

F. Petschelt¹, M. Millian¹, T. Kraußeneck¹

Untersuchung zur Genauigkeit von Implantatschablonen

Analysis of the precision of implant templates

Zielsetzung: Ziel dieser Arbeit ist es, die Genauigkeit der Bohrungen von Implantat-OP-Schablonen, die nach DVT-Datensatz mittels einer geeigneten Planungssoftware ausgearbeitet wurden, zu evaluieren.

Material und Methoden: Dazu wurden insgesamt 40 Schablonen untersucht, die alle vorher im klinischen Einsatz waren und eine erfolgreiche Behandlung ermöglicht hatten. 17 der in dieser Studie analysierten Schablonen wurden mit dem Med3D-Programm (C. Hafner GmbH, Pforzheim), 23 Schablonen mit der ExpertEase-Software der Firma Dentsply Friadent GmbH gefertigt. Als DVT diente das Scanora-Soredex-Gerät. Mithilfe einer individuell hergestellten Apparatur wurden vergleichende Messungen am Gipsmodell mit Silikon-schlüssel vorgenommen. Bei jeder Schablone wurden 3 Bohrungen von je 3 verschiedenen Personen durchgeführt. Die daraus resultierenden Daten konnten im Submillimeterbereich verglichen werden.

Ergebnisse: Es stellten sich maximale Abweichungen von 2,0 mm in der transversal-horizontalen und maximale Abweichungen von 1,0 mm in der vertikalen Dimension dar. Deutlich weniger Abweichungen mit genaueren Positionen ergaben sich bei der ExpertEase-Version im Gegensatz zum Med3D-gestützten Vorgehen. Bei unseren Vergleichen der Messwerte waren keine bemerkenswerten Unterschiede zwischen der Bohrungs-genauigkeit eines routinierten Implantologen oder einer Assistenzperson ohne jegliche praktische Erfahrung am Patienten festzustellen.

Schlussfolgerung: Bei Berücksichtigung der implantologischen Grundprinzipien und dem Einsatz einer Planungssoftware mit schablonengeführter Operation ist ein exaktes Setzen der Implantate im Submillimeterbereich, auch unter höchsten Ansprüchen, möglich.

Schlüsselwörter: Rechnergestützte Implantologie; DVT; 3D-Navigation; Implantatschablonen; Genauigkeit; Bohrhülsen

Zitierweise

Petschelt F, Millian M, Kraußeneck T: Untersuchung zur Genauigkeit von Implantatschablonen. *Z Zahnärztl Implantol* 2013;29:58–69.

DOI 10.3238/ZZI.2013.0058–0069

Aim: The aim of this study was to evaluate the precision of holes drilled in implant templates, which were analyzed with cone beam computed tomography (CBCT) using suitable planning software.

Material and methods: 40 templates that had been used clinically to enable successful treatment were studied. 17 of the analyzed templates were fabricated with the Med3D program (C. Hafner GmbH, Pforzheim) and 23 templates were made with the ExpertEase software of Dentsply Friadent GmbH. The Scanora Soredex was used for CBCT. Comparative measurements were made on a plaster model with silicone key using an individually fabricated appliance. 3 holes were drilled in each template by 3 different persons. The resulting data were compared to within less than a millimeter.

Results: Maximum deviations of 2.0 mm in the horizontal dimension and 1.0 mm in the vertical dimension were found. Much smaller deviations with more precise positions were found with the ExpertEase version compared with the Med3D-assisted procedure.

There were no significant differences in drilling precision between an experienced implantologist and a dental nurse without any practical experience on patients.

Conclusion: With observation of the basic principles of implantology and use of planning software for template-guided surgery, exact implant placement to within less than a millimeter is possible, even in the most demanding situations.

Keywords: Computer-aided implantology; CBCT; 3D navigation; implant templates; precision; drilling sleeves

Citation

Petschelt F, Millian M, Kraußeneck T: Analysis of the Precision of Implant Templates. *Z Zahnärztl Implantol* 2013;29:58–69.

DOI 10.3238/ZZI.2013.0058–0069

¹ Zahnärztliche Gemeinschaftspraxis, Lauf

¹ Zahnärztliche Gemeinschaftspraxis, Lauf
Übersetzung: LinguaDent

Einleitung

Die Implantattherapie ist immer Bestandteil eines Gesamt-sanierungskonzepts. Gute präoperative Planung ist unerlässlich, um dem ästhetischen und funktionellen Anspruch an implantatgetragene Prothetik gerecht zu werden [6, 8, 20].

Die Integration der implantatbezogenen diagnostischen, planerischen und operativen Abläufe in dieses Gesamtkonzept sollte daher, siehe Leitlinien der DGZMK, sehr sorgfältig bedacht werden.

Die Daten des DVT-Röntgengeräts werden in die Planungssoftware importiert und die Implantate virtuell gesetzt. Implantatlängen und -durchmesser sind herstellerspezifisch frei wählbar und können dem Knochen angepasst werden [2, 7]. Eine geeignete Software ermöglicht es, die Implantatpositionen an den wichtigen anatomischen Strukturen in der Axial-, Sagittal- und Querschnittsansicht zu analysieren und auszurichten. Die gewohnte Panoramaschichtdarstellung sowie die dreidimensionale Rekonstruktion dienen der Veranschaulichung der Planungsergebnisse. Der Verlauf des N. alveolaris inferior wird z. B. semiautomatisch durch den Anwender eingegeben und ist so realistisch darstellbar. Die Führungsmutterhülsen der Schablonen werden kalibriert, um die unterschiedlichen Bohrer im Operationssitus mit den zu wechselnden Hülsen genau zu führen [10, 11].

Für die navigierte dreidimensionale Implantologie sind schon früh verschiedene Vorgehensweisen definiert worden. Nicht zuletzt durch die Einführung von Sofortversorgungen mit Sofortbelastung und die Entwicklungen in der digitalen Volumetomographie sind die Möglichkeiten der navigierten, dreidimensionalen Technik weit fortgeschritten und werden allgemein hoch geschätzt. [9, 20] Eine Röntgenschablone ist unverzichtbar für das sogenannte Backward Planning und damit essentiell für eine fundierte und ausgereifte Implantatplanung [13]. Die Scanschablone ist der Schlüssel zum Erfolg, denn für die Darstellung der Gegebenheiten im Mund ist in jedem Softwareprogramm zunächst eine Abbildung der funktionellen Zahnreihen mit der Einarbeitung der erzielbaren prothetischen Rehabilitation notwendig. Nur durch eine nach bestimmten Kriterien hergestellte Röntgenschablone können die Software und ihre speziellen Funktionen optimal genutzt werden.

Man unterscheidet bei den Schablonen-Herstellungsverfahren die Stereolithographie und die modellbasierte Implantatschablone, was jedoch auf die Scanschablone selbst keinen Einfluss hat [2, 5, 8, 11]. Sie muss ohnehin bei fast allen Systemen einen röntgenopaken Teil mit einer prothetischen Komponente besitzen.

Das Programm von Dentsply Friadent, eine Weiterentwicklung des Simplant Systems (Firma Materialise, Leuven, Belgien), ermöglicht es durch die optische Umwandlung des Situs in das Programm, die Röntgenschablone zu fertigen [2, 16, 17].

Die Röntgenschablone bei Med3D – mit dem bekannten Legostein – wird im zahntechnischen Labor von der Röntgenschablone zur späteren OP-Schablone durch ein entsprechendes Kalibriersystem umgearbeitet.

Die Entscheidung, navigiert zu implantieren, zieht bei den von uns verwendeten Systemen grundsätzlich eine enge Zusammenarbeit mit dem Planungszentrum bzw. dem Labor nach sich. Hier liegt eine Chance, durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit ein optimales Ergebnis zu erreichen.

Introduction

Implant therapy always forms part of an overall restorative concept. Good preoperative planning is essential to meet the aesthetic and functional demands of implant-borne restorations [6, 8, 20].

Integration of implant-related diagnosis, planning and surgery in this overall concept should therefore be considered carefully, in accordance with DGZMK guidelines.

Radiographic imaging data are imported into the planning software and the implants are placed virtually. There is a wide choice of implant lengths and diameters from different manufacturers and these can be fitted to the bone [2, 7]. Suitable software enables the implant positions in the important anatomical structures to be analyzed and aligned in the axial, sagittal and horizontal dimensions. The usual tomographic views and three-dimensional reconstruction illustrate the planning results. The course of the inferior alveolar nerve, for example, is entered semi-automatically by the user so it can be shown realistically. The guide sleeves of the templates are calibrated so that the different drills can be passed precisely with the exchangeable sleeves [10, 11].

