

3D-Morphometrie am Gaumen mit einfacher Bildanalyse

Ein «spin-off» aus der Mikropaläontologie in die Medizin

Heinz Hilbrecht, Zürich, & Brigitte Graf-Pinthus, Bern

Zusammenfassung

Für die Behandlung von Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, deren gemeinsames Ziel die Herstellung einer normalen Gaumengeometrie ist. Wir haben mit Hilfe der Röntgenabsorption die Höhenvariation in Gipsabgüssen behandelter Gaumen in ein zweidimensionales Bild transformiert, die Grauwerte im Bild in Gipsdicken umgerechnet und entlang von drei Messlinien mit Hilfe eines Bildanalyse-Systems gemessen. Die Methodik wurde so gewählt, dass alle Schritte von der Bilderzeugung, der Bildanalyse und der Datenauswertung von Medizinern ohne spezielle Erfahrungen mit Bildanalyse intuitiv nachvollziehbar und in die Erfahrung mit den Patienten übertragbar sind. Die beiden untersuchten Behandlungsverfahren für Gaumenspalten liefern vergleichbare Ergebnisse, wobei eines die Behandlung der Kleinkinder deutlich früher abschliesst.

3-D Morphometry of palates with simple image analysis

A variety of methods exists for the medical treatment of cleft lips and palates, with a common goal to establish a normal geometry of the palate. Using x-ray absorption we transformed the three-dimensional height variation in gypsum casts of palates to a two-dimensional image, computed thicknesses of gypsum through correlation of gray values in the image with measured thicknesses, and measured the height variation along three lines across the palate with an image analysis system. One criterium to choose methods for image generation, image analysis, data evaluation, and presentation was to involve medical doctors without specialised experience in image analysis and morphometric data handling, who should be able to evaluate and to apply results based on their medical experience with the patients. Both analysed methods for the medical treatment of cleft lips and palates produce comparable results. One method, however, achieves its goal to cure the patients after significantly shorter time.

1 DAS MESSPROBLEM

Etwa 1,2% aller Neugeborenen werden mit unterschiedlich stark ausgebildeten Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten (LKG) geboren. In der Therapie dieser Missbildungen stehen am Anfang Kieferorthopädie und Chirurgie in unmittelbarer Zusammenarbeit. Für die chirurgische Versorgung stehen verschiedene Methoden zur Auswahl (siehe Übersichten von GRAF-PINTHUS & BETTEX, 1984a, 1984b; MALEK & PSAUME, 1984). In der vorliegenden Arbeit wurden die Ergebnisse bezüglich Gaumenform und Höhe des Gaumengewölbes einer gleichen Anzahl Fälle untersucht, die mit zwei verschiedenen chirurgischen Methoden versorgt wurden (1. Le Mesurier und Veau/Grob, 2. Malek). Das Ergebnis liegt «greifbar» dokumentiert als Gipsabguss des Gaumens vor und die Er-

folgskontrolle kann durch seine morphometrische Vermessung erfolgen.

Die morphometrischen Messungen wurden am Geologischen Institut der ETH ausgeführt. Ein Gipsabguss besteht aus einem geologisch wohl bekannten Mineral, und letztlich sind die biometrischen Probleme identisch mit denen, die bei der quantitativen Analyse von «Form» bei Fossilien auftreten. Ein «spin-off» aus der Paläontologie in die Medizin lag also nahe.

In der Arbeitsgruppe Mikropaläontologie gibt es seit einigen Jahren das Bestreben, Bildverarbeitungssysteme auf der Basis von Personal Computern für Problemlösungen in einer Vielzahl von Gebieten einzusetzen. Das Ziel liegt dabei nicht in der Entwicklung technisch anspruchsvoller Methodik. Ganz im Gegenteil, soll dabei untersucht werden, wie weit Bildanalyse als alltägliches Hilfsmittel, mit geringen

Kosten und von Benutzern mit geringer Erfahrung einsetzbar ist. Dabei hat sich gezeigt, dass Bilderzeugung und Datenauswertung Hindernisse aufwerfen, die mit geeigneten Strategien zu überwinden sind. Werden Bilder auf eine Weise erzeugt und Daten ausgewertet, die zwar alle technischen und analytischen Möglichkeiten ausschöpft, aber ausserhalb der wissenschaftlichen Erfahrung der Anwenderinnen und Anwender liegt und längere Einarbeitungszeiten erfordern, sinkt die Akzeptanz der Methode. Die Zielgruppe im vorliegenden Fall sind Mediziner/-innen. Wir haben deshalb eine Röntgentechnik zur Bilderzeugung eingesetzt, mit der Personen aus dem medizinischen Bereich besondere Erfahrungen besitzen. Für die Präsentation des Ergebnisses wurde auf einsetzbare mathematische Operationen verzichtet und die Ergebnisse graphisch dargestellt und verglichen. Die Resultate sind intuitiv verstehbar und lassen sich leicht mit der Erfahrung am Patienten verbinden.

