsbogenübertragung zu verzichten und den Fehler ggf. auf der Kaufläche im Mund zu korrigieren.

4 Fazit zur Anwendung des Gesichtsbogens

Aus den vorliegenden Publikationen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Die Anwendung eines Gesichtsbogens ist für sich allein kein ausreichender Qualitätsindikator.
 - Im Rahmen rekonstruktiver oder funktionsanalytischer Maßnahmen kann die Gesichtsbogenübertragung
- einen qualitätsverbessernden/qualitätssichernden Effekt haben, wenn sie als Teil einer Prozesskette angesehen wird, bei der alle Arbeitsschritte mit großem Einfluss auf okklusale Fehler (v. a. die Kieferrelationsbestimmung) mit hohem Qualitätsbewusstsein ausgeführt werden.
 - Ist nach der Kieferrelationsbestimmung eine vertikale Relationsänderung im Artikulator erforderlich, so stellt die Verwendung von Gesichtsbögen mit arbiträren oder individuell bestimmten Gelenkachspunkten eine sinnvolle Maßnahme dar, die die Fehler im Bereich der *statischen* Okklusion reduziert. Die Größe der Fehler hängt dabei vom Ausmaß der vertikalen Veränderung ab.
 - Für eine Fehlerreduktion der *dynamischen* Okklusionskontakte ist die Anwendung des Gesichtsbogens nur bei Bestimmung weiterer Parameter der Unterkieferbewegung, wie sagittaler Gelenkbahnneigungswinkel und Bennett-Winkel, sinnvoll.
 - Wird eine stabile maximale Interkuspitation zur Kieferrelationsbestimmung herangezogen und liegt gleichzeitig eine Eckzahnführung vor oder moderate Neigungswinkel von zentralen Höckerabhängigen, so ist die mittelwertige Modellübertragung in den Artikulator ohne Gesichtsbogen eine akzeptable Vorgehensweise.
 - Durch die für viele Gesichtsbögen geltende individuelle schädel- und gelenkbezogene Übertragung des Oberkiefermodells in den Artikulator können außerdem individuelle Besonderheiten (z. B. Asymmetrien) in ästhetischer und funktioneller Hinsicht bei der Planung von Rekonstruktionen frühzeitig erfasst und bei der Erstellung von Restaurationen ausreichend berücksichtigt werden.

Geometrisch-statistische Berechnungen können Werte für die Wahrscheinlichkeit von okklusalen Fehlern angeben, die in einem repräsentativen Kollektiv tatsächlich auftreten würden. Zur Überprüfung der klinischen Relevanz sollten im Rahmen von randomisierten klinischen Studien das Auftreten dieser vorhergesagten Fehler bei der Herstellung indirekter Restaurationen mit den verschiedenen Übertragungsmethoden und ihre praktischen Konsequenzen in qualitativer und zeitlicher Hinsicht untersucht werden.

D77

T.R. Morneburg, Erlangen
 A. Hugger, Düsseldorf
 J.C. Türp, Basel
 M. Schmitter, Heidelberg
 K.-H. Utz, Bonn
 W.B. Freesmeyer, Berlin
 P. Rammelsberg, Heidelberg

Literatur zu Punkt 2 (Nutzen der Gesichtsbogenanwendung)

1. Carlsson GE, Magnusson T: Behandlung temporomandibulärer Funktionsstörungen in der Praxis. Quintessenz, Berlin 2000, S. 183
2. Douglass JB, Meader L, Kaplan A, Ellinger CW: Cephalometric evaluation of the changes in patients wearing complete dentures: a 20-year study. J Prosthet Dent 69, 270–275 (1993)
3. Ellinger CW, Somes GW, Nicol BR, Unger JW, Wesley RC: Patient response to variations in denture technique. Part III: five-year subjective evaluation. J Prosthet Dent 42, 127–130 (1979)
4. Figuera Nascimento DF, Luz Patto RB, Marchini L, Prisco da Cunha VP: Double-blind study for evaluation of complete dentures made by two techniques with and without face-bow. Braz J Oral Sci 3, 439–445 (2004)
5. Heydecke G, Akkad AS, Wolowitz M, Vogeler M, Türp JC, Strub JR: Patient ratings of chewing ability from a randomized crossover trial: lingualised vs. first premolar/canine-guided occlusion for complete dentures. Gerodontology 24, 77–86 (2007)
6. Heydecke G, Vogeler M, Wolowitz M, Türp JC, Strub JR: Simplified versus comprehensive fabrication of complete dentures: patient ratings of denture satisfaction from a randomized crossover trial. Quintessence Int 39, 107–116 (2008)
7. Hugger A, Türp JC, Pröschel P, Strub JR, Stüttgen U: Die Anwendung von Gesichtsbögen in der restaurativen Therapie und Funktionsdiagnostik – welches Evidenzniveau liegt vor? Dtsch Zahnärztl Z 56, 671–675 (2001)
8. Kubrak J: Comparative analysis of edentulous patients treated traditionally and with the use of a face-bow and Quick Master articulator. Ann Acad Med Stetin 44, 237–249 (1998)
9. Schwahn B, Kordaß B: Clinical effect of individual mounting in an adjustable articulator. Vortragszusammenfassung. European Prosthodontic Association, Kopenhagen 1997
10. Shodadai SP, Türp JC, Gerds T, Strub JR: Is there a benefit of using an arbitrary face-bow for the fabrication of a stabilization appliance? Int J Prosthodont 14, 517–522 (2001)
11. Wang MQ, Xue F, Chen J, Fu K, Cao Y, Raustia A: Evaluation of the use of and attitudes towards a face-bow in complete denture fabrication: a pilot questionnaire investigation in Chinese prosthodontists. J Oral Rehabil 35, 677–681 (2008)