Various procedures for navigated three-dimensional implantology were defined at an early stage. Not least with the introduction of immediate restoration with immediate loading and with the major advances in digital volume tomography, the possibilities of the navigated three-dimensional technique have expanded greatly and are generally highly regarded. [9, 20] An X-ray template is indispensable for backward planning and therefore for well-founded and advanced implant planning [13]. The scan template is the key to success as initial illustration of the functional dental arches incorporating the achievable prosthetic rehabilitation is necessary in every software program to show the situation in the mouth. The software and its special functions can be used optimally only with an X-ray template produced in accordance with certain criteria.

When producing a template, a distinction is made between stereolithography and the model-based implant template, though this has no influence on the actual scan template [2, 5, 8, 11]. In nearly all systems, it must have a radiopaque section with a prosthetic component.

The Dentsply Friadent system, a development of the Simplant system (Materialise, Leuven, Belgium), enables the X-ray template to be produced by optical conversion of the site into the program [2, 16, 17].

The Med3D X-ray template, with the familiar Lego brick, is converted in the dental laboratory from the X-ray template to the subsequent operation template by a suitable calibration system.

With the systems we use, the decision to implant using navigation involves close collaboration with the planning center or laboratory. This provides an opportunity of achieving an optimal result through interdisciplinary collaboration.

Precision depends on the accuracy of transfer from the scan template to the operation template and this is the key to success.

There are several sources of error. Inaccuracy due to conversion of the CT data during production can impair the subsequent fit of the drilling template [14]. Despite precise radio-



Abbildung 1a Modelle mit Silikon­schlüssel: Auswahl diverser untersuchter Modelle mit eingesetzter Schablone und fixiertem Silikon­schlüssel zur Aufnahme der Bohrung.

Figure 1a Models with silicone keys: some of the models with incorporated template and fixed silicone key before drilling.

Von der Genauigkeit der Übertragung der Scanschablone auf die OP-Schablone hängt die Präzision ab: der Schlüssel zum Erfolg.

Es sind mehrere Fehlerquellen vorhanden. Eine Ungenauigkeit durch die Konvertierung der CT-Daten bei der Herstellung kann den späteren Sitz der Bohrschablone verschlechtern [14]. Genauso kann trotz einer präzisen röntgenologischen Aufnahme ein Bohrerspiel in den Hülsen der Bohrschablonen auftreten. Während die aufgeführten Parameter in verschiedenen Applikationen untersucht werden [2, 3, 5, 7, 10, 16, 17, 19, 20, 21], sind Untersuchungen, wie genau durch das hülsengeführte Bohren überhaupt gebohrt werden kann, nicht bekannt. Dieser Fragestellung soll in dieser Arbeit nachgegangen werden.

Die intraoperative Befestigung der Bohrschablonen ist abhängig von der vorhandenen Restbezaehlung und vom geplanten chirurgischen Vorgehen. Hierbei sind zahngetragene, schleimhautgetragene und knochengetragene Schablonen möglich [8, 11]. In den untersuchten Fällen kamen für die Analyse ausschließlich zahngetragene Schablonen, die als am genauesten einzustufen sind, zum Einsatz.

Man nutzt bei der geführten Implantologie die dentale Digitale Volumentomographie (DVT). Für die Fragestellungen ermöglicht sie eine deutlich aussagekräftigere Auswertung im Vergleich zu klassischen zweidimensionalen Verfahren. Neben dem Einblick in die dritte Dimension, die eine exakte Orientierung im Raum überhaupt erst ermöglicht, besteht ein großer Vorteil der DVT in der verzerrungsfreien Darstellung des Volumens [14, 15, 19]. Die gewonnenen Daten werden durch den bekannten Dicomdatenexport an die entsprechende Planungssoftware übertragen. Die Planungssoftware (ExpertEase, Med3D) kann die damit importierten Daten umrechnen. Hierbei bietet die Übertragungssprache „Dicom“ die Grundlage [8, 11, 14].

Zielsetzung: Durch Bohrungen von 3 verschiedenen Personen, die alle die exakt gleiche Vorgehensweise mit identischen Unterlagen bzw. Schablonen hatten, soll untersucht werden, wie genau eine Bohrung mit den bei navigierter Implantation zur Verfügung stehenden Hülsensystemen überhaupt ausgeführt werden kann.

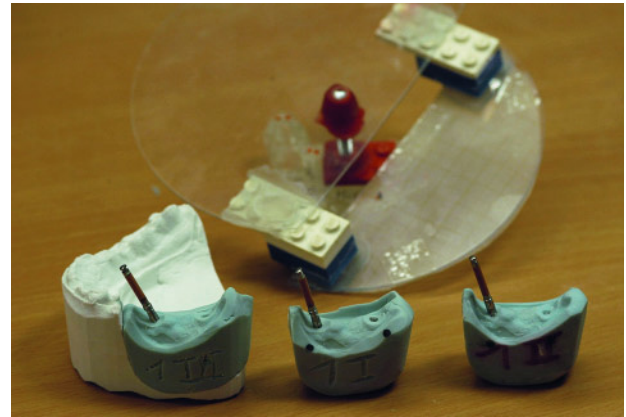


Abbildung 1b Drei identische Silikon­schlüssel mit eingeführtem Bohrer zur Untersuchung der Med3D-gestützten Bohrung und abgenommener Messapparatur.

Figure 1b Three identical silicone keys with twist drill inserted to examine Med3D-assisted drilling and removed measuring appliance.

graphs, drill play can arise in the drill template sleeves. While these parameters have been investigated in different applications [2, 3, 5, 7, 10, 16, 17, 19, 20, 21], there are no known investigations of how accurate drilling through sleeves can be. This question is addressed in this study.

Intraoperative fixing of drilling templates depends on the residual dentition and the planned surgical procedure. Tooth-supported, mucosa-supported and bone-supported templates are possible [8, 11]. In the cases studies, tooth-supported templates, which are regarded as the most accurate, were used exclusively for analysis.

Dental digital volume tomography (CBCT) is used in guided implantology. This allows much more reliable analysis compared with classical two-dimensional methods. Apart from the three-dimensional view, which allows exact orientation in space, a major advantage of CBCT is the undistorted representation of the volume [14, 15, 19]. The data obtained are transferred to the corresponding planning software by the familiar DICOM data export. The planning software (ExpertEase, Med3D) can convert the imported data on the basis of the DICOM transfer language [8, 11, 14].

Objective: The aim of the study was to investigate how accurately drilling can be performed with the sleeve systems available for navigated implantation by means of holes drilled by 3 different persons following exactly the same procedure with identical templates.

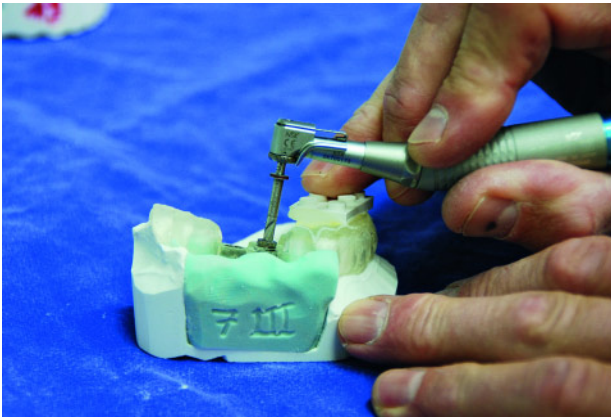


Abbildung 2a Bohrungen durch 3 Personen ExpertEase: Beispiel einer Bohrung durch eine Person mit ExpertEase-gestützter Schablone und 3 mm Spiralbohrer, 18 mm Länge.

Figure 2a Drilling by 3 persons using ExpertEase: example of a hole drilled by one person with an ExpertEase template and 3 mm twist drill, length 18 mm



Abbildung 2b Bohrungen durch 3 Personen Med3D: Beispiel einer Bohrung durch eine Person mit ExpertEase-gestützter Schablone und 3 mm Spiralbohrer, 18 mm Länge.