2 BILDERZEUGUNG, BILDANALYSE, DATENAUSWERTUNG

Gewöhnliche Gaumen sind symmetrisch und relativ glatt. Gaumenspalten sind kompliziert, und die operierten Gaumen weisen eine Vielzahl von Rauigkeiten und Wülsten auf (Abb. 1). Solche unregelmässigen Formen sind geometrisch schwer zu charakterisieren. Wir haben uns deshalb dazu entschlossen, die Höhenvariation zwischen homologen Punkten bildanalytisch zu messen, die Form der Gaumen graphisch darzustellen und zu vergleichen. Als bildgebendes Verfahren bot sich Röntgen an, weil die Röntgenabsorption abhängig von der Tiefe des durchstrahlten Materials ist und die Gipsabgüsse aus einem einheitlichen und homogenen Material aufgebaut sind. Aus dem Verfahren ergibt sich, dass eine Stelle im Röntgenbild umso heller ist, je dicker die durchstrahlte Schicht ist (hohe Absorption – geringe Schwärzung des Bildes).

Da die Gipsabgüsse in der Dicke zwischen Gaumendach und Zähnen stark variieren, schien es schwierig alle Teile in einem Röntgenbild auswertbar abzubilden. Die besten Ergebnisse lieferte der für Materialprüfung bewährte Röntgenfilm AGFA Structurix D 4 vakuumverpackt in Folie, im Sandwich mit einer Verstärkerfolie. Die Verstärkerfolie erlaubt eine Reduktion der Belichtungszeit und damit auch der Streustrahlung. Als Röntengerät haben wir ein Gerät zur Materialprüfung eingesetzt (Feinfokus 0,5 μm , 1,9 mA, 70 kV, Belichtungszeit 100 sec).

Für die weitere Arbeit haben wir das Bildanalyse-System des Geologischen Instituts der ETH benutzt (Abb. 2). Es läuft

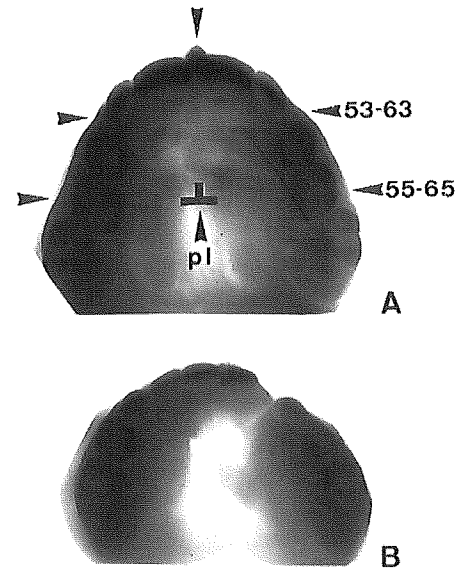


Abb. 1. Röntgenbilder vom Gipsabguss eines Oberkiefers mit Gaumenspalte. Kontaktkopien (Negativ) vom Röntgenfilm: starke Schwärzung hier im Bild, entsteht durch schwache Schwärzung des Films, also hohe Absorption und grosse Gipsdicke). Im oberen Bild (A) sind die homologen Punkte, zwischen denen die Gipsdicke gemessen wurde, markiert (Zahlen entsprechen der zahnmedizinischen Numerierung der Zähne; pl = Länge des Gaumens zwischen der Linie 55–65 bis zwischen die vorderen Schneidezähne). Das untere Bild (B) zeigt ein Beispiel für asymmetrische Deformationen und Spalten im Gaumen.

