

Ankunft eines Meilensteins der dentofazialen Wachstumsbeobachtung im digitalen Zeitalter

Von zwei- zu dreidimensionalen Bolton-Standards (II)

An der Case Western Reserve University in Cleveland/Ohio, USA, entwickeln Prof. Dr. J. Martin Palomo, Dr. Krishna Subramanyan, Dr. B. Holly Broadbent Jr. und Dr. Mark G. Hans die Bolton-Standards weiter und erstellen so erstmals eine Vergleichsbasis für 3-D-Röntgenaufnahmen. In diesem Artikel erklärt Prof. Dr. J. Martin Palomo die Ansätze und das Vorgehen.

Fortsetzung des Artikels aus Ausgabe 7/8-2006 der KN Kieferorthopädie Nachrichten.

Aktuelle Situation der Bolton-Standards

Die Bolton-Brush-Studie ist in der School of Dental Medicine der Case Western Reserve University in Cleveland

rende Vergrößerung möglich ist

- Möglichkeit der Nutzung digitaler Röntgenaufnahmen und Fotos sowie lateraler und frontaler Cone Beam-Cephalogramme
- Tools zur Verbesserung der Bildqualität und -betrachtung, mit deren Hilfe Orientierungspunkte, Weichteile

3-D-Format darstellbar ist. In der traditionellen Cephalometrie werden kraniofaziale 3-D-Strukturen auf 2-D-Röntgenfilm abgebildet. Bei diesem Prozess entstehen cephalometrische Strukturen und Orientierungspunkte, die beim realen Patienten nicht existieren. Beispiele für solche Strukturen sind die mandibuläre Symphyse, Artikulare, Fossa pterygoidea und „Jochbeinfeiler“. Auch wenn sich Kieferorthopäden

in aller Welt ständig auf diese Strukturen als anatomische Orientierungspunkte beziehen, bleiben diese doch nur Artefakte der cephalometrischen Technik. Ein weiteres Problem tritt auf, wenn bilaterale Strukturen angeglichen werden, um einen einheitlichen Umriss zu erzeugen. Als Beispiel dieses Prozesses sei die Angleichung der rechten und linken inferioren Begrenzungen der Mandibula genannt, welche die „Mandibularebene“ bilden. Ein solches Angleichen bilateraler Strukturen führt zu zwei Problemen. Erstens ist die entstandene Ebene nun eine Linie und damit eine Abstraktion auf der Grundlage der Anatomie des Patienten. Zweitens resultiert die Angleichung der Strukturen in einem Verlust parasagittaler Informationen, wobei jede wirkliche Asymmetrie des Patienten verloren geht. Es ist nicht möglich zu bestimmen, wie wichtig diese verlorene Information für

birgt das Risiko, dass Asymmetrien unerkant bleiben und zu Behandlungsfehlern führen.^{17,18} Svara¹⁹ erkannte um 1960 die Notwendigkeit der dreidimensionalen Cephalometrie und wurde darin vielfach bestätigt.^{4,5,7,12,15,20-24} Besonders Altobelli²⁴ lenkte die Aufmerksamkeit auf die fehlenden dreidimensionalen Standards bei pädiatrischen und erwachsenen kraniofazialen Patienten. Dean

ner 2-D-Daten wäre möglich. Diese Daten wären sofort verfügbar, akzeptiert und akkurat, da sie aus einer longitudinalen Studie stammen. Nachteilig wäre wiederum das Fehlen eines Teils der Informationen, die nur durch 3-D-Abbildungen erhoben werden können. Zur Erstellung der 3-D-Standards kombinierten wir die vorhandenen 2-D-Daten mit einem Querschnitt der 3-D-Daten, sodass wir die Vorteile

Aufnahmen zum „Füllen der Lücken“ und als Oberflächeninformationen ergänzt wurde (Abb. 6). Die Auswahl der Patienten für die volumetrischen Querschnittsdaten erfolgte nach den gleichen Kriterien wie für die Erstellung der originalen Bolton Faces.