Figure 2b Drilling by 3 persons using Med3D: example of a hole drilled by one person with a Med3D template and 3 mm twist drill, length 18 mm

Material und Methode

In die Studie wurden insgesamt 40 Schablonen einbezogen. Alle waren vorher im klinischen Einsatz am Menschen und wurden im Sinne der schablonengeführten, navigierten Implantologie erfolgreich eingesetzt. 17 Schablonen wurden mit der Med3D-Planungssoftware, 23 mit dem ExpertEase-System hergestellt.

Mithilfe aller Schablonen wurde vom selben Zahntechnikermeister ein Gipsmodell der betroffenen Situation hergestellt. Der einwandfreie Sitz der Schablone auf dem Modell ist gesichert, da das Gipsmodell nach der OP-Schablone – und nicht umgekehrt – angefertigt wurde.

Im Bereich der Bohrhülsen wurde der Gips ausgespart und für jede Schablone wurden 3 absolut identische Silikonschlüssel, die sicher im Gipsmodell positioniert werden konnten und austauschbar waren, hergestellt (Abb. 1a und 1b). In diese Silikonschlüssel wurde gebohrt und diese Bohrkavitäten wurden später vermessen. Für jede Bohrung jeder Person wurde ein neuer Silikonschlüssel eingesetzt. Alle Bohrungen erfolgten durch dieselben 3 Personen. Davon waren 2 Personen erfahrene Fachzahnärzte für Oralchirurgie und häufige Implantatanwender, eine Person war die OP-Assistenz, die zwar regelmäßig bei chirurgischen Maßnahmen assistiert, selbst aber keine Implantaterfahrung aufweisen kann (Abb. 2a).

Geböhrt wurde immer mit gleichem Motor und gleichem Winkelstück bei unveränderter Drehzahl und gleichem Spiralbohrer mit gleicher Bohrhülse. Es wurden stets die Xive-Bohrer der Firma Dentsply Friadent mit 3 mm Durchmesser und der Länge 18 mm eingesetzt (ExpertEase Bohrer, Firma Dentsply Friadent). Sowohl bei Med3D als auch bei ExpertEase wurden jeweils Bohrtiefen von 11 mm ausgewertet, also fiktive 11-mm-Implantate (Abb. 2b) ausgewählt.

Der Austausch der Silikonschlüssel erfolgte durch einen Zahntechnikermeister. Auf jeder Bohrschablone wurde ein Legosteine zur Verschlüsselung und zur Fixierung auf der Messapparatur angebracht. Die Arretierungen der Legosteine, die bei Med3D auch eine Referenzgröße für die Röntgenanalyse

Material and methods

40 templates were used in the study. All had previously been used clinically for template-guided navigated implantology. 17 templates were produced with Med3D planning software and 23 with the ExpertEase system.

Using the templates, a plaster model of each situation was produced by the same master dental technician. Perfect fit of the template on the model is ensured as the plaster model was made after the operation template and not the reverse.

The plaster was cut out in the region of the drilling sleeves and 3 absolutely identical silicone keys that could be positioned securely in the plaster model and were exchangeable were made for each template (Fig. 1a and 1b). Holes were drilled in these silicone keys and these drilled cavities were later measured. A new silicone key was used for each drilling by each person. All holes were drilled by the same 3 persons. 2 of these were dentists experienced in oral surgery who used implants frequently and the third was the dental nurse who regularly assists during surgical procedures but has no implant experience (Fig. 2a).

All drilling was performed with the same motor and the same handpiece, the same speed, the same twist drill and the same drilling sleeve. The Xive drill from Dentsply Friadent with a diameter of 3 mm and length of 18 mm was used in all cases (ExpertEase drill, Dentsply Friadent). Drilling depths of 11 mm were analyzed with both Med3D and ExpertEase, so fictive 11 mm implants (Fig. 2b) were selected.

The silicone keys were exchanged by a dental technician. A Lego brick was attached to each drilling template for keying and fixing to the measuring appliance. The Lego locking mechanism, which also provides a reference size for radiographic analysis in Med3D is extremely precise (up to 1/2000 mm) [1, 8]. A swivel joint is incorporated in this measuring appliance and a transparent film with millimeter divisions can be fitted with this for the respective situation (Fig. 3). The individual parts of the appliance are fixed with Lego bricks. A swivel joint enables the millimeter film to be fitted again to the anat-

bilden, sind äußerst genau (bis zu 1/2.000 mm) [1, 8]. In dieser Messapparatur ist ein Drehgelenk eingearbeitet, mit der eine Klarsichtfolie mit Millimereinteilung für die jeweilige Situation angepasst werden kann (Abb. 3). Die einzelnen Teile der Apparatur sind mit Legosteinen fixiert. Ein Drehgelenk ermöglicht ein neues Anpassen der Millimeterfolie an die anatomische Situation und die jeweilige Schablone. Um die sichere Position der Apparatur nicht zu gefährden, sind alle Teile mit selbsthärtendem Kunststoff (Pattern, Resin, Firma GC) verschlüsselt, so dass nur noch die Millimeterskala durch das Drehgelenk im Raum bewegt und der betreffenden Schablone angepasst werden kann (Abb. 3, 4, 5). Mithilfe dieser Konstruktion ist eine Messung der Abweichung der 3 Bohrungen untereinander in der vertikalen und horizontalen bzw. transversalen Ebene möglich. Die Messwerte wurden mit OP-Mikroskop, um auch im Submillimeterbereich neutral beurteilen zu können, durch den Zahntechnikermeister beurteilt und durch den Erstauteur überprüft. Die Genauigkeit wurde bis auf ein Viertelmillimeter festgelegt, was durch zehnfache Vergrößerung des Mikroskops auf der zugrunde liegenden Millimeterskala für das menschliche Auge im Bereich des objektiv Messbaren liegt.

Die Aufarbeitung der Messungen wurde wieder vom Zahn-technikermeister übernommen.

Ergebnisse

Für die Messungen wurden insgesamt 40 Schablonen, die alle-
 samt vorher im klinischen Einsatz waren, ausgewählt. Bei 3 OP-
 Schablonen wurden 2 Hülsen, also 2 Messungen durchgeführt,
 so dass insgesamt 43 Bohrungen bzw. Implantatpositionen un-
 tersucht und verglichen werden konnten.

Bei den insgesamt 129 Bohrungen wurde ein Referenzwert,
 also die Bohrwerte einer Person ausgewählt, so dass die Abwei-
 chung der Bohrungen eines Zahnarztes und der medizinischen
 Assistenzperson untersucht werden konnte.

Bei der vertikalen Messung (Abb. 4a und 4b) waren 77 der
 insgesamt 86 Bohrungen ohne Abweichung, 2 Bohrungen er-
 folgten mit einer Abweichung von 0,25 mm, 3 Bohrungen mit
 einer Abweichung von 0,5 mm und vier Bohrungen mit einer
 Abweichung von 1 mm (Abb. 6).

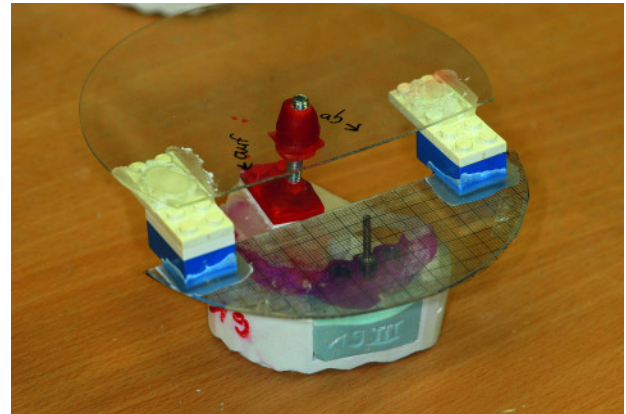
So erfolgten von Seiten des Zahnarztes bei seinen 43 Bohrun-
 gen 38 Bohrungen ohne Abweichung in der vertikalen Dimen-
 sion, 2 Bohrungen mit 0,25 mm, eine Bohrung mit einer Abwei-
 chung von 0,5 mm und 2 Bohrungen mit einer Abweichung von
 1 mm, während von der zahnmedizinischen Fachassistenz
 39 Bohrungen exakt ohne Abweichung, 2 Bohrungen mit
 0,5 mm und 2 Bohrungen mit 1 mm Abweichung waren (Abb. 7).