Fig. 1. Radiographs of gypsum casts of the palate. Contact copies from the original radiograph: dark parts in this image originate from bright parts in the radiograph, and hence from areas of high x-ray absorption in thick parts of the gypsum cast. The upper image (A) shows the homologous points between which the thickness of the gypsum casts was measured (numbers refer to standard numbers of teeth in dental medicine; pl = length of palate along the line between teeth 55 and 65 and front teeth). The lower image (B) is an example of asymmetric deformations and gaps in the palate.

auf einem Macintosh Quadra 700 Personal Computer. Die Bilder werden im Durchlicht auf einem Leuchttisch mit einer Video (CCD) Kamera aufgenommen und mit einem «Frame Grabber» digitalisiert. Die Bildverarbeitung für unser Problem konnten wir mit NIH-Image 1.41 ausführen. Diese Public Domain Software stammt vom «National Institute of Health» der USA und kann von einer Reihe von Servern über das Internet ohne weitere Kosten transferiert werden (zum Beispiel direkt vom NIH mit ftp oder World Wide Web: <ftp://zippy.nimh.nih.gov/pub/nih-image/>). NIH-Image zeichnet sich vor allem durch Benutzerfreundlichkeit aus. Sobald die einzelnen Arbeitsschritte am Bildanalyse-System festgelegt sind, reicht eine Einführungszeit von 30–60 Minuten aus, um einen mit der Software nicht vertrauten Benutzer zur Ausführung der Messungen zu befähigen.

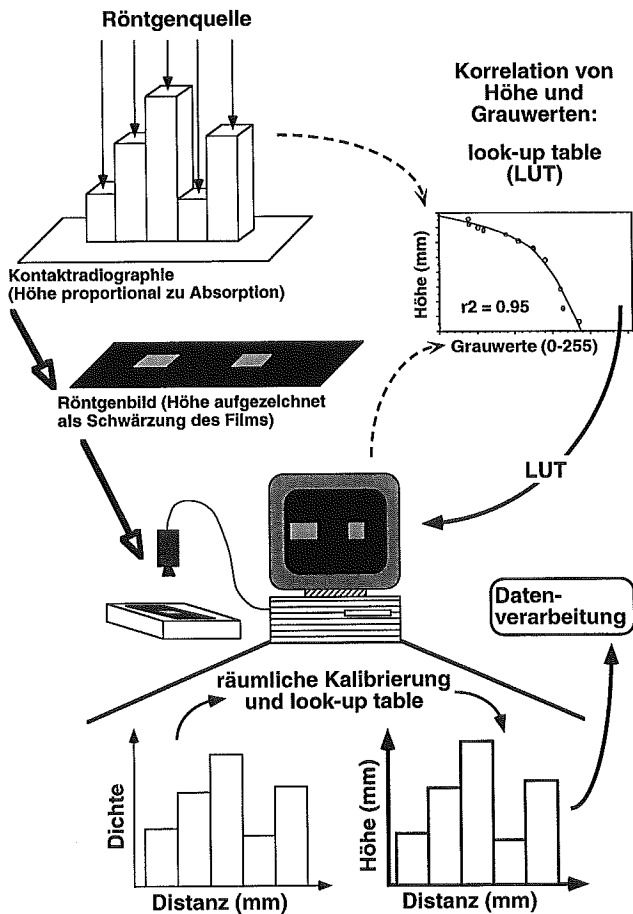


Abb. 2. Prinzip der Röntgenabsorption und Arbeitsschritte bei der Vermessung der Gipsabgüsse von Gaumen. Die Beziehung zwischen Grauwerten und Gipsdicke (oben rechts) zeigt die Originaldaten, mit denen die «Look-Up-Table» für unsere Messungen berechnet wurde.

Fig. 2. The principle of x-ray absorption and sequence of steps in morphometric characterisation of gypsum casts of the palate. The relation between gray values in the image and thickness of the gypsum at a given point (upper right) presents original data that were used to determine the «Look-Up-Table» for our measurements ($r^2 = 0,95$).

Filme reagieren nach einer Logarithmusfunktion auf zunehmende Belichtung. Die Schwärzung im Negativ ist also nicht linear abhängig von der Dicke des durchstrahlten Materials. Wir haben deshalb an zugänglichen Stellen die Dicke der Gipsabgüsse gemessen und mit den Grauwerten im digitalisierten Bild korreliert. Die Ausgleichsfunktion ($r^2 = 0,95$) ergibt eine «Look-Up Table», mit der die Software Grauwerte in den Röntgenbildern direkt in Gipsdicken umrechnet und auf dem Monitor als Bild darstellt (Abb. 2). Prinzipiell konnten wir damit Gipsdicken im kalibrierten Bereich auf 0,1 mm genau messen. Um die Höhenvariation des Gaumens zu

charakterisieren, legten wir zwischen sechs homologe Punkte im Gaumen Messlinien (Scans) der Grauwerte/Gipsdicke (Abb. 1), mit einer räumlichen Auflösung in Richtung der Messlinie von ca. 0,1 mm (9,85 Pixel/mm)¹. Im Röntgenbild zeigten sich lokal kleine Inhomogenitäten im Gips, die wir ausgleichen konnten, indem die Grauwerte bei jeder Messung über eine Breite von acht Pixeln senkrecht zur Messlinie gemittelt wurden (Abb. 3). Diese Mittelung erzeugt eine Unsicherheit von ca. 1 mm in der Lage der Messlinie. Da auch nach einer erfolgreichen Behandlung von Gaumenspalten Restdeformationen bleiben, entsteht eine deutlich grössere Unsicherheit in der Lage der Messlinie durch die variable Stellung der Zähne, die als Orientierungspunkte dienen müssen.

