

HNO 2009 · 57:153–159
 DOI 10.1007/s00106-008-1816-9
 Online publiziert: 20. August 2008
 © Springer Medizin Verlag 2008

Redaktion

P.K. Plinkert, Heidelberg

G. Strauß^{1,3} · C. Spitzer³ · E. Dittrich³ · M. Hofer^{1,3} · M. Strauss² · T. Lüth²

¹ Klinik und Poliklinik für HNO-Heilkunde/Plastische Operationen, Universität Leipzig

² Lehrstuhl für Mikro- und Medizingerätetechnik, Technische Universität, München

³ BMBF-Innovation Center Computer Assisted Surgery ICCAS, Universität, Leipzig

Ein modifiziertes Verfahren zur bissschienenbasierten Patientenregistrierung für die HNO-Navigation

Fragestellung

Die Navigationsassistenz in der HNO-Chirurgie erfordert eine robuste, präzise und genaue Registrierung des Patienten. Zu diesem Zweck sind in der Vergangenheit eine Vielzahl von Registrierungsverfahren entwickelt und untersucht worden. Am weitesten verbreitet sind Methoden, bei denen an Hand von Landmarken („fiducials“) oder durch eine optische Oberflächenabtastung eine Registrierung des Kopfes erfolgt [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Die damit erreichbare Genauigkeit liegt je nach Literaturquelle zwischen 1,0 und 2,5 mm und genügt den Anforderungen der einfachen Navigation.

Beim Einsatz von navigiert-kontrollierten Instrumenten ist jedoch eine höhere Systemgenauigkeit erforderlich, da die Kompensationsleistung des Chirurgen weiter reduziert wird¹. Bisherige Anwendungen von navigiert-kontrollierten (NC-)Instrumenten sind die endonasale Nasennebenhöhlenoperation mit dem NC-Shaver und die Mastoidektomie mit der NC-Fräse [8, 9].

Als Kompromiss zwischen hoher Genauigkeit und geringer Invasivität hat sich die bissschienenbasierte Registrierung bewährt. Dabei wird durch eine form- (und

kraft)schlüssige Verbindung eine Referenz (Kalibrierkörper) am Oberkiefer angebracht und im präoperativen Datensatz abgebildet. Der Patient kann nach der Bildgebung die Bissschiene wieder abnehmen. Nach Einleitung der Narkose wird die Bissschiene in identischer Position wieder angebracht und kann zur Registrierung des Patienten genutzt werden. Der Registrierkörper, welcher die für das Navigationssystem notwendigen Referenzpunkte enthält, ist mit der Bissschiene fest verbunden und außerhalb des Mundes und der Lippen angebracht. Ein eindeutig definierter Punkt muss zur Registrierung vor Beginn der Operation mit dem navigierten Instrument angefahren werden. Mit dieser Methode lassen sich Genauigkeiten mit einer maximalen Abweichung des registrierten Instrumentes von 0,5–1,0 mm erreichen [10, 11, 12, 9].

Es gibt verschiedene Methoden zur Herstellung der Registerschiene. In den meisten Fällen handelt es sich um eine

sog. Tiefziehschiene (auch Okklusionschiene). Die notwendigen Arbeitsschritte erfordern für einen Zahntechniker einen Zeitaufwand von ungefähr 2 h. Dadurch resultieren Herstellungskosten von etwa 150 EUR und eine Abhängigkeit von Zahn Technikern und Zahnlaboren. Dieser Aufwand steht in keinem Verhältnis zur Vergütung der entsprechenden Eingriffe. Der logistische Aufwand erschwert außerdem die Vorbereitung des Patienten und erfordert in einigen Fällen einen verlängerten stationären Aufenthalt. Eine bekannte Alternative zur Herstellung im Tiefziehverfahren stellen Systeme mit Vakuumbefestigung dar [13]. Diese Systeme sind jedoch technisch aufwendig und klinisch bislang nur an wenigen Patienten eingesetzt worden.

Das Ziel dieser Studie besteht darin, eine Modifikation des bisherigen – oben beschriebenen – Goldstandards der bissschienenverankerten Registrierung des Patienten für die HNO-Navigation mit



Abb. 1 ◀ FARO-Messarm zur Bestimmung der Position der Referenzpunkte auf den Bissschienen

¹ Es handelt sich um einen sog. höheren Grad der chirurgischen Automation. Durch das automatische Abschalten des Instruments vor Erreichen der Risikostrukturen (z. B. Shaver vor Lamina papyracea) verlässt sich der HNO-Chirurg möglicherweise in höherem Maße auf das System als beim gelegentlichen Einsatz einer Navigationssonde.