Die maximale Abweichung bei einer Bohrung in der Ver-
 tikalen betrug somit 1 mm in insgesamt 4 Fällen. Es ist ein deut-
 licher Unterschied in der Genauigkeit bei den unterschiedlichen
 Schablonenhülsen in der vertikalen Dimension erkennbar.
 Alle Abweichungen wurden bei der Med3D-Methode fest-

Abbildung 3 Apparatur:

Darstellung der Mess-
 apparatur auf Gipsmodell
 mit eingesetzter
 Schablone sowie beispie-
 haft eingeführtem Bohrer
 vor Messwertdarstellung.

Figure 3 Measuring
 appliance on a plaster
 model with template
 and twist drill inserted
 before data analysis.



omic situation and the respective template. So as not to endan-
 ger the secure position of the appliance, all parts are keyed with
 self-curing resin (Pattern Resin, GC) so that only the millimeter
 scale moves in space through the swivel joint and can be fitted
 to the template (Fig. 3, 4, 5). With this construction, measure-
 ment of the deviation of the 3 drillings is possible in the ver-
 tical and horizontal or transverse plane. The measurements
 were assessed by the dental technician using an operating
 microscope to obtain a neutral assessment even in the sub-
 millimeter range and they were checked by the first author. The
 precision was set at up to a quarter millimeter, which is in the
 range of what can be measured objectively by the human eye
 on the underlying millimeter scale at tenfold microscopic mag-
 nification.

The measurements were analyzed by the dental technician.

Results

40 templates were selected for the measurements, all of
 which had been in clinical use previously. Two sleeves, that is,
 two measurements, were made with three templates, given a
 total of 43 drilled holes or implant positions for examination
 and comparison.

The drilling values of one person were chosen as a reference
 value for the 129 drilled holes, so that the deviation of the
 holes drilled by one dentist and the dental nurse could be
 studied.

On vertical measurement (Fig. 4a and 4b), 77 of the 86 drill-
 ed holes were without deviation, 2 holes had a deviation of
 0.25 mm, 3 had a deviation of 0.5 mm and four holes had a
 deviation of 1 mm (Fig. 6).

Of the 43 holes drilled by the dentist, 38 were without
 deviation in the vertical dimension, 2 had a deviation of
 0.25 mm, one had a deviation of 0.5 mm and 2 holes
 had a deviation of 1 mm, while 39 of the holes drilled by the
 dental nurse were precise and without deviation, 2 holes had
 a deviation of 0.5 mm and 2 holes had a deviation of 1 mm
 (Fig. 7).

The maximum deviation of a drill hole in the vertical
 dimension was thus 1 mm in 4 cases. An obvious difference in
 precision can be identified with the different template sleeves
 in the vertical dimension. All deviations were found with the
 Med3D method while no deviation was found in the holes
 drilled with the ExpertEase template.

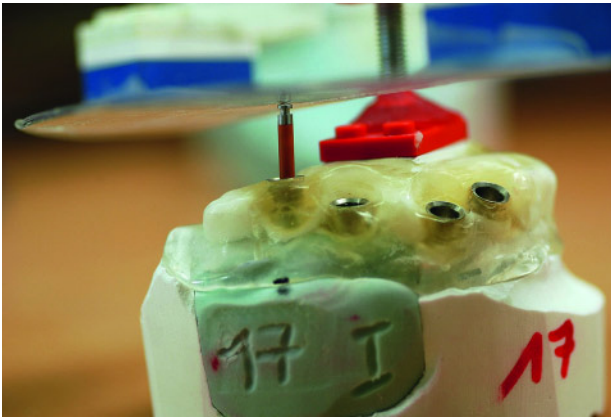


Abbildung 4a Messung vertikal genau: fest fixierte Messapparatur zur Auswertung einer vertikalen Bohrung vor Vergleich mit kalibrierten Vergleichsmodellen.

Figure 4a Precise vertical dimension: measuring appliance fixed to analyze vertical drilling before comparison with calibrated reference models.

gestellt, während bei der ExpertEase-Schablone in der Tiefenbohrung bei allen vorgenommenen Bohrungen keine Abweichung festzustellen war.

Mithilfe der vom Zahntechnikermeister erstellten Messapparatur und dem OP-Mikroskop konnten auch die Bohrungen in der horizontal-transversalen Ebene verglichen und untersucht werden (Abb. 5a und 5b).

Von den vergleichbaren 86 Bohrungen in dieser Ebene erfolgten 40 Bohrungen ohne Abweichung, 2 Bohrungen hatten eine Abweichung von 0,1 mm, 9 Bohrungen von 0,25 mm, 10 Bohrungen von 0,5 mm, 3 Bohrungen von 0,75 mm, 15 Bohrungen von 1 mm, 4 Bohrungen von 1,5 mm und 3 Bohrungen eine Abweichung von 2 mm zu verzeichnen (Abb. 8).

Die maximale Abweichung betrug 2 mm. Die Bohrungstiefe in den Knochen bzw. in unserer In-vitro-Untersuchung und in den Silikonschlüssel betrug lediglich 11 mm. Die Fehlerquelle ist also bei einer 11 mm Implantatlänge geringer gegeben, da die Bohrerlänge von Knochenniveau zum Winkelstück mehr als 11 mm beträgt und die Auslenkung damit größer ist.

Die Bohrungen des erfahrenen Zahnarztes im Vergleich zur zahnmedizinischen Assistenz unterscheiden sich nahezu nicht. Bei den Bohrungen durch den Zahnarzt waren 20 – ebenso wie bei der zahnmedizinischen Fachangestellten – ohne jegliche Abweichung in der horizontal-transversalen Dimension. Beim Zahnarzt waren 3 Bohrungen mit einer Abweichung von 0,25 mm, 5 Bohrungen mit einer Abweichung von 0,5 mm, eine Bohrung mit einer Abweichung von 0,75 mm, 9 Bohrungen mit einer Abweichung von 1 mm, 3 Bohrungen mit einer Abweichung von 1,5 mm und 2 Bohrungen mit einer Abweichung von 2 mm festzustellen.

Bei den Bohrungen durch die Assistenz waren 8 Bohrungen mit einer Abweichung bis 0,25 mm, 5 Bohrungen mit einer Abweichung von 0,5 mm, 2 Bohrungen mit einer Abweichung von 0,75 mm, 6 Bohrungen mit einer Abweichung von 1 mm und 2 Bohrungen mit einer Abweichung von 2 mm zu messen (Abb. 9).

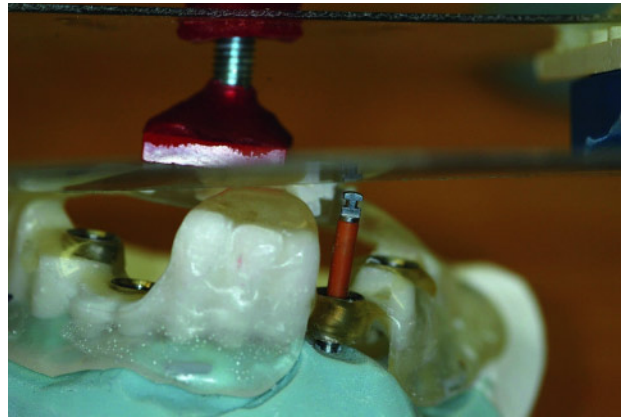


Abbildung 4b Abweichung vertikal: Abweichung einer vertikalen Bohrung, Vergleich mit Abbildung 4a.

Figure 4b Vertical dimension: deviation of vertical drilling, comparison with figure 4a.

The drilled holes were also compared and studied in the horizontal plane using the measuring appliance produced by the dental technician and with the operating microscope (Fig. 5a and 5b).

Of the 86 comparable drillings in this plane, 40 were without deviation, the deviation was 0.1 mm with 2 holes, 0.25 mm with 9 holes, 0.5 mm with 10 holes, 0.75 mm with 3 holes, 1 mm with 15 holes, 1.5 mm with 4 holes and the deviation was 2 mm with 3 holes (Fig. 8).

The maximum deviation was 2 mm. The drilling depth in bone and in our in vitro study and in the silicone key was only 11 mm. The error source is therefore smaller with an 11 mm implant length, as the drill length from bone level to the handpiece is more than 11 mm and the excursion is therefore greater.

The holes drilled by the experienced dentist differed hardly at all from those of the dental nurse. 20 of the holes drilled by the dentist and 20 drilled by the dental nurse were without any deviation in the horizontal plane. 3 of the holes drilled by the dentist had a deviation of 0.25 mm, 5 holes had a deviation of 0.5 mm, one had a deviation of 0.75 mm, 9 holes had a deviation of 1 mm, 3 holes had a deviation of 1.5 mm and 2 holes had a deviation of 2 mm.

