



Marion Paris, Nathalie Nurdin, Guillermo Manzano, Francesca Caroleo, Yassine Messaoudi, Mark Bischof, Rabah Nedir, Christian Coachman

Development of a surgical guide for minimally invasive corticotomies with a complete digital intraoral and laboratory workflow

Entwicklung einer Operationsschablone mit rein digitalem intraoralen und labortechnischen Workflow für minimalinvasive Kortikotomien

Zusammenfassung

Ziel: Die chirurgisch unterstützte kieferorthopädische Behandlung wird zunehmend vor allem bei Erwachsenen eingesetzt, um Zahnbewegungen zu erleichtern und die Dauer der kieferorthopädischen Behandlung zu reduzieren. Der vorliegende Artikel beschreibt ein innovatives, sicheres und minimalinvasives Verfahren zur Durchführung lappenloser Kortikotomien mit einer speziellen Operationsschablone, die mit einem rein digitalen intraoralen und labortechnischen Workflow angefertigt wird.

Material und Methoden: Ein 51-jähriger Patient stellte sich mit einem Engstand im oberen und unteren Frontzahnbereich vor. Er wünschte eine kurze Behandlung mit begrenztem Einsatz von Zahnspangen. Vor dem Einsetzen der kieferorthopädischen Apparaturen wurden an Ober- und Unterkiefer Kortikotomien geplant. Die Schnittebenen der kortikalen Inzisionen wurden durch Abgleich der stereolithografischen Daten beider Kiefer, die bei einer digitalen Abformung erhoben wurden, und der Bilder der digitalen Volumetomografie festgelegt. Die Schablone wurde aus durchscheinendem, biokompatiblen und polymerisierbarem Kunststoff gedruckt und kalt sterilisiert. Die minimalinvasiven Kortikotomien wurden mit einem piezoelektrischen Instrument durchgeführt. Die kieferorthopädische Behandlung begann unmittelbar postoperativ.

Ergebnisse: Während der Operation traten keine unerwünschten Ereignisse auf. Das piezoelektrische Instrument wurde präzise geführt und die korrekte Durchführung der Kortikotomien verhinderte die Verletzung anatomischer Strukturen. Die Heilung verlief komplikationslos und der Patient war schmerzfrei.

Abstract

Aim: Surgically facilitated orthodontic treatment is increasingly being used, especially for adults, to facilitate tooth movements and reduce the duration of orthodontic treatment. The present article reports on an innovative, safe, and minimally invasive technique to perform flapless corticotomies using a dedicated surgical guide produced with a complete digital intraoral and laboratory workflow.

Materials and methods: A 51-year-old man presented with maxillary and mandibular anterior crowding. He required rapid treatment with limited use of braces. Corticotomies were planned for both arches before the use of orthodontic appliances. The matching of the stereolithographic files obtained from the digital prints of the full arches and the cone beam computed tomography images allowed for the positioning of the cutting planes for corticisions. The guide was printed with a transparent, biocompatible, and photopolymerizable resin, and cold sterilized. Minimally invasive corticotomies were performed using a piezoelectric instrument. The orthodontic treatment started immediately after surgery.

Results: No adverse events were recorded during surgery. The piezoelectric instrument was guided accurately, and precise application of the corticisions prevented all the anatomical elements from being injured. The healing was uneventful and the patient experienced no pain.

Conclusion: The present report shows that a surgical guide specifically and digitally produced for corticotomies allowed for the performance of a minimally invasive flapless technique and accurate piezosurgery. The use of such a guide was easy to implement, made the procedure safer, and reduced postoperative pain.



Keywords: *guided surgery, corticotomies, surgical guide, computer-aided design, surgically facilitated orthodontic treatment, piezoelectric surgery*

Introduction

The repositioning of teeth in adults is a considerable challenge due to anatomical- and physiologic-related bone constraints. The duration of standard orthodontic treatment is 18 to 30 months^{1,2}. Despite the length of treatment, the number of adult patients undergoing orthodontic treatment is increasing significantly³.

Surgically facilitated orthodontic treatment (SFOT) can be used to facilitate tooth movements and can be implemented from the start of orthodontic treatment. Corticotomy is one of the techniques available for SFOT and involves the performance of shallow vertical interdental incisions of the gingiva and cortical bone^{4,5}. The benefits of corticotomy include:

- acceleration of tooth movement⁶⁻⁸;
- regional acceleratory phenomena for 4 months⁹;
- 20% to 40% reduction in treatment time⁴; and
- reduced risk of external apical root resorption, mainly due to the decreased orthodontic forces applied to the teeth^{10,11}.