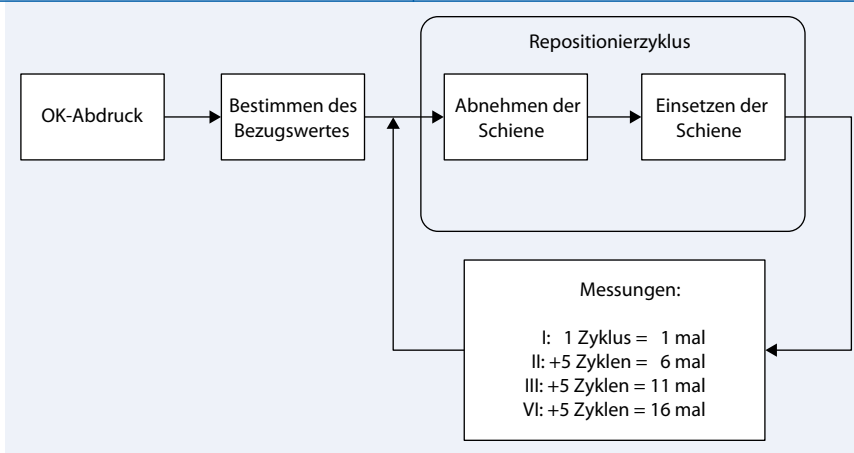


Abb. 2 ▲ Messablauf zur Bestimmung der Repositionierungsgenauigkeit der eingesetzten Abformmaterialien vs. Tiefziehschiene als Goldstandard

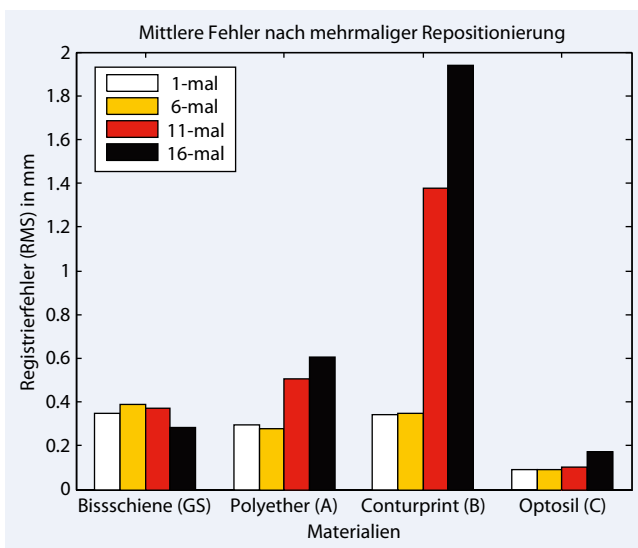


Abb. 3 ◀ Ergebnisse der Messungen zur Repositionierungsgenauigkeit der Bisschienen zur Registrierung der Patienten

NC-Systemen zu finden. In erster Linie wird dabei von der Anwendung der navigiert-kontrollierten Steuerung des Shavers bei der Nasennebenhöhlenoperation ausgegangen. Dieses Verfahren wurde 2004 in die klinische Anwendung gebracht und seitdem an über 50 Patienten eingesetzt. Die Erfahrungen zeigen, dass der Teilschritt der Patientenregistrierung verbesserungswürdig ist. Eine Modifikation der Bisschienenregistrierung sollte dafür folgende Merkmale erfüllen:

- Die Oberkieferbefestigung kann durch den HNO-Arzt angefertigt werden. Es ist keine Inanspruchnahme eines zahntechnischen Labors notwendig.
- Es resultiert eine gleiche oder bessere (Re)positionierungsgenauigkeit als beim bisherigen Goldstandard.
- Es ist ein geringerer Zeitaufwand für die Herstellung erforderlich. Die Herstellung erfolgt in einem Arbeitsgang.

- Das System ist preiswerter in der Herstellung als der bisherige Goldstandard.
- Ein neuartiges System muss eine hinreichende Ergonomie für den Patienten bieten. Die Labor-Ergebnisse müssen bei der Anwendung am Patienten nachvollziehbar sein.

Material und Methoden

Bisheriger Goldstandard

Für die Herstellung einer Tiefziehschiene wird zunächst eine Alginatabformung des Oberkiefers erstellt. Alginat ist ein Naturprodukt, welches aus der Verarbeitung von Braunalgen gewonnen wird. Die pulverähnliche Konsistenz des Alginats ändert sich beim Hinzufügen von Wasser zu einer viskosen Masse, welche mit Hil-

fe eines Abformlöffels für die Herstellung von detaillierten Zahn- und Kieferabformungen verwendet wird. Dafür muss der Abformlöffel etwa 3 min im Mund verbleiben.

Von dieser Abformung wird ein Gipsmodell erstellt. Auf diesem Gipsmodell wird die eigentliche Bisschiene im Tiefziehverfahren abgeformt. Beim Tiefziehverfahren wird eine thermoplastische Kunststoffscheibe erhitzt und durch ein Vakuum über das Gipsmodell abgeformt. Dabei ist darauf zu achten, dass Hinterschnitte im Zahnhalsbereich am Gipsmodell ausgefüllt werden, damit die erkaltete Schiene wieder vom Gipsmodell entfernt werden kann. Als Nachbearbeitung werden die Konturen verschliffen und der Sitz der Schiene am Oberkiefer des Patienten kontrolliert. Alginat kommt nicht als Direktabformmaterial zum Einsatz, da die Formstabilität nach dem Aushärten nur über einen kurzen Zeitraum (etwa 1–2 h) erhalten bleibt.