Die 3-D-Bolton-Standards sind für männliche und weibliche Individuen im Alter von 3–18 Jahren verfügbar, da erst mit drei Jahren frontale Cephalogramme erstellt wurden.

Für die Übertragung/Abbildung eines Standards auf die 3-D-Abbildung eines Patienten kann die Standardabbildung transparent gemacht werden (Abb. 7) oder beide Abbildungen werden unter Nutzung einer metrischen Oberflächendistanzmethode kombiniert.

Mit den 3-D-Bolton-Standards wird ein einfaches und anwenderfreundliches Verfahren zur Analyse von Cone Beam CT-Abbildungen verfügbar. Die 3-D-Bolton-Standards befinden sich derzeit in der Endphase ihrer Erstellung und sind momentan noch nicht einsehbar.

Bei der Umstellung von 2-D auf 3-D wird wahrscheinlich eine Übergangsperiode eintreten, in der Kliniker und Forscher ihre Sicht auf die Abbildungen der weichen und knöchernen Strukturen ihrer Patienten langsam umstellen. Einige Orientierungspunkte und Skelettstrukturen, die als Referenz und diagnostisches Werkzeug dienen, werden in den 3-D-Aufnahmen nicht mehr ausreichend genau und aussagekräftig sein. Kliniker müssen sich darauf einstellen, anstelle von Orientierungspunkten, Linien, linearen Messungen und Kanten nun mit Volumina und Gebieten zu arbeiten. Die Nutzung von 3-D-Standards wie dem 3-D-Bolton-Standard kann sie in diesem Prozess unterstützen. 

Siehe auch das Interview mit Prof. Palomo auf Seite 8.

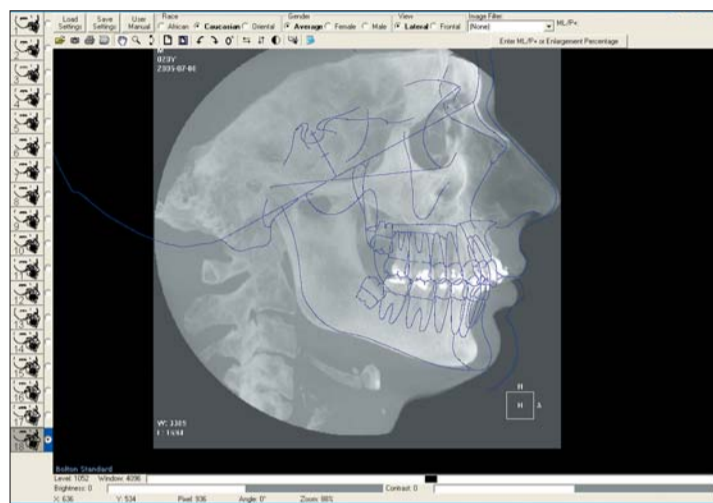


Abb. 5: Beispiel der elektronischen Bearbeitung eines Bolton-Standards, der bereits im Bolton-Brush Growth Center verfügbar ist. Das abgebildete Cephalogramm wurde aus einem CBCT-Bild erstellt.

hinterlegt. Die Röntgenaufnahmen, auf deren Grundlage die Bolton-Standards und die meisten longitudinalen Daten ermittelt wurden, sind eingescannt und in digitalem Format verfügbar. Diese Bearbeitung gestattet die Nachbesserung der durch Alterung nachgedunkelten Röntgenaufnahmen und trägt so zur Erhaltung dieser wichtigen Studie bei.