Of the holes drilled by the dental nurse, 8 had a deviation of up to 0.25 mm, 5 had a deviation of 0.5 mm, 2 holes had a deviation of 0.75 mm, 6 holes had a deviation of 1 mm and 2 holes had a deviation of 2 mm (Fig. 9).

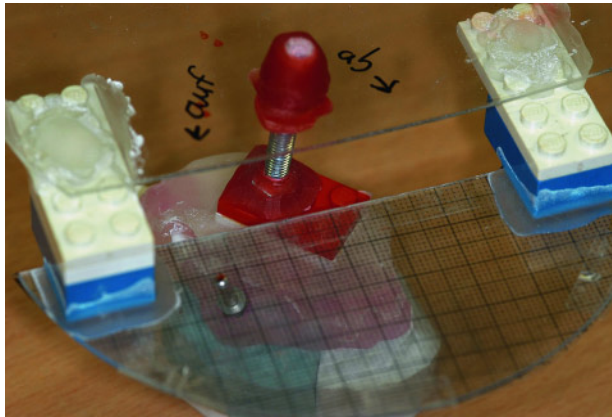


Abbildung 5a Messung transversal-horizontale genau: Abweichung einer transversal-horizontalen Bohrung, Vergleich mit Abbildung 4.

Figure 5a Precise horizontal dimension: deviation of transverse drilling, comparison with figure 4.

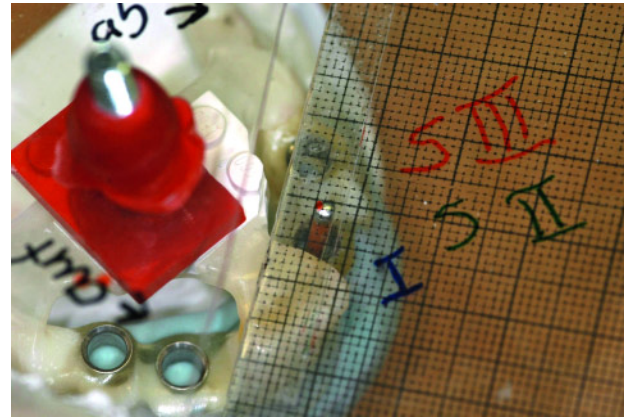


Abbildung 5b Abweichung transversal: Abweichung einer transversalen Bohrung, Vergleich mit Abbildung 4b.

Figure 5b Horizontal deviation: deviation of horizontal drilling, comparison with figure 4b.

Fotos: Friedemann Petschelt

Gegenüberstellung: Med3D – ExpertEase

In die Untersuchung konnten 2 Schablonenarten einbezogen werden.

Eine Bohrung einer Person sowohl in vertikaler wie auch transversal-horizontaler Dimension wurde wieder als Referenzwert festgelegt, so dass die Arbeiten des zweiten Implantologen und der medizinischen Assistenzperson für die Auswertung analysiert werden konnten.

Mit den 17 Med3D-Schablonen können also je 34 Messwerte für die vertikale und transversal-horizontale Ebene, mit den 23 ExpertEase-Schablonen insgesamt 52 Werte (bei 3 Schablonen dieser Art wurden je 2 Bohrungen untersucht) verglichen werden.

In der vertikalen Dimension sind deutlich genauere Ergebnisse bei den ExpertEase-gestützten Bohrungen feststellbar. Es sind bei der ExpertEase-Schablone 2 Abweichungen in der vertikalen Dimension von 0,25 mm und eine Abweichung mit 1 mm von den insgesamt 4 Abweichungen mit 1 mm aufgetreten. Bei Med3D waren demnach Ungenauigkeiten von 3-mal je einer Abweichung von 0,5 mm und 3-mal mit je einer Abweichung von 1,0 mm ersichtlich.

Die 3 größeren Med3D-Abweichungen (1 mm) in der Tiefe sind durch den erfahrenen Zahnarzt bzw. Implantologen zustande gekommen.

In der transversal-horizontalen Ebene waren insgesamt je 20 Bohrungen sowohl bei der stereolithographisch hergestellten ExpertEase als auch bei der laborgefertigten Med3D-Schablone exakt. Die beiden 0,1 mm Abweichungen stammen von der ExpertEase-Schablone. Sechs der 9 Abweichungen mit einem Wert von 0,25 mm haben die Med3D-Schablone als Führung und ebenfalls 6 der insgesamt 10 ungenauen Bohrungen mit einer Abweichung von 0,5 mm. Bei den 3 Abweichungen mit 0,75 mm war eine von ExpertEase-, der Rest von den Med3D-Schablonen, bei einer Abweichung von 1 mm sind 6 von der ExpertEase und 9 von Med3D, bei den 4 Abweichungen von 1,5 mm sind eine von ExpertEase und 3 von Med3D, und die 3 mit einer Abweichung von 2 mm stammen alle von den Med3D-Schablonen.

Comparison of Med3D and ExpertEase

Two types of templates were included in the study.

One hole drilled by one person was again set as the reference value in both vertical and horizontal dimension so that the work of the second implantologist and of the dental nurse could be analyzed.

34 measurements with the 17 Med3D template, that is, 34 measurements for the vertical and horizontal plane, were compared with the 52 values from the 23 ExpertEase templates (2 drill holes were studied in the case of 3 templates of this type).

In the vertical dimension, much more precise results were found with the ExpertEase-assisted drilling. With the ExpertEase template, 2 deviations of 0.25 mm in the vertical dimension and one deviation of 1 mm were found out of the total of 4 deviations of 1 mm. With Med3D, accordingly, inaccuracy was apparent with a deviation of 0.5 mm 3 times and a deviation of 1.0 mm 3 times.

The 3 greater Med3D deviations (1 mm) in the depth were produced by the experienced dentist and implantologist.

In the horizontal plane, 20 drilled holes were exact with both the ExpertEase produced by stereolithography and with the laboratory-fabricated Med3D template. The two 0.1 mm deviations derive from the ExpertEase template. Six of the 9 deviations with a value of 0.25 mm used the Med3D template as guide and 6 of the 10 imprecise drill holes had a deviation of 0.5 mm. Of the 3 deviations of 0.75 mm, one was produced with the ExpertEase and the rest with the Med3D templates; 6 of the 1 mm deviations were with the ExpertEase and 9 with Med3D; one of the 4 deviations of 1.5 mm arose with the ExpertEase and 3 with Med3D, while the 3 with a deviation of 2 mm all derived from the Med3D templates.

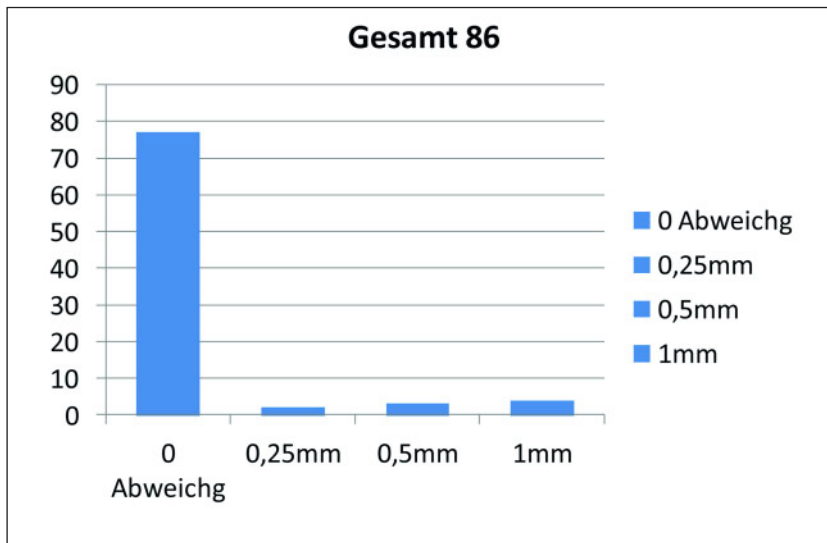


Abbildung 6 Abweichungen im Gesamten in der Vertikalen.

Figure 6 Deviations in vertical dimension.

Diskussion

Alle Abweichungen waren – wie in der Literatur mehrfach beschrieben – sehr klein [2, 3, 5, 7, 10, 16, 17, 19, 20, 21, 22]. Mit Hilfe dieser Untersuchung wurde nicht wie schon des Öfteren geschehen, die Genauigkeit der Beziehung Röntgenanalyse/klinische Situation untersucht, sondern vielmehr die Exaktheit der Schablone an sich.