Alternative Verfahren zur oberkieferbasierten Registrierung

Alle untersuchten *alternativen* Verfahren beruhen auf dem Einsatz von Abformmaterialien in einer Abformschiene und dem *direkten* Abformen des Oberkiefers. Dadurch entfallen die Schritte der Erstellung des Gipsmodells und der Herstellung einer Tiefziehschiene. Es wurden 3 verschiedene Gebissabformmaterialien gegen dem Goldstandard Tiefziehschiene (GS) evaluiert:

- Material A: Polyether *Impregum* (Fa. 3 M, Seefeld)
- Material B: A-Silikon *Conturprint Duo* (Fa. Kaniedenta, Herford), additionsvernetzend
- Material C: C-Silikon *Optosil* (Fa. H. Kulzer GmbH, Hanau), kondensationsvernetzend

Die Materialien härten jeweils 3–4 min aus.

Bestimmung der (Re)positionierungsgenauigkeit am Phantom

Die Labor-Experimente zur erreichbaren (Re)positionierungsgenauigkeit wurden an einem voll bezahnten Oberkiefer eines

Schädelphantoms (QS 7/9-E, Fa. Somso, Coburg) durchgeführt. Die Zahnzwischenräume am Oberkiefermodell wurden ausgeblockt, um möglichst realitätsgetreue Untersuchungsbedingungen zu schaffen. Die Messungen zur (Re)positioniergenauigkeit erfolgten mit einem elektro-mechanischen Hochpräzisionsmessarm (Faro-Arm, Lake Mary, USA; **Abb. 1**). Zunächst wurde der Ausgangswert (Bezugswert) nach 2-maligem Einsetzen der Bisschiene A-C und GS bestimmt. Dies entspricht der Beanspruchung der Materialien durch folgende Arbeitsschritte:

1. Mal: direkte Kontrolle nach der Abformung,
2. Mal: Einsetzen für die Bildgebung (CT).

Die Positioniergenauigkeit wurde an 5 definierten Punkten am Abformlöffel nach jeweils 4 zusätzlichen Repositionierzyklen (An- und Aufsetzen) bestimmt. Die Repositionierzyklen simulieren die Abnutzung des Materials nach mehrmaligem Einsetzen (**Abb. 2**). Aus diesen Messwerten konnte die Abweichung der Punkte zu dem Ausgangswert berechnet werden. Um den zufällige Messfehler zu minimieren, wurde jeder Punkt der Abformung 5-mal mit dem Faro-Arm vermessen. Für die statistische Sicherheit wurden pro Material 5 Abformungen angefertigt und vermessen. Somit standen insgesamt 500 Messwerte (5 Messungen pro Punkt \times 5 Punkte \times 4 Repositionierzyklen pro Abformung \times 5 Abformungen pro Material) für jede Schiene (A-C, GS) zur Verfügung.

Um eine Gesamtaussage zur Positioniergenauigkeit zu treffen, wurde der mittlere euklidische Abstand über alle 5 definierten Messpunkte zum Bezugswert berechnet. Dies ist vergleichbar mit der Darstellung des Registrierfehlers bei der chirurgischen Navigation, wo die Güte der Registrierung des Navigationssystems mit dem bildgebenden Verfahren gemessen wird. Das bildgebende Verfahren repräsentiert den Bezugswert und die Repositionierzyklen die vergleichbaren Messungen mit dem Navigationssystem. Dabei wird der mittlere quadratische Mittelwert (engl.: RMS) angegeben. Dieser Fehler wurde zusätzlich über alle Abformungen gemittelt (**Tab. 1**).

HNO 2009 · 57:153–159 DOI 10.1007/s00106-008-1816-9
© Springer Medizin Verlag 2008

G. Strauß · C. Spitzer · E. Dittrich · M. Hofer · M. Strauss · T. Lüth Ein modifiziertes Verfahren zur bisschienenbasierten Patientenregistrierung für die HNO-Navigation

Zusammenfassung

Problemstellung. Der Einsatz von navigiert-kontrollierten Instrumenten in der HNO-Chirurgie erfordert eine robuste und genaue Registrierung des Patienten. Eine Möglichkeit ist die Registrierung des Patienten mit Hilfe einer Bisschiene im Tiefziehverfahren (Goldstandard, GS). Diese muss bisher vor der CT-Bildgebung von einem zahntechnischen Labor angefertigt werden. Die zusätzlichen Kosten und der höhere zeitliche Aufwand könnten durch den Einsatz eines Direktabdrucks vermieden werden, der vom HNO-Arzt in einem Arbeitsgang angefertigt wird.

Material und Methoden. Diese Studie untersuchte 3 alternative Abdruckmaterialien auf die erreichbare Repositioniergenauigkeit im Vergleich zum GS. Außerdem werden die ergonomischen Eigenschaften für den Patienten und den Behandler untersucht.