Most corticotomies are performed with an invasive flap and require a supply of bone to compensate for bone deepithelialization^{12,13}. Some corticotomies are performed flapless; incisions are made between the teeth in a blind manner, without accurate visualization of the dental roots and their apices or the bone papillae⁵. Therefore, the indications for corticotomies are limited by the associated risks such as damage of tooth-supporting tissue, devitalization of the teeth, injuries to noble anatomical elements, and postoperative discomfort and pain. The use of piezoelectric tools has improved the technique^{5,14}.

Adults often request rapid treatment and the limited wearing of orthodontic braces; therefore, corticotomies are frequently included in orthodontic treatment. This treatment requires the development of safe and minimally invasive surgical techniques. The purpose of this report is to present the conception and production of surgical guides for dental corticotomies with piezosurgery. The guides were developed with a complete digital intraoral and laboratory workflow. With the use of piezoelectric tools, guided surgery enables a safe, accurate, and minimally invasive technique for corticotomies as part of SFOT.

Schlussfolgerung: Der vorliegende Bericht zeigt, dass eine speziell und digital für die Kortikotomien angefertigte Operationsschablone die Durchführung des Eingriffs als minimalinvasive, lappenlose Operation mit präziser Piezo-chirurgie ermöglicht. Die Operationsschablone ließ sich gut in das Verfahren einbinden, erhöhte die Sicherheit des Eingriffs und reduzierte die postoperativen Schmerzen.

Schlüsselwörter: *geführte Operation, Kortikotomien, Operationsschablone, Computer-aided Design, chirurgisch unterstützte kieferorthopädische Behandlung, piezoelektrische Chirurgie*

Einleitung

Zahnbewegungen sind bei Erwachsenen aufgrund von anatomischen und physiologischen Einschränkungen sehr schwierig. Normalerweise dauert eine kieferorthopädische Behandlung 18–30 Monate^{1,2}. Trotz der Länge der Behandlung nimmt die Anzahl der Erwachsenen, die kieferorthopädisch behandelt werden, deutlich zu³.

Mit der chirurgisch unterstützten kieferorthopädischen Behandlung bereits zu Beginn der kieferorthopädischen Therapie lassen sich Zahnbewegungen vereinfachen. Eine der dazu verwendeten Techniken ist die Kortikotomie mit flachen vertikalen interdentalen Inzisionen in Gingiva und Kortikalis^{4,5}. Zu den Vorteilen der Kortikotomie gehören:

- die Beschleunigung der Zahnbewegung⁶⁻⁸,
- ein regionales Beschleunigungsphänomen für vier Monate⁹,
- die Reduktion der Behandlungsdauer um 20–40 %⁴ und
- ein geringeres Risiko für eine externe apikale Wurzelresorption überwiegend durch das geringere Einwirken kieferorthopädischer Kräfte auf die Zähne^{10,11}.

Meistens werden Kortikotomien mit Lappenabhebung und dem Einbringen von Knochenersatzmaterial zum Ausgleich der Deepithelialisierung des Knochens durchgeführt^{12,13}. Manche der Kortikotomien erfolgen lappenlos, dabei werden die Inzisionen zwischen den Zähnen blind und ohne akkurate Darstellung der Zahnwurzeln und ihrer Apices oder des interdentalen Knochens durchgeführt⁵. Daher sind die Indikationen für Kortikotomien durch die assoziierten Risiken, wie die Schädigung des Zahnhalteapparates, die Devitalisierung der Zähne, die Verletzung wichtiger anatomischer Strukturen sowie postoperative Beschwerden und Schmerzen, eingeschränkt. Durch den



Fig 1 Initial situation: mandible (a) and maxilla (b).

Abb. 1 Ausgangssituation: Oberkiefer (a) und Unterkiefer (b).

Einsatz piezoelektrischer Instrumente konnte die Technik verbessert werden^{5,14}.