Die Studie ist so ausgelegt, dass nicht die Exaktheit der bildgebenden Darstellung, das CT oder das DVT und dessen Übertragung in die orale Situation – also die eigentliche Anwendung der Bohrung im Mund – ausgewertet oder beurteilt werden sollen. Die Prüfung der Genauigkeit der Datenübermittlung in die Planungssoftware, der Umsetzung der geplanten Situation in die OP-Schablone und schlussendlich der Exaktheit dieser hergestellten Situation bei der eigentlichen Operation ist in der vorhandenen Literatur diskutiert und sollte Bestandteil von anderen Untersuchungen sein [2, 3, 5, 7, 10, 16, 17, 19, 20, 21, 22].

Es soll in dieser Arbeit untersucht werden, wie genau mit den von der Industrie vorliegenden Spiralbohrern und Hülsen oder Sleeves gebohrt werden kann bzw. die Position des Implantats damit festgelegt werden kann. In der Literatur liegen Studien über die Möglichkeit eines genauen reproduzierbaren Bohrens mit ein und derselben Schablone mit Unterstützung der Bohrhülsen bislang noch nicht vor. Dieser Fragestellung soll mit den hier erreichten Daten nachgegangen werden.

Es erfolgte eine Definition des Messprozesses. Die „Behandler“, die Personen, die die Bohrungen durchführten, arbeiteten alle unter den gleichen Bedingungen mit gleichem Material und mit gleicher, festgelegter kalibrierter Vorgehensweise. Der Auswerter war der Zahntechnikermeister. Er erstellte einen reproduzierbaren Ergebnisbericht, der durch den Erstautor kontrolliert wurde.

Die Zahlen geben eine sichere Auskunft. Schablonengeführtes Bohren mit nach dreidimensionaler Analyse hergestellter Operationsschablone im Submillimeterbereich ist möglich. Es wird gezeigt, dass diese Reproduzierbarkeit sogar eine derart hohe Genauigkeit und eine daraus resultierende Arbeitsunterstützung liefert, dass sogar unerfahrene, mit Knochenbohrungen nicht vertraute Personen exakte Bohrgeometrien erreichen

Discussion

All deviations were very small, as described in the literature [2, 3, 5, 7, 10, 16, 17, 19, 20, 21, 22]. In this study, the precision of the relationship between radiographic analysis and the clinical situation was not analyzed, as often before, but rather the precision of the template itself.

The study was not designed to assess or analyze the precision of the imaging, CT or CBCT, and its transfer to the oral situation, that is, the actual use of drilling in the mouth. Examination of the accuracy of data transmission to planning software, conversion of the planned situation to the operating template and ultimately the precision of this fabricated situation in the actual operation is discussed in the available literature and should be the subject of other studies [2, 3, 5, 7, 10, 16, 17, 19, 20, 21, 22].

This study was designed to investigate how accurately holes can be drilled with the twist drills and sleeves provided by the industry and how accurately the position of the implant can then be established. So far there have been no studies in the literature of the possibility of precise and reproducible drilling with one and the same template with the assistance of drilling sleeves. This question is addressed with the data obtained here.

The measurement process was defined. The “treating dentists”, that is, the persons who drilled the holes, all worked under the same conditions with the same material and with the same established calibrated procedure. The analyst was the dental technician. He produced a reproducible report of the results, which was checked by the first author.

The numbers give secure information. Template-guided drilling in the submillimeter range with an operating template produced according to three-dimensional analysis is possible. It was shown that this reproducibility even provides such high precision, thus assisting the work, that even inexperienced persons unfamiliar with drilling in bone can achieve exact drilling geometry. It was not shown clearly that the experienced dentist familiar with dental surgery can achieve better results.

Average error sources of up to 0.5 mm have been discussed in previous publications [3, 5, 7, 9, 16, 17, 19, 20, 21, 22]. Lower errors on average arose with the question of the precision of the sleeve-drill relationship analyzed here.

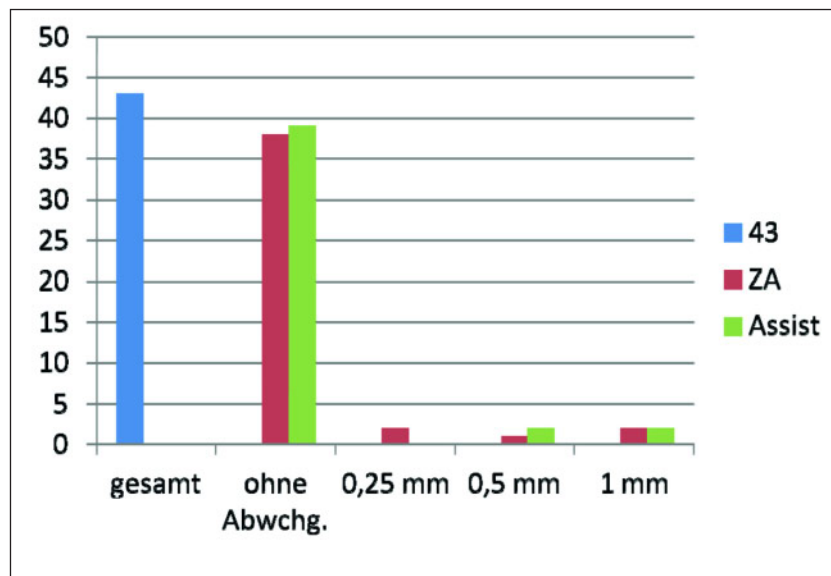


Abbildung 7 Abweichung der Vertikalen, Vergleich Zahnarzt-Assistenz.

Figure 7 Deviation of the vertical dimension, comparison between dentist and dental nurse.

können. Es wurde nicht eindeutig gezeigt, dass der erfahrene, mit der zahnärztlichen Chirurgie vertraute Zahnarzt bessere Ergebnisse erreichen kann.

In den bisherigen Publikationen werden mittlere Fehlerquellen von bis zu 0,5 mm diskutiert [3, 5, 7, 9, 16, 17, 19, 20, 21, 22]. Bei der hier analysierten Fragestellung über die Genauigkeit der Hülsen-/Bohrerbeziehung sind im Mittel geringere Fehlerwerte entstanden.

Viele Autoren haben sich bereits mit der DVT-Aussagekraft, mit der Übertragung der Daten in eine Planungssoftware, mit Unterschieden dieser Programme, mit der Übertragungsmöglichkeit der Planung in die orale Situation und ähnlichen möglichen Fehlerquellen beschäftigt [1, 2, 7, 16, 17, 19]. Diese bekannten Untersuchungen sind Grundlage für die Exaktheit der schablonengeführten Implantologie. Eine neue Untersuchung der Abweichungen stellt – wie hier dargestellt und gezeigt werden konnte – die Fassung der Bohrer in den Schablonenhülsen dar.

Der digitale Workflow ist gut beherrschbar [15]. Die Operation selbst wird jedoch nach wie vor von Menschenhand ausgeführt. Obwohl geführt, sind hier trotz der enorm genauen Bohrmöglichkeiten Ungenauigkeiten, die bislang noch nicht dargestellt wurden, nicht zu umgehen.

So sind in der Vertikalen zu beachtende 89 % von den in die Untersuchung einfließenden 86 gesamten Bohrungen ohne jegliche Abweichung. Zirka 10 % haben eine geringe Abweichungen, die allesamt bei der Med3D-gestützten Schablone auftraten. Die ExpertEase-gestützte Schablone mit ihren Hülsen bzw. Sleeves weist hier eindeutige Vorteile auf. Es waren keine Ungenauigkeiten zu erkennen. Unterschiede zwischen Assistenzperson und erfahrenem Zahnarzt waren nicht festzustellen. Dies sind Erkenntnisse, die bislang nur vermutet wurden, aber in noch keiner Untersuchung dargestellt werden konnten.

Die Führung der Bohrungen in der transversal-horizontalen Ebene war bei zirka der Hälfte exakt, während die andere Hälfte 0,1 mm bis zu 2 mm Abweichung ergaben. Auch hier sind Unterschiede zwischen dem erfahrenem und unerfahrenem Chirurgen nicht zu verzeichnen. Bemerkenswert war aber der Trend, dass bei jeder Person die Genauigkeit nach mehreren Bohrungen, also gegen Ende der Versuchsreihe, zunahm.