Ergebnisse. Die mittlere Abweichung für die Repositioniergenauigkeit nach den ersten 2 Messzyklen ist für alle 3 Materialien geringer als für den GS. Das C-Silikon Optosil erfüllt mit maximal 0,17 mm Abweichung die Vorgaben des bisherigen GS (0,28 mm). Die Bewertung der Patientenergonomie und die

Bewertung durch die Chirurgen fallen für Optosil am besten aus. Auch hinsichtlich der Materialkosten von 10 EUR im Vergleich zu über 100 EUR für den GS wird Optosil für die Anwendung am Patienten favorisiert.

Fazit. Infolge der vorliegenden Untersuchung wurde Optosil vom 01.09.2007–30.11.2007 an 6 Patienten eingesetzt. Die Abformschiene wurde vollständig in der HNO-Klinik hergestellt und während des Planungs-CT und des Eingriffs verwendet. Die resultierende Genauigkeit entsprach mit maximal 0,87 mm Abweichung am chirurgischen Instrument den Erfahrungen der vorangegangenen NC-Eingriffe. Die günstigen ergonomischen Eigenschaften für Patient und Behandler wurden bestätigt. Als Konsequenz wird an der Klinik der Autoren bis auf weiteres ausschließlich das hier geschilderte Verfahren zur bisschienenbasierten Registrierung eingesetzt.

Schlüsselwörter

Registrierung · Navigation · Autopilot · Bisschiene · Genauigkeit

Modified procedure for patient registration for navigation control instruments in ENT surgery

Abstract

Problem. Surgical navigation and navigation-controlled instruments demand a robust and precise patient registration process. For navigation in the skull, a bite-splint-based registration method has been widely applied, which had to be manufactured by dental technicians. The additional cost and time could be avoided by directly using the manufactured imprint, which is prepared by the ENT surgeon in one step.

Material and methods. This study examined the re-positioning accuracy for three silicon materials in a laboratory study with a 3D measuring device (Faro-arm) after several re-positioning cycles (simulating erosion) in comparison to the gold standard.

Results. The mean deviation after two cycles was lower for all three materials compared to the gold standard. Only C-Silikon Optosil was better than the gold standard after all cycles and with a deviation of 0.17 mm it well below that of the conventional bite-

splint (0.28 mm). The additional cost benefits of 10 € per imprint compared to the bite-splint with >100 € favor this material for clinical application.

Conclusions. As a consequence of this investigation Optosil was successfully used in 6 patients during the period from 01.09.2007 to 30.11.2007. The bite-splint was manufactured completely in the ENT department and could be used during the planning CT and surgery. The resulting accuracy corresponded to the experiences gained in previous surgery with a maximum deviation of 0.87 mm. The favorable ergonomic characteristics for patient and surgeon could be confirmed. As a result of this study this clinic now exclusively uses the procedure described in this article for bite-splint-based registration

Keywords

Surgical navigation · Registration · Autopilot · Bite-splint · Accuracy

Tab. 1 Schrittfolge für die Auswertung der Messwerte

Auswertungsschritt	Berechnung	Anzahl Messwerte pro Schiene (n=500)
1.	Mittelwert über 5 Messungen pro Punkt (5) pro Abformung (5) und pro Repositionierzyklus (4)	100
2.	Euklidischer Abstand zwischen den 5 Punkten pro Abformung (5) und pro Repositionierzyklus (4) zum Bezugswert	100
3.	RMS über alle 5 Punkte pro Abformung (5) und pro Repositionierzyklus (4)	20
4.	Mittelwert über die 5 Abformungen	4
Ergebnis	4 Werte pro Repositionierzyklus (1 für jede Schiene)	

Tab. 2 Fragen an die Probanden nach dem Einsatz der 3 untersuchten alternativen Biss-schienen zur Patientenregistrierung

Frage	Bewertung: Pro Frage können zwischen -2 Punkte (schlechte Bewertung) und +2 Punkte (beste Bewertung) vergeben werden
Sitzt die Abformung fest am Oberkiefer?	
Kann die Abformung von dem Probanden leicht aus dem Mund entfernt werden?	
Verursacht die Abformung Schmerzen?	
Bereitet die Abformung Schwierigkeiten beim Luftholen?	
Stört die Abformung beim Schlucken?	
Verursacht die Abformung einen Würgereiz?	
Stört der Geschmack der Abformung?	
Lockert sich der Sitz der Abformung nach 3-maligem Auf- und Absetzen?	

Tab. 3 Fragen an die Chirurgen nach Herstellung der 3 untersuchten alternativen Biss-schienen zur Patientenregistrierung

Frage	Bewertung: Pro Frage können zwischen -2 Punkte (schlechte Bewertung) und +2 Punkte (beste Bewertung) vergeben werden
Sitzt die Abformung fest am Oberkiefer?	
Wie gestaltet sich das Einsetzen der Abformung in den Mund?	
Behindert die Bisschiene voraussichtlich den chirurgischen Eingriff?	
Rastet die Abformung spürbar ein?	
Wie fest sitzt die Abformung nach 3-maligem Auf- und Absetzen?	