Häufig wünschen Erwachsene eine kurze Behandlungsdauer und möchten nur kurz kieferorthopädische Zahnspangen tragen. Daher werden im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung oft Kortikotomien durchgeführt, für die sichere und minimalinvasive chirurgische Techniken entwickelt werden müssen. Im vorliegenden Artikel werden das Konzept und die Produktion von Operationsschablonen für dentale piezochirurgische Kortikotomien vorgestellt. Ihre Fertigung erfolgte intraoral und labortechnisch rein digital. Mit dem Einsatz piezochirurgischer Instrumente ist die geführte Chirurgie ein sicheres, präzises und minimalinvasives Verfahren zur Durchführung von Kortikotomien im Rahmen der chirurgisch unterstützten kieferorthopädischen Behandlung.

Fallbericht

Operationsplanung

Ein 51-jähriger Patient stellte sich zur Korrektur eines Engstands im oberen und unteren Frontzahnbereich vor. Die klinische Untersuchung ergab eine Tendenz zum tiefen Biss, ein konvexes Profil, eine Retrusion des Unterkiefers und einen mäßigen Engstand der Schneidezähne. Eine Lippeninkompetenz oder ein Zahnfleischlächeln lagen nicht vor (Abb. 1). Es wurden mehrere Behand-

Case presentation

Surgical planning

A 51-year-old man presented in May 2018 for the correction of mandibular and maxillary anterior crowding. The clinical examination revealed a deep bite tendency, convex profile, retruded mandible, and moderate incisor crowding. There was no lip incompetence or gummy smile (Fig 1). Several treatment options were considered: maxillary second premolar extractions, maxillary distalization, and orthognathic surgery. The patient refused orthognathic surgery and, for professional reasons, requested rapid orthodontic treatment and to wear braces for a short duration. To facilitate tooth movement and speed up the orthodontic treatment, corticotomies were planned for both arches before the installation of orthodontic appliances and the extraction of the maxillary second premolars. Braces were to be installed on the same day, immediately after the corticotomies. The patient understood and accepted the treatment.

A digital impression of the full arches was taken (Trios 3 Move; 3Shape, Copenhagen, Denmark). A recording of the occlusal forces was used to match cone beam computed tomography (CBCT) images with the digital print, whereas a mucosal approach was used to adjust the surgical guide.

Radiography was performed using CBCT (Model CS 9300; Carestream Health, Rochester, NY, USA). Images of the full arches were acquired with a 0.3-mm pixel size, 90 kV tube voltage, 4 mA beam current, and 8 s exposure time. CBCT had

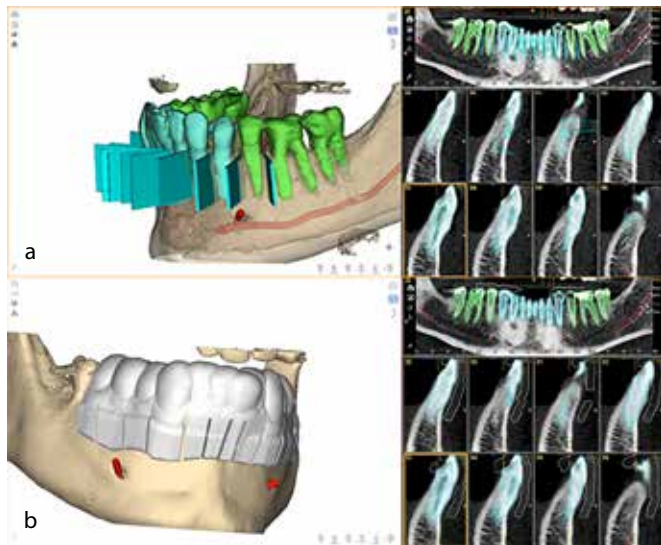


Fig 2 Cutting plan (a) and guide (b) simulation for corticotomies.

Abb. 2 Simulation der Schnittebenen (a) und der Schablone (b) für die Kortikotomien.

to include the teeth and vestibular and lingual cortices as well as the alveolar nerve for the mandible and floor of the nasal cavities, and the maxillary sinuses for the maxilla. Files of the scans were acquired in DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) format.

Guide conception

The digital print images were saved as standard tessellation language (STL) and CBCT files in DICOM format. These digital files were sent to the DSD Planning Center (Madrid, Spain) and integrated through computer-aided design (CAD) software (NemoStudio, version 12.12.0; Nemotec, Spain). Data were then processed with the dedicated software (NemoStudio) and built into three-dimensional (3D) models, which were superimposed by matching the surfaces. Each tooth was individualized on the 3D reconstruction; the bone supporting the teeth and the inferior alveolar nerve were distinguishable.