Als Resultat der Messungen lieferte das Bildanalyse-System in Gipsdicken umgerechnete Grauwerte im Röntgenbild, gemittelt über ca. 1 mm Breite, in Schritten von ca. 0,1 mm entlang der Messlinie. Die Daten wurden anschließend in ein Tabellenkalkulationsprogramm exportiert und jeder Scan auf eine Einheitslänge normiert, da die Gipsabgüsse von Kindern unterschiedlichen Alters stammten. Um einen «mittleren Gaumen» und seine Variabilität zu rechnen, setzten wir die Gipsdicke an der höchsten Stelle im Gaumen gleich Null (eine einfache lineare Skalerverschiebung) und konnten nun alle homologen Scans gemeinsam darstellen (Abb. 3). Indem wir nun auch die normierten Scanlängen in Einheiten von 0,1 aufteilen und Mittelwerte der Gipsdicke für diese 10 Distanzintervalle rechneten, entstand das Bild eines mittleren Gaumens, bei dem die Standardabweichungen vom Mittelwert die Reproduzierbarkeit des mittleren Behandlungsergebnisses widerspiegeln (Abb. 4). Damit waren die beiden Gaumenpopulationen vergleichbar, die jeweils nach den alternativen Operationsmethoden behandelt worden waren.

3 ERGEBNIS

Im Ergebnis stellten wir keine signifikanten Unterschiede in Höhe und Form der Gaumengewölbe fest. Bei der einen Methode (nach Malek) ist die letzte der 2–3 notwendigen Operationen im Alter von spätestens 9 Monaten fertig ausgeführt, während bei der anderen Methode die letzte Operation erst mit 2–2½ Jahren ausgeführt wird. Wir konnten also mit einer einfachen Methodik quantitativ zeigen, dass frühe Hilfe für die Kinder medizinisch vergleichbare Ergebnisse liefert,

¹ Pixel = Bildpunkt.

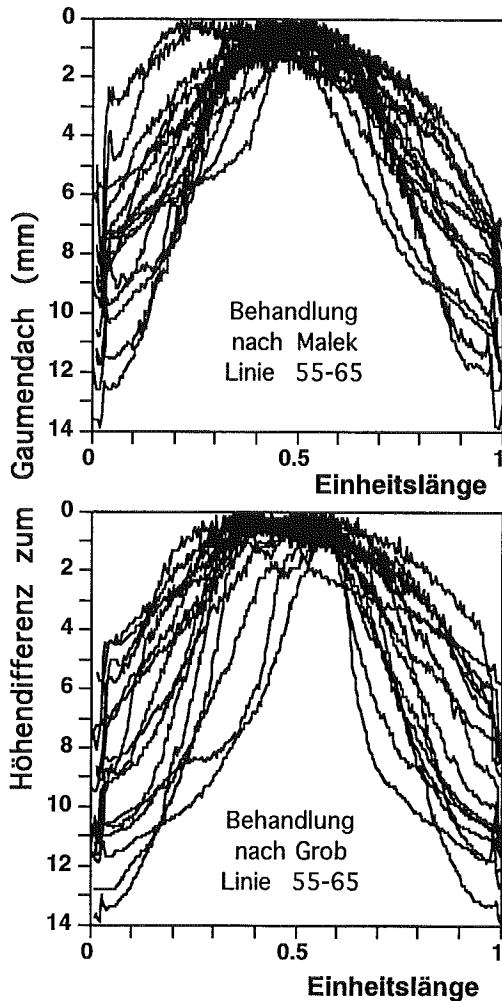


Abb. 3. Einzelmessungen der Höhenvariation von je 16 Gipsabgüssen von Gaumen, die nach einer der beiden untersuchten Methoden für die Beseitigung von Gaumenspalten behandelt wurden (Lage der Messlinie in Abb. 1).

Fig. 3. Height variation in 16 individual gypsum casts of palates that have been treated according to two different methods for the medical treatment of cleft lips and palates (line of measurements in Fig. 1).

aber Jahre der Behinderung und soziale Nachteile im Kleinkindalter erspart.