Many authors have already dealt with the validity of CBCT, transfer of data to planning software, with differences in these programs, with the possibility of transferring the planning to the oral situation and with similar potential sources of error [1, 2, 7, 16, 17, 19]. These studies are the basis for the precision of template-guided implantology. A new study of the deviations, as shown here, shows the mounting of the drills in the template sleeves.

The digital workflow is easy to manage [15]. However, the operation itself is still performed by human hands. Although guided, inaccuracies, which have not been presented hitherto, cannot be circumvented despite the extremely precise drilling possibilities.

89 % of the total of 86 drilled holes in the study did not deviate in the vertical dimension. About 10 % have a small deviation, all of which occurred with the Med3D-assisted template. The ExpertEase-assisted template with its sleeves exhibits clear advantages. No inaccuracies were identified. No differences were found between the dental nurse and the experienced dentist. These findings were suspected before now but were not yet demonstrated in any study.

Guiding the drilling in the horizontal plane was exact in about half while the other half resulted in a deviation of 0.1 mm to 2 mm. In this case too, no differences were found between the experienced and inexperienced surgeon. However, it should be noted that there was a trend for the precision to increase with each person after several drilling procedures, that is, towards the end of the series of tests. It can be assumed that a learning curve must be overcome and experience leads to better results. In the literature, routine use of implantological measures is frequently evaluated [13, 14].

In the comparison of the numbers, an advantage was found in the precision of the ExpertEase template and the corresponding sleeve system.

A serious difference between the dental nurse and the experienced implantologist was not found in the horizontal dimension when drilling with Med3D and ExpertEase template guidance was compared.

However, a clear trend was noted with advancing practice. Nearly all errors occurred with earlier drillings, while the inac-

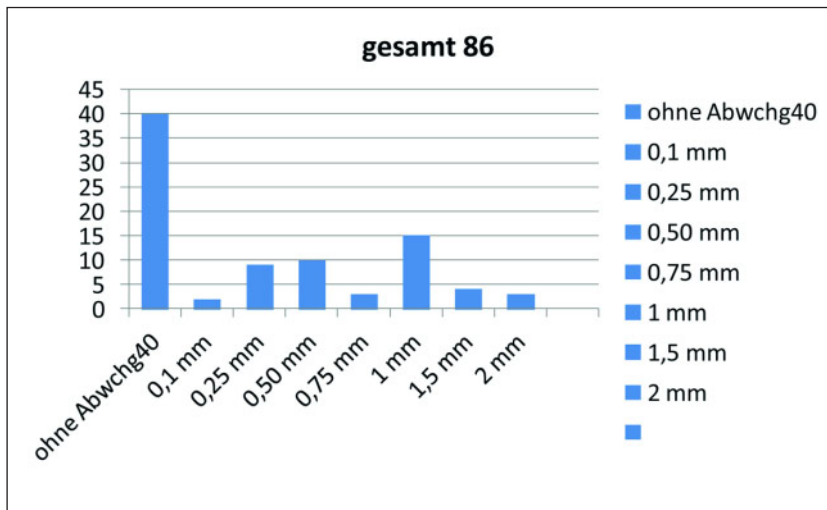


Abbildung 8 Abweichung horizontal-transversal im Gesamten.

Figure 8 Deviations in horizontal dimension.

Es kann davon ausgegangen werden, dass eine Lernkurve zu überstehen ist und Erfahrung zu besseren Ergebnissen führt. In der Literatur wird auch die Routine bei implantologischen Maßnahmen des Öfteren bewertet [13, 14].

Bei dem Vergleich der Zahlen ist ein Vorteil in der Genauigkeit für die ExpertEase-Schablone und das entsprechende Hülsensystem festzustellen.

Ein ernst zu nehmender Unterschied zwischen Assistenz und erfahrenem Implantologen ist auch bei der transversal-horizontalen Dimension in der Gegenüberstellung von Med3D- und ExpertEase-schablonengeführter Bohrung nicht aufgetreten.

Ein eindeutiger Trend war aber durch die fortschreitende Übung zu verzeichnen. Fast alle Fehlerwerte waren bei frühen Bohrungen aufgetreten, während bei den späteren Bohrungen durch beide Personen die Ungenauigkeiten deutlich abnahmen. Es scheint, dass bei der navigierten Bohrung eine Lernkurve zu überstehen ist.

Bei dieser In-vitro-Untersuchung sind die bei der Anwendung im Mund auftretenden Erschwernisse nicht vorhanden. Eine eingeschränkte Mundöffnung, die Berührung des Winkelstücks mit der antagonistischen Zahnreihe, der Speichel, die Schleimhaut und vieles mehr stellen die ja bekannte, erschwere Situation bei Eingriffen in der Mundhöhle dar. Besondere Beachtung bei der schablonengeführten Bohrung sollte dem exakten, komplett in der an der Schablone fixierten Mutterhülse versenkten Sitz der einzelnen Sleeves geschenkt werden. Bei derartiger Vorgehensweise sind die in vitro gewonnenen Daten durchaus auf die reale Gegebenheit übertragbar und stellen eine aussagekräftige Datenlage über die Bohrergenauigkeit dar.

Die Genauigkeitswerte in unserem Kollektiv werden durch die Literatur, die bislang andere Parameter analysiert hat, bestätigt.

Die Verwendung von CT- bzw. DVT-Daten erlaubt aufgrund der genauen Bestimmung der tatsächlichen Knochenquantität im Submillimeterbereich eine genaue Position in allen 3 Dimensionen. Besonders in der Vertikalen – hier bestehen große Vorteile bei Bohrern mit fixierten Tiefenstopps – sind genaue Werte erreichbar.

curacies diminished markedly with the later drillings by both persons. It appears that a learning curve must be overcome in navigated drilling.

In this in vitro study, the difficulties that occur during use in the mouth are absent. Restricted mouth opening, contact between the handpiece and the antagonist teeth, saliva, mucosa and many other factors make procedures in the oral cavity more difficult. With template-guided drilling, particular attention should be paid to the completely submerged precise seating of the individual sleeves in the parent sleeve. With this procedure, the results obtained in vitro are quite applicable to the real situation and provide valid data on drilling precision.

The precision values in our study are confirmed by the literature, which has hitherto analyzed other parameters.

The use of CT or CBCT data allows a precise position in all three dimensions because of the precise determination of the actual bone quantity in the submillimeter range. Precise values can be obtained, especially in the vertical document, where drills with fixed depth stops confer major advantages.

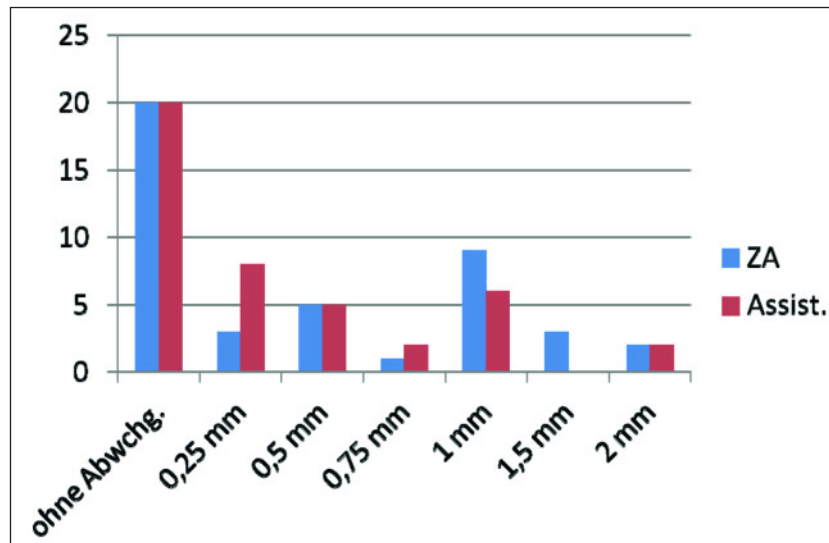


Abbildung 9 Abweichung horizontal-transversal, Vergleich Zahnarzt-Assistenz.

Figure 9 Deviation of the horizontal dimension, comparison between dentist and dental nurse.