The guides were modelled by taking the space between the guide and the teeth stabilizing the guide to be 0.15 mm, and the thickness of the guides to not exceed 3 mm. To ensure the correct and complete insertion of the guides at the time of surgery, positioning windows were modelled as

lungsoptionen erwogen: die Extraktion der oberen zweiten Prämolaren, die Distalisierung im Oberkiefer und die orthognathe Chirurgie. Der Patient verweigerte die orthognathe Chirurgie und wünschte aus beruflichen Gründen eine kurze kieferorthopädische Behandlung mit kurzer Tragezeit einer Zahnspange. Zur Erleichterung der Zahnbewegung und Beschleunigung der kieferorthopädischen Behandlung wurden an Ober- und Unterkiefer vor dem Einsetzen der kieferorthopädischen Apparaturen und der Extraktion der oberen zweiten Prämolaren Kortikotomien geplant. Die Zahnspangen wurden noch am Operationstag, unmittelbar nach den Kortikotomien eingesetzt. Der Patient verstand die Behandlung und stimmte ihr zu.

Von beiden Kiefern wurde eine digitale Abformung angefertigt (Trios 3 Move; Fa. 3Shape, Kopenhagen, Dänemark). Die Bilder der digitalen Volumentomografie (DVT) und des digitalen Abdrucks wurden anhand der Bestimmung der Okklusalkräfte abgeglichen; die Operationsschablone wurde mit einem mukosalen Ansatz angepasst.

Die radiologischen Aufnahmen erfolgten mittels DVT (Model CS 9300; Fa. Carestream Health, Rochester, NY, USA). Die Bilder von Ober- und Unterkiefer wurden mit einer Pixelgröße von 0,3 mm, einer Röhrenspannung von 90 kV, einer Stromstärke von 4 mA und einer Belichtungszeit von 8 s aufgenommen. Die DVT sollte die Zähne, die vestibuläre und linguale Kortikalis sowie im Unterkiefer den N. alveolaris und am Oberkiefer den Sinusboden und die Sinus maxillares erfassen. Die Bilddaten wurden im DICOM-Format (Digital Imaging and Communications in Medicine) gespeichert.

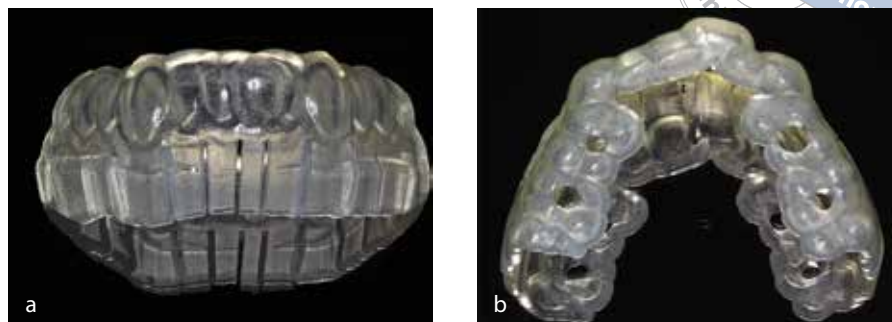
Entwerfen der Schablone

Die digitalen Druckdaten wurden im STL-Format (Standard Tessellation Language) und die DVT-Daten im DICOM-Format gespeichert. Diese digitalen Dateien wurden zum DSD Planning Center (Madrid, Spanien) gesendet und mithilfe eines CAD-Programms (NemoStudio, Version 12.12.0; Fa. Nemotec, Spanien) integriert. Dann wurden die Daten mit dieser speziellen Software (NemoStudio) zu dreidimensionalen Modellen weiterverarbeitet, die anhand eines Abgleichs der Oberflächen übereinandergelagert wurden. Jeder Zahn wurde in der dreidimensionalen Rekonstruktion einzeln dargestellt. Der Knochen, der die Zähne stützt, und der N. alveolaris inferior waren gut voneinander abgrenzbar.



Fig 3 Front view of mandibular guide (a) and occlusal view of maxillary guide showing positioning control openings (b).

Abb. 3 Frontalansicht der Unterkiefer-schablone (a) und okklusale Ansicht der Oberkieferschablone mit Ausrichtung der Kontrollöffnungen (b).