4 BEMERKUNGEN ZUR BILDANALYSE

Am Geologischen Institut der ETH Zürich wird Röntgenabsorption und Bildverarbeitung unter anderem eingesetzt, um die Eutrophierung des Zürichsees besser zu verstehen und zur Massenbestimmung und Morphometrie von Mikrofossilien

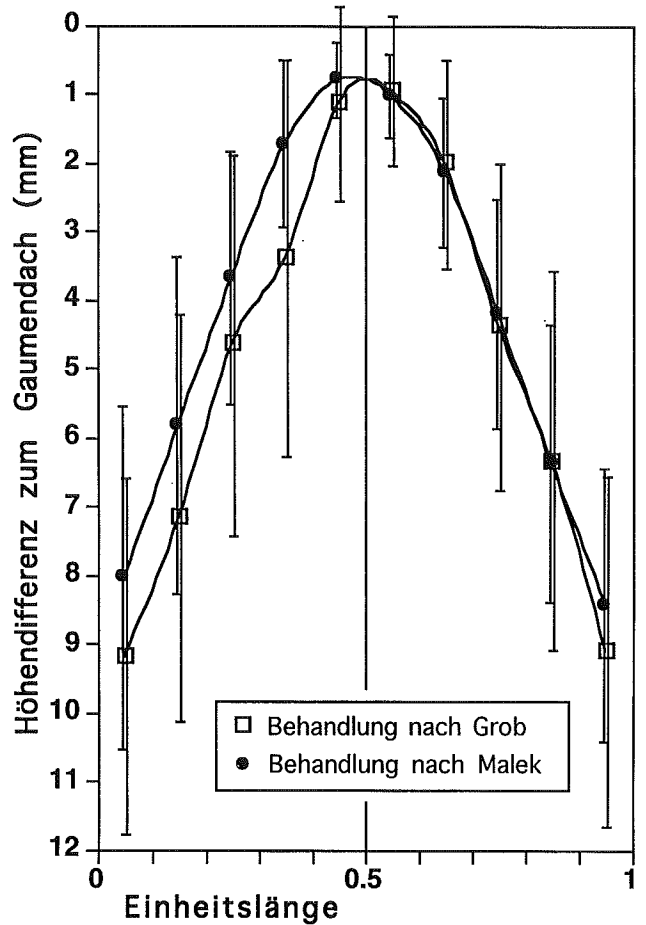


Abb. 4. «Mittlerer Gaumen» von Kindern mit Gaumenspalte, nachdem sie nach der einen oder andern der beiden untersuchten Methoden behandelt wurden. Mittelwerte und Standardabweichungen in Intervallen von 0.1 des auf 1.0 normierten Abstandes zwischen den Zähnen 55 und 65 (Abb. 1). Beide Methoden erreichen im Mittel einen symmetrischen Gaumen. Die Standardabweichungen können als Mass für die Reproduzierbarkeit des mittleren Gaumens und damit als Schätzung der Erfolgsaussichten für individuelle Patienten dienen.

Fig. 4. «Mean palate» of children with cleft lips and palates after medical treatment following two different methods. Mean values and standard deviations in intervals of 0.1 of the standardised distance (= 1.0) between teeth 55 and 65 (Fig. 1). Both methods allow to reconstruct a symmetrical palate. The standard deviations can be used as a measure for reproducibility of the mean result and to estimate the probability of success for individual patients.

(Durchmesser < 1 mm). Probleme aus anderen Fachbereichen bieten uns interessante interdisziplinäre Experimentierfelder für den Einsatz von Bildanalyse als flexible, preiswerte und überschaubare Methodik.

5 LITERATUR

GRAF-PINTHUS, B. & BETTEX, M. 1984. Coordinated team approach. Experience of the University of Berne. In: Long-term treatment in cleft lip and palate, pp. 94–137. – Hans Huber, Bern, 340 pp.

GRAF-PINTHUS, B. & BETTEX, M. 1984. Are there any reasons for changing our approach to the multidisciplinary treatment of cleft lip

and palate. In: Early treatment in cleft lip and palate, pp. 167–171. – Hans Huber, Bern, 340 pp.

MALEK, R. & PSAUME, J. 1984. A new sequence and a new technique in complete cleft lip and palate repair. In: Early treatment in cleft lip and palate, pp. 162–166. – Hans Huber, Bern, 322 pp.

Dr. Heinz Hilbrecht, Geologisches Institut, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

Dr. Brigitte Graf-Pinthus, Arbeitsgemeinschaft für Spaltkinder, Lindenhofspital Bern, Bremgartenstr. 117, CH-3012 Bern.