Bestimmung der Patientenergonomie

Um den Tragekomfort und eventuelle Missempfindungen (z. B. Würgereiz) bei der Anwendung der untersuchten Alternativverfahren zur Tiefziehschiene zu erfassen, wurde jedes der 3 Verfahren A–C an jeweils 10 Probanden eingesetzt. Es handelte sich um gesunde, voll bezahnte Probanden. Nach Herstellung der navigationstauglichen Bisschiene wurden 8 Eigenschaften abgefragt. Dabei konn-

ten zwischen -20 (schlechteste Bewertung) und +20 (beste Bewertung) Punkte vergeben werden. Die Ergebnisse wurden mit den vorliegenden Angaben von Patienten zur Tiefziehschiene² verglichen (Tab. 2).

² Es lagen Bewertungen von 22 Patienten vor, bei denen die Tiefziehschiene eingesetzt worden war. Die Bewertung umfasst alle Herstellungsschritte, die für eine patientenindividuelle Tiefziehschiene notwendig sind.

Bestimmung der Behandlerergonomie

Die Abformungen wurden durch 2 HNO-Chirurgen durchgeführt und bewertet. Dabei wurden auch subjektive Einschätzungen zur Robustheit und Genauigkeit erfasst (Tab. 3).

Ergebnisse

(Re)positionierungsgenauigkeit am Phantom

Die Tiefziehschiene (Goldstandard, GS) zeigt nach dem 1. Messzyklus eine Abweichung von 0,35 mm. Über die weiteren 3 Zyklen zeigt sie eine annähernd gleiche (Re)positionierungsgenauigkeit (Abb. 3).

Alle getesteten alternativen Verfahren und Materialien zeigten nach der 1. Messreihe (entspricht dem Wiedereinsetzen des Abdrucks im OP) mit A=0,29 mm, B=0,34 mm, C=0,08 mm eine geringere Abweichung als GS. Auch in der 2. Messung konnte bei allen Alternativmaterialien eine geringere mittlere Abweichung als bei GS gemessen werden. Nach einer höheren Beanspruchung der Materialien (Messung 3 und 4) konnte bei Material A und B ein sprunghafter Anstieg auf 0,5 und 0,6 bzw. 1,4 und 1,9 mm Abweichung gemessen werden. Bei Material C trat erst nach der höchsten Beanspruchung eine Vergrößerung der Abweichung um das Doppelte auf, blieb aber mit maximal 0,17 mm unter dem der Kunststoffschiene (0,28 mm) (Abb. 3).

Patientenergonomie

Der Sitz der Abformung wird von den Probanden für Material C (Optosil) im Vergleich mit den Alternativen A, B und dem Goldstandard am besten bewertet (Abb. 4). Die Angaben zum Goldstandard im Folgenden wurden aus 22 Anwendungen der Tiefziehschiene am Patienten gemittelt und mit den Vergleichswerten korreliert. Das Entfernen der Abformung wird aufgrund der stärkeren Aushärtung und Formschlüssigkeit für Material C am schlechtesten bewertet. In diesem Kriterium sind die Ergebnisse für den Goldstandard am besten (Abb. 5). Schmerzen bei der Abformung werden nur in einem

Fall für das Material B (Conturprint) angegeben. Schwierigkeiten beim Luftholen oder Schlucken werden bei allen Materialien nur vereinzelt und ähnlich wie die Bewertung des Goldstandards angegeben. Der Würgereiz wird für das Material C (Optosil) im Vergleich mit den Alternativen A, B und dem Goldstandard geringer bewertet (■ **Abb. 6**). Ein störender Geschmack während der Abformung wird nur für Material A (Polyether) angegeben. Die subjektiv empfundene Festigkeit der Verbindung zum Oberkiefer und die Passgenauigkeit nach 3-maligen Ab- und Wiederaufsetzen wird für Material C (Optosil) im Vergleich mit den Alternativen A, B und dem Goldstandard am besten bewertet (■ **Abb. 7**).

Behandlerergonomie

Die Behandler beurteilen die initiale Passgenauigkeit des Abformmaterials C ähnlich gut wie die Probanden und damit im Vergleich mit den Alternativen A, B und dem Goldstandard am besten (■ **Abb. 8**).

Bei der Beurteilung des Einsetzens der Abformung in den Mund des Patienten schnitt ebenfalls Material C am besten ab (■ **Abb. 9**). Ein Einrasten der Abformung als Zeichen einer hohen Passgenauigkeit war in allen 30 Versuchen mit allen untersuchten Materialien spürbar. Die resultierenden Platzverhältnisse nach Einsetzen der Abformung in Kombination mit dem Navigationsbogen wurden für einen endonasalen Zugang als ausreichend eingeschätzt. Nennenswerte Differenzen zwischen den untersuchten Materialien traten nicht auf (■ **Abb. 10**). Die Festigkeit der Verbindung zum Oberkiefer und die Passgenauigkeit nach 3-maligem Ab- und Wiederaufsetzen wird für Material C (Optosil) und dem Goldstandard (Tiefziehschiene) gleich gut und im Vergleich mit den Alternativen A, B besser bewertet (■ **Abb. 11**).