Für die Schablonen wurde davon ausgegangen, dass der Abstand zwischen der Schablone und den sie tragenden Zähnen 0,15 mm beträgt und die Schablone selbst nicht dicker als 3 mm ist. Damit die Schablonen bei der Operation korrekt und komplett eingesetzt werden konnten, wurden Positionierfenster eingearbeitet. Diese Öffnungen lagen auf der Okklusalseite der Zähne. Die Schnittebenen für das Einführen der piezoelektrischen Instrumente (Abb. 2) wurden nach folgenden Kriterien platziert:

- Die Kortikotomien erfolgten zwischen allen Zähnen in dem Bereich zwischen dem distalen Anteil des rechten zweiten Prämolars und dem distalen Anteil des linken zweiten Prämolars.
- Die Schnittebene reichte oben bis 2 mm unter den interdentalen Knochen und unten bis zur Wurzelspitze.
- Die Breite der Schneidritzen für die Kortikotomien wurde mit 0,8 mm festgelegt.
- Die Inzision sollte möglichst parallel zur senkrechten Zahnachse und genau mittig zwischen den beiden Zähnen verlaufen.

Die Schnittebenen und Schnittbreiten der Schablonen (Abb. 2) wurden vom Operateur kontrolliert, vor allem die oberen und unteren Grenzen der Schnittebenen, das Erfassen der gesamten Dicke des vestibulären Knochens und die Abstände der Schnittebenen zu N. alveolaris, Sinus und Zähnen. Nach der Freigabe durch den Chirurgen wurden die Modelle in STL-Dateien umformatiert und mit einem stereolithografischen 3-D-Desktop-Drucker (3D Printer Form 2; Fa. Formlabs, Somerville, MA, USA) gedruckt (Abb. 3). Um die visuelle Kontrolle der Operation zu verbessern, wurde ein durchscheinender, biokompatibler, lichtpolymerisierbarer Kunstharz (Photopolymer Resin, Clear, FLGPCL02; Fa. Formlabs) verwendet. Vor der Operation wurde die Schablone chemisch kalt sterilisiert.

part of the guides. These openings were located on the occlusal surfaces of the teeth. Cutting plans simulating the insertion of piezoelectric tools (Fig 2) were placed according to the following criteria:

- Corticotomies were realized between each tooth from the distal part of the right second premolar to the distal part of the left second premolar.
- The upper limit of the cutting plan was 2 mm under the bone papilla; the lower limit corresponded to the apex of the roots.
- The thickness of the grooves for the corticision was 0.8 mm.
- The incision path was as parallel as possible to the central axes of the teeth and located equidistantly between two teeth.

The modelling of the guides with the cutting plans and grooves in place (Fig 2) was controlled by the surgeon, particularly the upper and lower limits of the section plans; access to the entire thickness of the vestibular bone; and distances between the section plans and the alveolar nerve, sinus, and teeth. After approval by the surgeon, the models were converted to STL files and printed (Fig 3) with a desktop stereolithography 3D printer (3D Printer Form 2; Formlabs, Somerville, MA, USA). A transparent, biocompatible, photopolymerizable resin was used to improve the visual control of the surgery (Photopolymer Resin, Clear, FLGPCL02; Formlabs). Before surgery, the guide was subjected to cold chemical sterilization.

Surgery

The surgical procedure was performed under antibiotic prophylaxis initiated two hours before surgery (amoxicillin 2 g; Amoxi-Mepha; Mepha Pharma, Aesch, Switzerland). After local



anesthesia (articaine 68 mg per carpule; adrenaline 1/200 000, 8.5 µg/carpule), the surgical guide was positioned on the teeth (Fig 4). The position of the guide was adjusted using specially created windows in the guide to allow for visual inspection, and its stability and fit were carefully controlled.

Full thickness mucogingival incisions in the cutting grooves were performed using a 15C blade (Schreiber Instrumente, Fridingen/Donau, Germany). The guide was then removed. The bone had to be free of periosteum and gingival mucosa before further incisions were made with a piezosurgical device; therefore, access to the bone through the mucosal incision path was controlled using a small stripper. The guide was re-placed, and corticotomies were carried out through the grooves in the guide with abundant irrigation (Figs 5 and 6). A 0.5-mm-thick scalpel insert (CS3 Crest Splitting Kit; Satelec Acteon Group, Mérignac, France) was used for the corticotomies. Piezoelectric osseous cuts (Piezotome Solo; Satelec Acteon) were carefully made in low-frequency cutting mode. Each incision was closed with one or two non-absorbable interrupted sutures (Supramid; B. Braun Vet Care, Tuttlingen, Germany; Fig 7). The same surgical procedure was used for the corticotomies of the other arch.