Mit dem Aufkommen der digitalen Röntgenaufnahmen und der Nutzung digitaler Darstellungen von Röntgenaufnahmen begann auch die computergestützte cephalometrische und röntgenologische Analyse. Im Bolton-Brush Center ist heute eine Computerversion der Bolton-Standards verfügbar (Abb. 5). Diese Computerversion gestattet die Öffnung verschiedener elektronischer Dateien, die nicht nur Röntgenaufnahmen, sondern auch zusätzliche Oral-aufnahmen des Patienten enthalten können. Nach dem Öffnen einer solchen Datei kann der Anwender einen oder mehrere Bolton-Standards übereinander legen und durch Drehen und Bewegen des Standards oder Abbildung verschiedene Überlagerungen betrachten. Neben den Anwendungen der traditionellen Bolton-Standards bietet die elektronische Version folgende Möglichkeiten:

- Skalierung und Justierung der Patientenabbildung bzw. Anpassung an die Größe des Standards, sodass ein Vergleich auch ohne verzer-

rende Vergrößerung möglich ist

- Exports der Analyse als Bild
- zeitgleiche Nutzung mehrerer Standards, wobei jeder Standard in einer anderen Farbe darstellbar damit individuell identifizierbar ist
- Erstellung einer schriftlichen Beschreibung in elektronischem Format.

Die elektronische Version der Bolton-Standards bietet somit ein großes Potenzial nicht nur für Diagnostik und Behandlungsplanung, sondern auch für die Kommunikation mit Patienten und Kollegen und be-

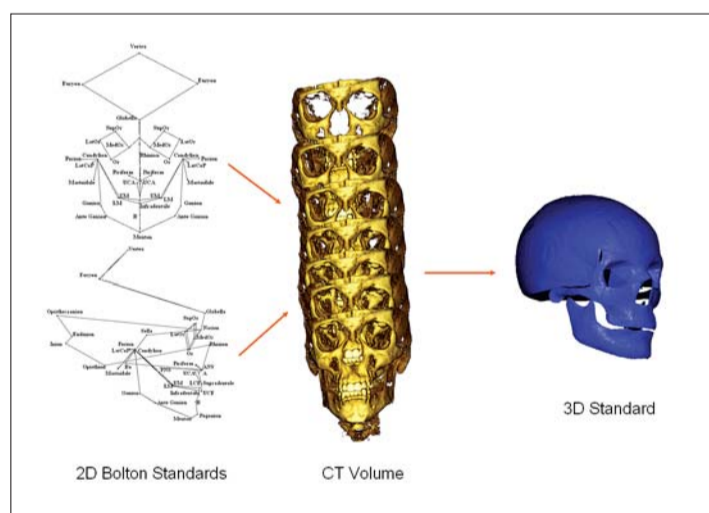


Abb. 6: Der neue 3-D-Standard wird unter Einfügung volumetrischer Daten aus den 3-D-Informationen erstellt, die in den traditionellen Bolton-Standards bereits enthalten sind.

reichert als leicht verständliches Hightech-Instrument den ärztlichen Behandlungsraum.

Bolton-Standards, die nächsten Schritte

Nach der digitalen Röntgenaufnahme folgt als nächster evolutionärer Schritt die Nutzung direkter dreidimensionaler (3-D-)Aufnahmen des Patienten. Die Anwendung des 3-D-Formats ist essenziell, weil auch unsere Patienten dreidimensionale Erscheinungen sind und ihre Morphologie am genauesten durch ein

Diagnostik und Behandlungsplanung wäre. Normalerweise wird das kraniofaziale Skelett beim Kieferorthopäden in Form einer lateralen und frontalen Aufnahme nachgebildet. Beide Aufnahmen sind 2-D-Abbildungen eines 3-D-Objekts, die zur Vergrößerung und Überlagerung von Strukturen führen.

Zwischen 1950 und 1985 wurden cephalometrische Untersuchungen weitgehend auf der Basis lateraler Filmaufnahmen durchgeführt.²⁻⁸ Etwa seit 1960 gibt es ein moderates Forschungsinteresse an der Nutzung frontaler Aufnahmen bei Asymmetrien und an dreidimensionalen Studien⁹⁻¹⁶, aber das Ignorieren der frontalen Cephalogramme

et al.²⁵ stellten fest, dass normative cephalometrische 3-D-Daten als wichtiges Tool zum Studium kraniofazialer Variationen dienen könnten, welches sowohl bei der Diagnostik, der Behandlungsplanung, der stereotaktischen Behandlung, der Erstellung prothetischer Apparaturen und der Ergebnisbeurteilung einsetzbar wäre.