Literatur zu Punkt 3 (Modellrechnungen)

1. Adrien P, Schouver J: Methods for minimizing the errors in mandibular model mounting on an articulator. *J Oral Rehabil* 24, 929–235 (1997)
2. Balkwill FH: On the best form and arrangement of artificial teeth for mastication. *Transactions of Great Britain Odontological Society* 5, 133 (1866)
3. Beck HO: A clinical evaluation of the arcon concept of articulators. *J Prosthet Dent* 9, 409–421 (1959)
4. Bergstrom G: On the reproduction of dental articulation by means of articulators. A kinematic investigation. *Acta Odontol Scand* 9 (suppl 4), 1–37 (1950)
5. Brandrup-Wogensen T: The face-bow. Its significance and application. *J Prosthet Dent* 3, 618–630 (1953)
6. Brotman DN: Hinge axes. Part II, Geometric significance of the transverse axis. *J Prosthet Dent* 10, 631–636 (1960)
7. Craddock FW, Symmons HF: Evaluation of the face bow. *J Prosthet Dent* 2, 633–642 (1952)
8. De Boever JA, Carlsson GE, Klineberg IJ: Need for occlusal therapy and prosthodontic treatment in the management of temporomandibular disorders. Part I. Occlusal interferences and occlusal adjustment. *J Oral Rehabil* 27, 367–379 (2000)
9. Fisher RA, Yates F: *Statistical tables for biological, agricultural and medical research*. Longman, Harlow, UK 1982
10. Gordon SR, Stoffer WM, Connor SA: Location of the terminal hinge axis and its effect on the second molar cusp position. *J Prosthet Dent* 52, 99–105 (1984)
11. Hobo S, Shillingburg HT Jr, Whitsett LD: Articulator selection for restorative dentistry. *J Prosthet Dent* 36, 35–43 (1976)
12. Hugger A, Türp JC, Pröschel PA, Strub JR, Stüttgen U: Die Anwendung von Gesichtsbögen in der restaurativen Therapie und Funktionsdiagnostik – welches Evidenzniveau liegt vor? *Dtsch Zahnärztl Z* 56, 671–675 (2001)
13. Lauritzen AG, Bodner GH: Variations in location of arbitrary and true hinge axis points. *J Prosthet Dent* 11, 224–229 (1961)
14. Lauritzen AG and Wolford LW: Hinge axis location on an experimental basis. *J Prosthet Dent* 11, 1059–1067 (1961)
15. Morneburg T, Pröschel PA: Differences between traces of adjacent condylar points and their impact on clinical evaluation of condyle motion. *Int J Prosthodont* 11, 317–24 (1998)
16. Morneburg TR, Pröschel PA: Predicted incidence of occlusal errors in centric closing around arbitrary axes. *Int J Prosthodont* 15, 358–364 (2002)
17. Morneburg TR, Pröschel PA: Impact of individual, arbitrary and mean transfer of dental casts to the articulator on centric occlusal errors. *Clin Oral Invest* 2010 Mar 25 [Epub ahead of print]
18. Ohm E, Silness J: The size of the Balkwill angle and the height of the Bonwill triangle. *J Oral Rehabil* 9, 301–306 (1982)
19. Piehslinger E, Bauer W, Schmiedmayer HB: Computer simulation of occlusal discrepancies resulting from different mounting techniques. *J Prosthet Dent* 74, 279–283 (1995)
20. Pröschel PA, Maul T, Morneburg T: Predicted incidence of excursive occlusal errors in common modes of articulator adjustment. *Int J Prosthodont* 13, 303–310 (2000)
21. Richter HJ, Windecker D: Wie weit stimmen okklusale Kontakte am Modell bei unterschiedlichen Lokalisations- und Übertragungsverfahren der terminalen Scharnierachspunkte überein? *Quintessenz* 28, 45–49 (1977)
22. Rossbach A: Auswirkungen von Fehlregistrierungen der Interkondylarachse auf die Reproduktionsgenauigkeit von Artikulationsbewegungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 25, 222–225 (1970)
23. Schallhorn RG: A study of the arbitrary center and the kinematic center of rotation for face-bow mountings. *J Prosthet Dent* 7, 162–169 (1957)
24. Schulte JK, Rooney DJ, Erdman AG: The hinge axis transfer procedure: a three-dimensional error analysis. *J Prosthet Dent* 51, 247–251 (1984)
25. Schulte JK et al.: Three-dimensional analysis of cusp travel during a non-working mandibular movement. *J Prosthet Dent* 53, 839–843 (1985)
26. Simpson JW, Hesby RA, Pfeifer DL, Pelleu GB: Arbitrary mandibular hinge axis locations. *J Prosthet Dent* 51, 819–822 (1984)
27. Tangerud T, Carlsson GE: Jaw registration and occlusal morphology. In: Carlsson S, Nilner K, Dahl BL (eds): *A textbook of fixed prosthodontics*. Gothia, Stockholm 2000, 209–230
28. Teteruck WR: The accuracy of an ear face-bow. *J Prosthet Dent* 16, 1039–1046 (1966)
29. Utz KH, Duvenbeck H, Oettershagen K: Variation der terminalen Scharnierachsenposition bei verschiedenen Registriermethoden. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 100, 412–419 (1990)
30. Walker PM: Discrepancies between arbitrary and true hinge axes. *J Prosthet Dent* 43, 279–285 (1980)
31. Weinberg L: An evaluation of basic articulators and their concepts. Part II. Arbitrary, positional, semiadjustable articulators. *J Prosthet Dent* 13, 645–663 (1963)
32. Zuckerman GR: The geometry of the arbitrary hinge axis as it relates to the occlusion. *J Prosthet Dent* 48, 725–733 (1982)