Schlussfolgerungen

Alle 3 alternativen Materialien erzielten in den ersten 2 Repositionierzyklen bessere

Ergebnisse als der Goldstandard Tiefziehschiene. Nach höherer Beanspruchung zeigt sich eine sprunghafte Abweichung für Material A und B. Material C bleibt auch hier unter den Vorgaben des Goldstandards. Die Bewertung der Patientenergonomie fällt für Material C ebenfalls am besten aus: geringer Würgereiz, neutraler Geschmack, subjektiv beste Passgenauigkeit initial und nach 3 Repositionierungszyklen. Einzig das Entfernen der initialen Abformung wird etwas schlechter als die sonstigen untersuchten Materialien bewertet. Dies sollte in Zukunft durch Verwendung eines geeigneten Gleitmittels verbessert werden können.

Die Bewertungen der Behandler/Chirurgen stützen den Vorteil von Material C gegenüber allen anderen untersuchten Materialien, einschließlich des bisherigen Goldstandards. Unter Einbeziehung der genannten Eigenschaften bei der Untersuchung im Labor, der Anwendung am Probanden und den Materialkosten von 17 EUR für Material A, 8 EUR für Material B und 10 EUR für Material C wird Opto-

Hier steht eine Anzeige.

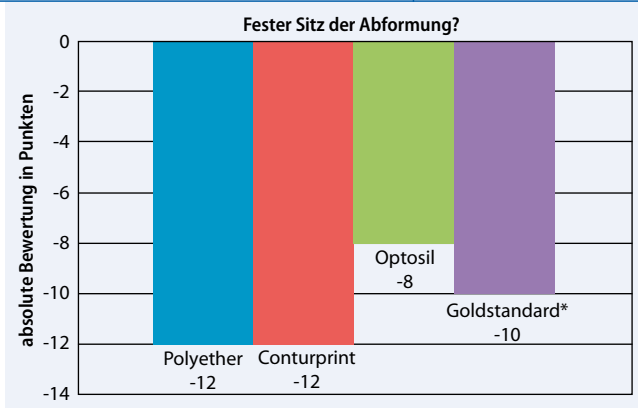


Abb. 4 ▲ Beurteilung des Sitzes der Abformung durch die Probanden

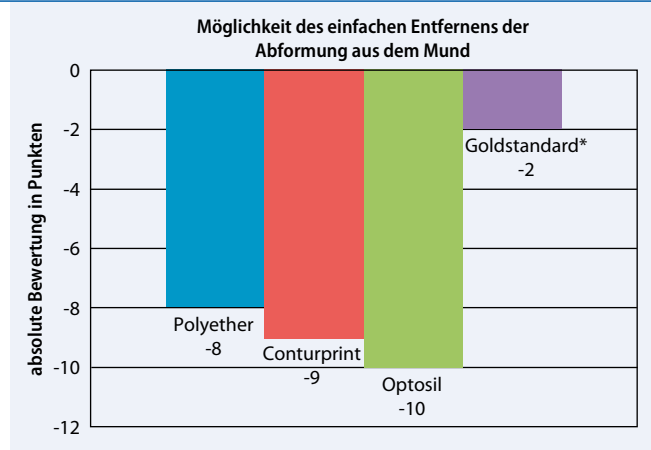


Abb. 5 ▲ Beurteilung des Entfernens der Abformung durch die Probanden

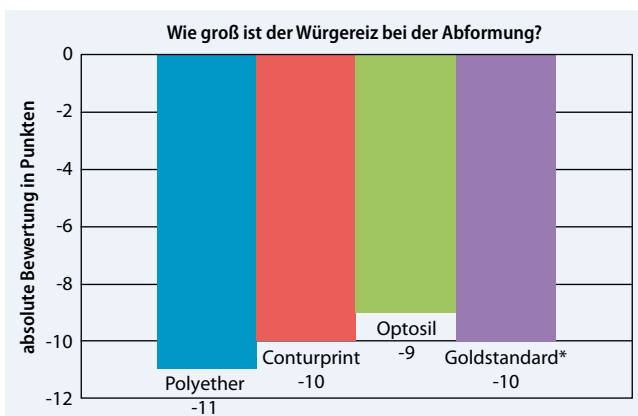


Abb. 6 ▲ Beurteilung des resultierenden Würgereizes bei der Abformung/ Wiedereinsetzen der Abformung