Mit dem später eingeführten Verfahren der Cone Beam CT wurde die schnelle und einfache Erstellung realer 3-D-Aufnahmen von Weichteil- und Skelettstrukturen des Patienten möglich. Die Einführung dieses Verfahrens wird vermutlich breitere Verwendung von 3-D-Aufnahmen befördern und unsere Technologien müssen zur praktischen Nutzung dieses Fortschritts angepasst werden. Die bestmögliche Erfassung normativer Daten für die Analyse der Cone Beam CT-Daten wäre eine longitudinale Studie, analog der Bolton-Studie für Cephalogramme. Nachteilig wären die erforderliche langfristige Beobachtung (wahrscheinlich nicht unter 20 Jahren) und die Regularien der Ethikkommission und der IRB, sodass eine ähnlich angelegte Studie wahrscheinlich nicht durchführbar ist. Eine weitere Datenquelle könnte die Sammlung durchschnittlicher vorhandener Cone Beam CT-Aufnahmen sein. Vorteilhaft wäre die kurze erforderliche Zeitspanne und die Nutzung vorhandener Daten. Diese Daten stammen jedoch von unterschiedlichen Patienten mit unterschiedlichen Wachstumsraten, sodass die Informationen über Wachstum und Entwicklung inakkurat wären. Auch die Nutzung vorhande-

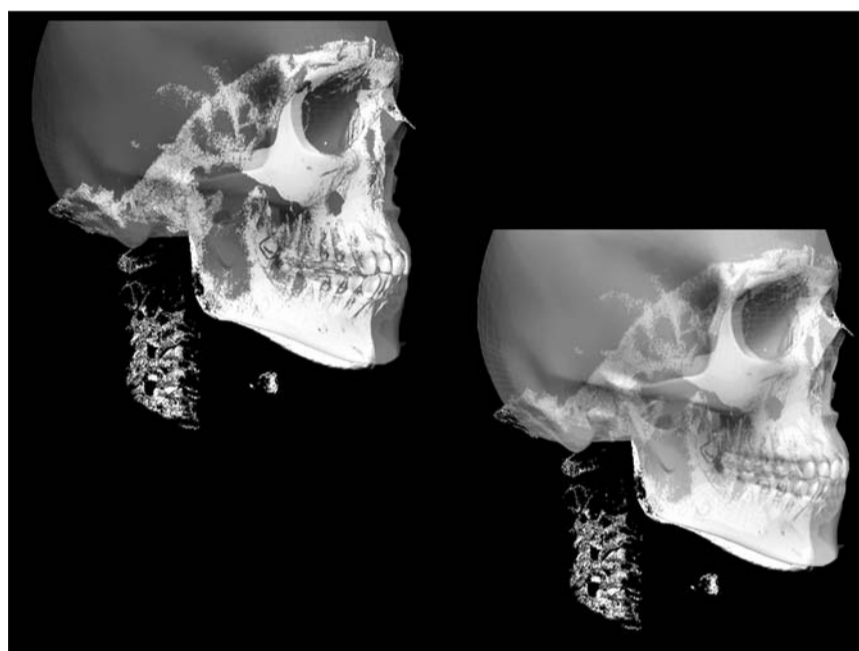


Abb. 7: Die neuen 3-D-Standards werden nach Geschlechtern getrennte skelettale Vergleiche ermöglichen. Die zur Analyse erforderliche Überlagerung wird durch Transparenz des Standards möglich.