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist es, die Genauigkeit der Bohrungen von Implantat-OP-Schablonen, die nach DVT-Datensatz mittels einer geeigneten Planungssoftware ausgearbeitet wurden, zu evaluieren. Dazu wurden insgesamt 40 Schablonen untersucht, die alle vorher im klinischen Einsatz waren und eine erfolgreiche Behandlung ermöglicht hatten. 17 der in dieser Studie analysierten Schablonen wurden mit dem Med3D-Programm (C. Hafner GmbH, Pforzheim), 23 Schablonen mit der ExpertEase-Software der Firma Dentsply Friadent GmbH gefertigt. Als DVT diente das Scanora-Soredex-Gerät.

Mithilfe einer individuell hergestellten Apparatur wurden vergleichende Messungen am Gipsmodell mit Silikon Schlüssel vorgenommen. Bei jeder Schablone wurden 3 Bohrungen von je 3 verschiedenen Personen durchgeführt. Die daraus resultierenden Daten konnten im Submillimeterbereich verglichen werden.

Es stellten sich maximale Abweichungen von 2,0 mm in der transversal-horizontalen und maximale Abweichungen von 1,0 mm in der vertikalen Dimension dar.

Deutlich weniger Abweichungen mit genaueren Positionen ergaben sich bei der ExpertEase-Version im Vergleich zum Med3D-gestützten Vorgehen.

Bei unseren Vergleichen der Messwerte waren keine bemerkenswerten Unterschiede zwischen der Bohrungspräzision eines routinierten Implantologen oder einer Assistenzperson ohne jegliche praktische Erfahrung am Patienten festzustellen. Bei Berücksichtigung der implantologischen Grundprinzipien und dem Einsatz einer Planungssoftware mit schablonengeführter Operation ist ein exaktes Setzen der Implantate im Submillimeterbereich, auch unter höchsten Ansprüchen, möglich.

Schlussfolgerung

Die untersuchten Bohrungen eines im Durchmesser 3 mm dicken Implantatbohrers zeigen eine hohe Präzision, die durch freihändiges Bohren unzweifelhaft nicht hätte erreicht werden können. Die „Sleeves on drill“-Technik, bei der eigens für die navigierte Implantologie angefertigte Bohrer mit Tiefenstopps

Summary

The aim of this study was to evaluate the precision of holes drilled in implant templates, which were analyzed with digital volume tomography (CBCT) using suitable planning software. 40 templates that had been used clinically to enable successful treatment were studied. 17 of the analyzed templates were fabricated with the Med3D program (C. Hafner GmbH, Pforzheim) and 23 templates were made with the ExpertEase software of Dentsply Friadent GmbH. The Scanora Soredex was used for imaging. Comparative measurements were made on a plaster model with silicone key using a specially fabricated appliance. 3 holes were drilled in each template by 3 different persons. The resulting data were compared to within less than a millimeter.

Maximum deviations of 2.0 mm in the horizontal dimension and 1.0 mm in the vertical dimension were found. Much smaller deviations with more precise positions were found with the ExpertEase version compared with the Med3D-assisted procedure.

In our comparisons, there were no noteworthy differences in drilling precision between an experienced implantologist and a dental nurse without any practical experience on patients. With observation of the basic principles of implantology and use of planning software with template-guided surgery, exact implant placement to within less than a millimeter is possible, even in the most demanding situations.

Conclusion

The holes drilled with a 3 mm diameter twist drill show a high degree of precision, which could probably not have been obtained by free-hand drilling. The “sleeves on drill” technique, using drills with depth stops specially made for navigated implantology appears to confer advantages compared with “normal” drills guided through ordinary sleeves.

Citation

Petschelt F, Millian M. Kraußneck: Analysis of the Precision of Implant Templates. *Z Zahnärztl Implantol* 2013;29:58–69.
DOI 10.3238/ZZI.2013.0058–0069

eingesetzt werden, im Gegensatz zu den „normalen“, durch entsprechende Hülsen geführten Bohrern, scheint im Vorteil zu sein.

Zitierweise

Petschelt F, Millian M, Kraußeneck T: Untersuchung zur Genauigkeit von Implantatschablonen. *Z Zahnärztl Implantol* 2013;29:58–69.

DOI 10.3238/ZZI.2013.0058–0069

Korrespondenzadresse

Dr. Friedemann Petschelt
Zahnärztliche Gemeinschaftspraxis
Eckertstr. 9
91207 Lauf a. d. Pegnitz
praxis@petschelt.de

Literatur

1. Behneke A, Burwinkel M, d'Hoedt B, Behneke N: Klinische Prüfung der Reliabilität eines DVT-basierten computergestützten Implantatplanungskonzeptes auf der Basis laborseitig erzeugter Schablonen. *Z Zahnärztl Implantol* 2009;25:339–351
2. Behrends M, Krekeler G: Computergestützte Implantatplanung: eine experimentelle Untersuchung zur Präzision der Übereinstimmung zwischen virtuell geplante Implantatsitz und erzieltm Ergebnis unter Verwendung eines EDV-Systems (SimPlant). Masterthese zur Erlangung des „Master of Science Implantologie“ (MSc) 2007
3. Besimo CE, Lambrecht JT, Guindy JS: Accuracy of implant treatment planning utilizing template-guided reformatted computed tomography. PMID: 10654036 [PubMed – indexed for MEDLINE]
4. Bier J, Mosch F, Esser E et al.: Retrospektive multizentrische klinische Studie zur navigierten Implantologie. *Z Zahnärztl Implantol* 2006;22:210–215
5. Di Giacomo GA, Cury PR, de Araujo NS et al.: Clinical application of stereolithographic surgical guides for implant placement: preliminary results. *J Periodontol* 2005;76:503–507
6. Dreiseidler T, Neugebauer J, Ritter L et al.: Genauigkeit eines neu entwickelten integrierten Systems für Zahnimplantat Planung. *Clin Oral Implants Res*. 2009;20:1191–1199. Epub 2009 20.Juli
7. Eggers G, Patellis E, Mühling J: Accuracy of Template-Based Dental Implant Placement. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;3:447–454
8. Engelschalk M: Einführung in die Grundlagen der OP-Schablonen. *Dent Implantol* 2010;14:78–87
9. Fortin T, Champléoux G, Bianchi S et al.: Precision of transfer of preoperative planning for oral implants based on cone-beam CT-scan images through a robotic drilling machine. *Clin Oral Implants Res* 2002;13:651–656
10. Gateno J, Xia J, Teichgräber JF et al.: The precision of computer-generated surgical splints. *J Oral Maxillofac Surg* 2003;61:814–817
11. Holst S, Bergler M, Schultze-Mosgau S, Wichmann M: Schablonen zur Positionierung enossaler Implantate – Eine Übersicht. *Implantologie* 2003;11: 109–117
12. Loubele M, Maes F, Jacobs R, van Steenberghe D, White SC, Suetens P: Comparative study of image quality for MSCT and CBCT scanners for dentomaxillofacial radiology applications. *Radiat Prot Dosimetry* 2008;1291–1293: 222–6. Epub 2008 Jun 26
13. Neugebauer J, Stachulla G, Ritter L et al.: Computer-Aided Manufacturing Technologien für geführte Implantation. *Expert Rev Med Devices* 2010;7: 113–129
14. Nickenig HJ, Eitner S: Reliability of implant placement after virtual planning of implant positions using cone beam CT data and surgical (guide) templates. *J Craniomaxillofac Surg* 2007;35: 207–211. Epub 2007
15. Ronald E, Jung PD, Schneider D et al.: Computer Technology Applications in Surgical Implant Dentistry: A Systematic Review. *Inter J Oral Maxillofac Implants* 2009;24:92–109
16. Sarment DP, Sukovic P, Clinthorne N: Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide. PMID:12939011 [PubMed – indexed for MEDLINE]
17. Sarment DP, Sukovic P, Clinthorne N et al.: Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003;18:571–577
18. Schramm Ch: Explantation durch CT-gestützte Implantatschablonen Quintessenz 2007;58:1027–1031
19. Valente F, Schirolli G, Sbrenna A: Accuracy of computer-aided oral implant surgery: a clinical and radiographic study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24:234–242
20. Van Assche N, van Steenberghe D, Guerrero M et al.: Accuracy of implant placement based on pre-surgical planning of three-dimensional cone-beam images: a pilot Study. *J Clin Periodontol* 2007;34:816–821
21. Veyre-Goulet S, Fortin T, Thierry A: Accuracy of linear measurement provided by cone beam computed tomography to assess bone quantity in the posterior maxilla: a human cadaver study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2008;10: 226–230. Epub 2008 2008 Apr 1
22. Widmann G, Bale RJ: Accuracy in computer-aided implant surgery – a review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006;21: 305–313