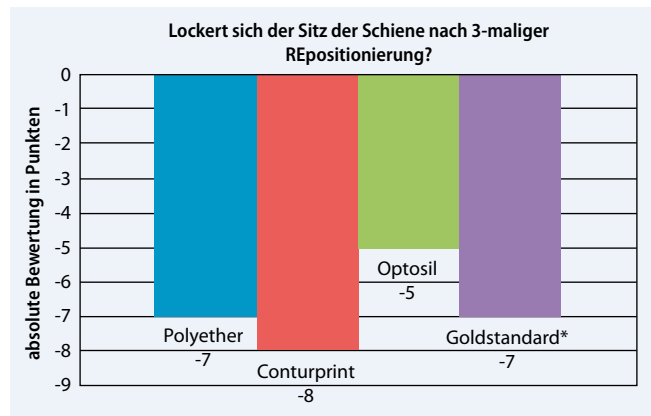


Abb. 7 ▲ Beurteilung der Passgenauigkeit und der Festigkeit der Verbindung zum Oberkiefer nach 3-maligen Ab- und Wiederaufsetzen der Abformung durch die Probanden

sil für die Anwendung am Patienten favorisiert. Durch diese Modifikation der bisschienenbasierten Registrierung können die Arbeitsschritte für den klinischen Alltag reduziert werden. Die Notwendigkeit eines Abdrucks im Zahnlabor entfällt. Stattdessen kann der HNO-Chirurg kurz vor dem geplanten CT dem Patienten die Bisschiene anpassen und nach einer Trocknungszeit von 4 min wieder herausnehmen.

Als Konsequenz der vorliegenden Untersuchung wurde das Material Optosil vom 01.09.2007–30.11.2007 an insgesamt 6 Patienten erfolgreich eingesetzt. Dabei wurde die Abformschiene vollständig in der HNO-Klinik hergestellt. Sie konnte während des Planungs-CT und des Eingriffs (FESS mit navigiert-kontrolliertem Shaver) verwendet werden. Die resultierende Genauigkeit entsprach mit maximal 0,87 mm Abweichung den Erfahrungen der vorangegangenen NC-Eingriffe. Die

günstigen ergonomischen Eigenschaften für Patient und Behandler konnten bestätigt werden.

Fazit

Die vorliegende Studie zeigt die Eignung einer alternativen Befestigung der Registrationsvorrichtung am bezahnten Oberkiefer für die Navigation in der HNO-Chirurgie. Als favorisiertes Material für die Verbindung zwischen Oberkiefer und Bisschiene hat sich das C-Silikon Optosil herausgestellt. Alle eingangs formulierten Bedingungen konnten erfüllt werden. Als Konsequenz wird an der Klinik der Autoren bis auf weiteres ausschließlich das neuartige und hier geschilderte Verfahren zur bisschienenbasierten Registrierung eingesetzt.

Korrespondenzadresse

PD Dr. G. Strauß

Klinik und Poliklinik für HNO-Heilkunde/Plastische Operationen, Universität Leipzig
Liebigstraße 18a, 04103 Leipzig
Gero.Strauss@medizin.uni-leipzig.de

Förderung und Sponsoren. Diese Arbeit wird durch Mittel des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (ICCAS) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im SPP Medizinische Navigation und Robotik (DI 1404/1–1, AO 523290) unterstützt. Die Arbeit ist Teil der Entwicklung des „Storz Surgical Cockpit“. Die Fa. Karl Storz GmbH&Co. KG, Tuttlingen, stellte die chirurgischen Systeme und technische Unterstützung zur Verfügung.

Literatur

- Grevers G, Leunig A, Klemens A, Hagedorn H (2002) Computerassistierte Chirurgie der Nasennebenhöhlen-Technologie und klinische Erfahrungen mit dem Vector-Vision-Compact-System an 102 Patienten. Laryngorhinologie 81: 476–483