der 2-D-Daten aus der longitudinalen Studie und die 3-D-Oberflächeninformationen verbinden konnten. Diese Kombination von 2-D und 3-D war nur möglich, weil die Bolton-Cephalogramme ohne jegliche Bewegung des Kopfes des Patienten erstellt und die ML und P+-Abstände für jedes einzelne Cephalogramm registriert wurden. Die ML und P+-Messungen geben die Distanz zwischen Film und Zentrum des Kopfes des Patienten an. Damit kann die Vergrößerung eingestellt werden. Mithilfe eines speziell dafür erstellten Computerprogrammes wurden dann die lateralen und frontalen Röntgenaufnahmen zu einem 3-D-Gittermodell mit Orientierungspunkten zusammengefügt. Dieses 3-D-Gittermodell mit Orientierungspunkten ist die Basis des 3-D-Bolton-Standards, der durch volumetrische (Cone Beam CT) Querschnittsdaten aus den 3-D-

KN Kurzvita



Prof. Dr. J. Martin Palomo

Prof. Dr. J. Martin Palomo studierte Kieferorthopädie an der Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasilien, und an der Case Western Reserve University in Cleveland, Ohio, USA. Er hatte mehrere Assistenz-

professuren in Brasilien und den USA inne, war von 1998 bis 2003 Direktor der Abteilung KFO der Universitätsklinik an der Case Western Reserve University und ist seit 2001 Forschungsbeauftragter am Bolton Brush Growth Study Center und bekleidet seit 2005 das Amt des Direktors des Craniofacial Imaging Center. Dr. Palomo ist neben seiner forschenden und lehrenden Tätigkeit Referent von Kursen und Workshops, Mitglied diverser Ausschüsse, Sponsor einiger Auszeichnungen und Fachjournalist.

Seit 1996 ist Dr. Palomo außerdem Autor und Co-Autor zahlreicher Abstracts und Veröffentlichungen in Fachjournalen, Buchkapiteln. Er ist zu erreichen unter der E-Mail-Adresse: palomo@case.edu

KN Anmerkung der Redaktion

Die hochgestellten Zahlen im Text beziehen sich auf Literaturangaben. Die entsprechende Literaturliste zum Artikel „Von zwei- zu dreidimensionalen Bolton-Standards (II)“ ist auf Anfrage unter folgender Adresse erhältlich:

Redaktion KN Kieferorthopädie Nachrichten
Oemus Media AG
Holbeinstrasse 29
04229 Leipzig
Fax: 03 41/4 84 74-2 90
E-Mail: c.pasold@oemus-media.de

Die Erstellung von kraniofazialen 3-D-Standards

KN Kieferorthopädie Nachrichten hatte die Möglichkeit, mit Prof. Dr. J. Martin Palomo über die Möglichkeiten des Cone Beam CTs, dessen Vorteile gegenüber den herkömmlichen Röntgenaufnahmen sowie seine Erwartungen bezüglich der Umstellung des KFO-Alltags auf das dreidimensionale Verfahren zu sprechen.

KN Wie würden Sie die Vorteile von 3-D-Cone Beam-Aufnahmen des Schädels für die kieferorthopädische Planung und Therapie beschreiben?

Eine 3-D-Abbildung ist zunächst einmal die genaueste und umfassendste Abbildung eines 3-D-Objektes. Das 3-D-Objekt ist im vorliegenden Fall der Kopf des Patienten, und mithilfe der 3-D-Technologie können wir den Kopf nicht nur dreidimensional analysieren, sondern auch in einzelnen Schnitten. Im Vergleich zum traditionellen CT ist die Strahlenbelastung beim Cone Beam CT deutlich geringer und die Technik kann in einem Behandlungsraum untergebracht werden. Wichtiger jedoch ist die Tatsache, dass Cone Beam CT auch beim Vorhandensein

von Metallen in der Mundhöhle eine gute Bildqualität liefert, während traditionelle CT-Aufnahmen in diesen Fällen (Kronen, Zahnersatz usw.) durch die entstehenden Artefakte und Verzerrungen diagnostisch kaum verwertbar sind.

KN Welcher zeitliche und analytische Aufwand ist für die Auswertung eines Cone Beam CTs erforderlich?