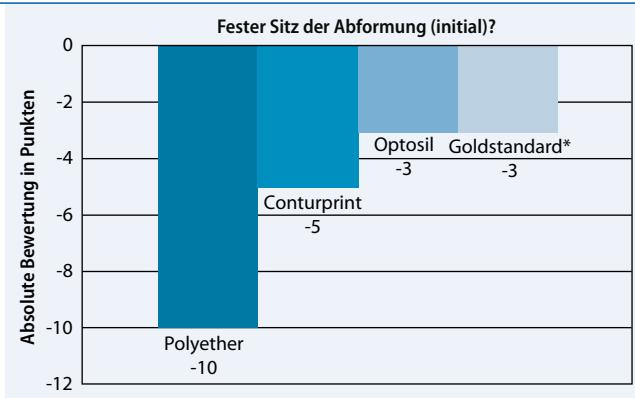


Abb. 8 ▲ Beurteilung des Sitzes der Abformung durch die Chirurgen

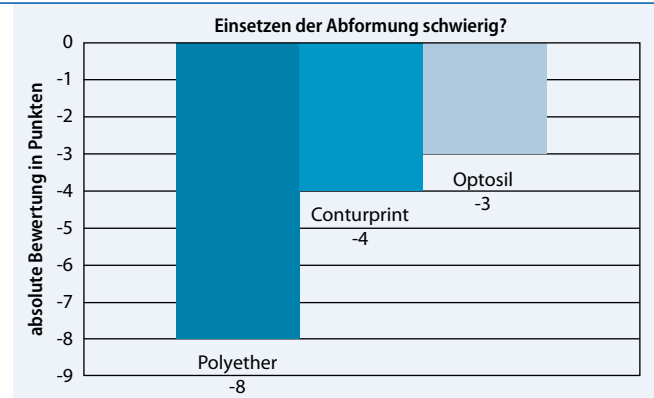


Abb. 9 ▲ Beurteilung des Einsetzens der Abformung durch die Chirurgen

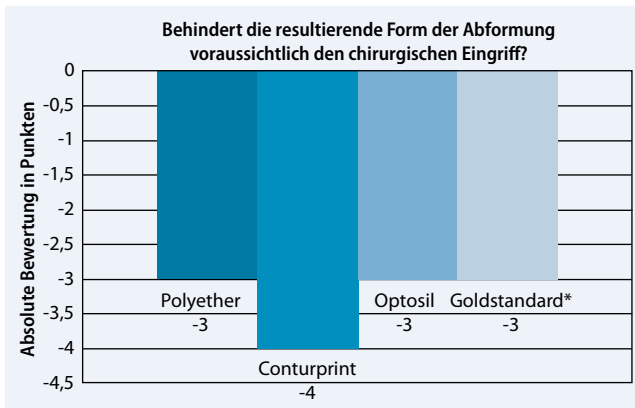


Abb. 10 ▲ Beurteilung der resultierenden Platzverhältnisse bei endonasalem Zugang nach Einsetzen der Abformung durch die Chirurgen

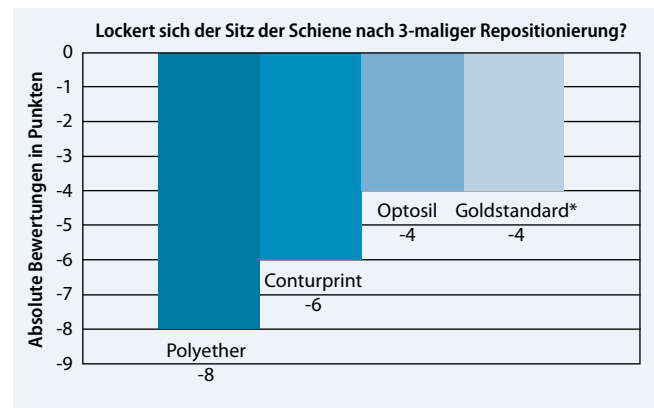


Abb. 11 ▲ Beurteilung der Passgenauigkeit und der Festigkeit der Verbindung zum Oberkiefer nach 3-maligem Ab- und Wiederaufsetzen der Abformung durch die Chirurgen

- Arapakis I, Hubbe U, Maier W et al. (2005) LED-Autoregistrierung in der navigierten endonasalen Nasennebenhöhlenchirurgie. *Laryngorhinootologie* 84: 418–425
- Amin DV, Kanade T, DiGioia AM 3rd, Jaramaz B (2003) Ultrasound registration of the bone surface for surgical navigation. *Comput Aided Surg* 8: 1–16
- Schipper J, Maier W, Berlis A, Ridder GJ (2005) Computerassistierte Chirurgie (CAS) zur optimalen Behandlung der kraniofazialen fibrösen Dysplasie. *HNO* 53: 766–772
- Zizelmann C, Schramm A, Schon R et al. (2005) Computerassistierte Verfahren in der rekonstruktiven funktionserhaltenden Orbitachirurgie. Neue Möglichkeiten der computerassistierten präoperativen Planungschirurgie (CAPP) und der computerassistierten Chirurgie (CAS). *HNO* 53: 428–438
- Khan M, Ecke U, Mann WJ (2003) Der Einsatz eines optischen Navigationssystem in der Nasennebenhöhlenchirurgie. *HNO* 51: 209–215
- Ecke U, Khan M, Maurer J et al. (2002) Intraoperative Navigation in der Chirurgie der Nasennebenhöhlen und der vorderen Schädelbasis. Fehlerquellen und Störfaktoren. *HNO* 50: 928–934
- Strauss G, Koulechov K, Richter R et al. (2005) Navigated Control: Ein neues Konzept für die Computer-Assistierte-HNO-Chirurgie. *Laryngorhinootologie* 84: 567–576
- Strauss G, Koulechov K, Hofer M et al. (2007) The navigation-controlled drill in temporal bone surgery: a feasibility study. *Laryngoscope* 117: 434–441
- Widmann G, Widmann R, Widmann E et al. (2005) In vitro accuracy of a novel registration and targeting technique for image-guided template production. *Clin Oral Implants Res* 16: 502–508
- Labadie RF, Shah RJ, Harris SS et al. (2004) Submillimetric target-registration error using a novel, non-invasive fiducial system for image-guided otologic surgery. *Comput Aided Surg* 9: 145–153
- Widmann G, Bale RJ (2006) Accuracy in computer-aided implant surgery – a review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 21: 305–313
- Bale RJ, Voge M, Freysinger W et al. (1997) Minimally invasive head holder to improve the performance of frameless stereotactic surgery. *Laryngoscope* 107: 373–377