Es ist auch hier mit Sicherheit eine Lernphase nötig, die jedoch nicht anders als bei allen anderen neu in die Praxis eingebundenen Technologien ist. Ich denke, die Analyse von Cone Beam CTs ist nicht schwieriger als der Einstieg ins Scannen und Nachverfolgen von Cephalogrammen am Computer. Die wichtigen Informationen zur nor-

malen Anatomie und zur Erkennung von Diskrepanzen sind gleich. Technologie und Schnittstellen sind etwas anders, doch sie sind durchschaubar, denn wir können unsere Patienten in den Aufnahmen erkennen und wir verfügen bereits über das nötige Wissen.

KN Ist die Qualität der 3-D-Scans so gut, dass in der Kieferorthopädie keine Panorama-Röntgenaufnahmen mehr nötig sind?

Absolut. Das Cone Beam CT bietet die Vorteile eines Verfahrens, das genauso wie das Panoramaröntgen minimalinvasiv ist, aber gleichzeitig können auch alle Ansichten dargestellt werden, die mit traditionellen Röntgenaufnahmen möglich sind. Zusätzlich können An-

sichten erstellt werden, die bisher nicht existierten, z. B. die linguale Ansicht der Dentition oder interproximale Ansichten von Zähnen bei vorhandenen Nachbarzähnen. Die Cone Beam-Aufnahmen sind aussagekräftig genug, um heute als alleinige Referenz in der Kieferorthopädie verwendet zu werden, sie könnten potenziell sogar Fotos und Bissabdrücke ersetzen.

KN Bei welchen Indikationen ist aus Ihrer Sicht eine strahlenintensive 3-D-Aufnahme sinnvoller als eine klassische Röntgenaufnahme? Oder führt die Auslassung eines Abbildungsverfahrens zu einer insgesamt günstigeren Strahlenbelastung?

Wenn nachweisbar ist, dass mittels Cone Beam CT-Diag-



Nicht nur die geringere Strahlenbelastung, so Prof. Dr. J. Martin Palomo, sondern auch die gute Bildqualität – beispielsweise trotz Vorhandenseins von Metallen im Mund – zeichnet das Cone Beam CT aus.

nostik eine bessere kieferorthopädische Versorgung, weniger invasive chirurgische Maßnahmen und exakter vorhersehbare Ergebnisse erzielbar sind, dann wäre eine geringfügig höhere Strahlenbelastung sicher kein Thema. Die Strahlenbelastung ist eine Frage der Physik und hängt von den verwendeten mA und kVp ab. Wir haben gezeigt, dass sich mit niedrigen mA gute Ergebnisse erzielen lassen. Diese Ergebnisse können mit einer Strahlenbelastung erstellt werden, die in etwa einer halben Aufnahmeserie des gesamten Mundraums entspricht. Ich glaube, das sollte schon jetzt kein Thema sein, und die Thematik wird noch an Bedeutung verlieren, wenn das Cone Beam-Verfahren einmal Standard geworden ist.

KN Wird künftig die 3-D-Technologie der normale Standard sein, oder bleibt die Nutzung klassischer Röntgentechnik unverzichtbar?

Ich denke, es wird nicht mehr lange dauern, bis Cone Beam CT als einzige Quelle für radiografische Informationen bei kraniofazialen Behandlungen einsetzbar ist. Schon heute können solche Aufnahmen die klassischen Röntgenbilder vollständig ersetzen.

KN Können Kieferorthopäden diese Technologie selbst handeln oder wird aus rechtlicher Sicht immer ein Radiologe erforderlich sein?

Aus meiner Sicht können Kieferorthopäden diese Technik durchaus selbst anwenden, aber das Betreiben eines solchen Geräts in den eigenen Praxisräumen ist sicher nicht so einfach wie das Betreiben eines herkömmlichen Panoramaröntgenapparates. Um ein CBCT-Gerät in der eigenen Praxis zu betreiben, ist wahrscheinlich eine Vollzeitkraft nötig und zusätzlich eine Menge neues Wissen über Visualisation und Segmentierung. Für einen Kieferorthopäden wäre es daher einfacher, die Patienten zur Untersuchung einem Cone Beam-Center zuzuweisen, wo das Ergebnis auf eine CD gebrannt und dem Überweiser übermittelt wird. Ich glaube, jeder Kieferorthopäde ist so gut ausgebildet, dass er Anatomie und potenzielle Ab-

weichungen erkennen kann und den Patienten bei Bedarf an einen Spezialisten (Radiologen) weiterüberweist, wie es bisher auf der Basis der Panoramaaufnahmen gehandhabt wurde.

KN Glauben Sie, dass mit Blick auf den finanziellen Aufwand nur spezielle Zentren einen Radiologen beschäftigen können, oder können Sie sich vorstellen, dass 3-D-Scans einmal Goldstandard in der Kieferorthopädie werden?

Das Schöne an digitalen Bildern ist ja, dass sie in alle Welt übertragen werden können. Im Augenblick ist es so, dass nicht jede unserer Aufnahmen auch durch einen Radiologen ausgewertet wird. Aufnahmen, die jedoch eine Abweichung erkennen oder vermuten lassen, senden wir zur Auswertung per ftp (File Transfer Protocol, ein Netzwerkprotokoll zur Dateiübertragung, Anm. d. Red.) an einen weit entfernten Spezialisten. Kieferorthopäden könnten über solche radiologische Zentren mit nur geringem Aufwand Nutzer der neuen Technologie werden. Sicher wird es Kollegen geben, die lieber ein eigenes Gerät betreiben möchten, aber das wird mit bestimmten Anpassungen einhergehen und ich empfehle für den Einstieg zunächst die Anwendung als „Fernnutzer“, denn damit kann jeder Anwender eine Menge lernen, um später eine qualifizierte Kaufentscheidung zu treffen.

KN Denken Sie, dass die Patienten die erhöhte Strahlenbelastung einfach hinnehmen oder steht die Kieferorthopädie hier vor einem generellen Problem?

Wenn wir erst einmal nachweisen können, dass das Cone Beam CT eine bessere Versorgung gewährleistet, dann haben unsere Patienten damit sicher kein Problem. Die gleiche Situation hatten wir ja schon bei der Einbindung der Röntgentechnik in unser Fach. Es gab Kollegen, die damit gearbeitet haben und solche, die sich dagegen entschieden. Den Patienten war bewusst, dass eine Veränderung stattfand, aber als sie sahen, dass sich so die Qualität der Behandlung verbesserte, gab es auch keine Probleme bezüglich der Compliance. **KN**

ANZEIGE

tomas® de

Das komplette Verankerungssystem von Dentaurum

Neuartiger Unterschnitt
Einzigartig einfache und ligaturfreie Fixierung der KFO-Apparatur mit LC-Adhäsiv
Patent: DE 101 32 088

Slotmarkierung
Mit 4-facher Slotmarkierung zum optimalen Erkennen der Slotposition
NEU

GingiFit®
Polierter, konischer Kragen für perfekte Gingiva-Adaption ohne Quetschgefahr – die perfekte Entzündungsprophylaxe

Tiefenstopp
Maximale Sicherheit durch sichere Einhalten der geplanten Eindringtiefe

3 Längen
Ab sofort auch in 6 mm Länge erhältlich
NEU

Verschiedene Gewinde
Als selbstbohrende oder selbstschneidende Variante erhältlich – steril
NEU

Ortho-Design
Ein-Kopf im Bracketsdesign für vertrautes, kieferorthopädisches Arbeiten

Super Oberflächen Finish
Die spezielle Oberflächenbehandlung garantiert ein leichtes Entfernen am Behandlungsende

pr/Designed by Prof. Dr. Burmann

DENTAURUM

Turnstraße 31 · 75228 Espingen · Germany · Telefon +49 7231/803-0 · Fax +49 7231/803-295
www.dentaurum.de · E-Mail: info@dentaurum.de