Ibuprofen (400 mg) was administered for pain relief. The patient was instructed not to change his dental hygiene habits, to eat cold and soft food for the first day following the procedure, and to begin mouth washing 24 h after surgery. He was requested to assess his pain on a digital scale from 0 to 10 during surgery, two hours after surgery, and one day after surgery; the respective assessments were 0, 2, and 0. The orthodontic treatment started immediately after surgery with the placement of the appliances. Healing was assessed 1 week after surgery and the sutures were removed. The clinical examination took place one month later.

Results

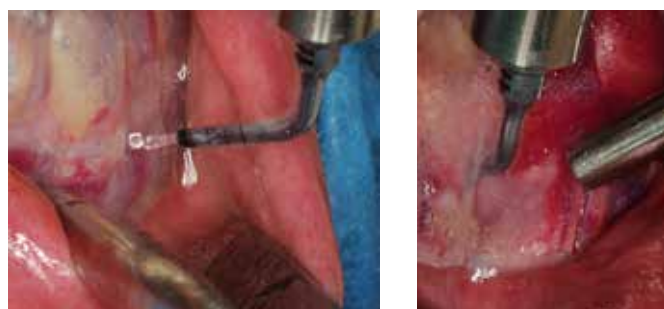
No adverse events were recorded during or after the surgery. No injury occurred to the noble anatomical elements such as the teeth and the inferior alveolar nerve. The patient reported no pain during surgery or one day, one week and one month after surgery, but he complained about moderate pain two hours after surgery. The healing was uneventful. No bone or mucosal infection or inflammation was observed. One month after the surgery, the sites were completely healed (Fig 8).

Operation

Die Operation wurde unter Antibiotikaprophylaxe durchgeführt. Dazu erhielt der Patient zwei Stunden präoperativ Amoxicillin 2 g (Amoxi-Mepha; Fa. Mepha Pharma, Aesch, Schweiz). Nach der Lokalanästhesie (Articain 68 mg per Karpule, Adrenalin 1/200 000, 8,5 µg/Karpule) wurde die Operationsschablone auf die Zähne gelegt (Abb. 4). Ihre Position wurde mit speziell angelegten Fenstern ausgerichtet, die eine visuelle Inspektion ermöglichen, und ihre Stabilität und Passung sorgfältig kontrolliert.

Mit einer 15C-Klinge (Fa. Schreiber Instrumente, Fridingen/Donau) wurden in den Schneidritzen mukogingivale Vollschnittinzisionen durchgeführt. Anschließend wurde die Schablone entfernt. Da der Knochen für weitere Inzisionen mit dem piezochirurgischen Instrument frei von Periost und gingivaler Mukosa sein musste, wurde der Zugang zum Knochen durch die mukosalen Inzisionen mit einem kleinen Stripper überprüft. Anschließend wurde die Schablone wieder eingelegt und die Kortikotomien wurden unter reichlicher Spülung durch die Schneidritzen der Schablone ausgeführt (Abb. 5 und 6). Für die Kortikotomien wurde ein 0,5 mm dicker Skalpell-einsatz (CS3 Crest Splitting Kit; Fa. Satelec Acteon Group, Mérignac, Frankreich) verwendet. Die piezoelektrischen Knochenschnitte (Piezotome Solo; Satelec Acteon) wurden vorsichtig im niederfrequenten Schneidmodus durchgeführt. Jede Inzision wurde mit ein oder zwei nicht resorbierbaren Einzelknopfnähten verschlossen (Supramid; Fa. B. Braun Vet Care, Tuttlingen; Abb. 7). Die Kortikotomien in Ober- und Unterkiefer wurden mit dem gleichen Operationsverfahren durchgeführt.

Zur Schmerzlinderung erhielt der Patient Ibuprofen (400 mg). Er wurde angewiesen, seine Maßnahmen zur Mundhygiene unverändert durchzuführen, am ersten postoperativen Tag nur weiche, kalte Speisen zu sich zu nehmen und 24 h nach der Operation mit Mundspülungen zu beginnen. Die Schmerzen bei der Operation, zwei Stunden sowie einen Tag danach sollte er auf einer digitalen Skala von 0 bis 10 einstufen; er gab die Schmerzstärke mit 0, 2 und 0 an. Die kieferorthopädische Behandlung begann sofort postoperativ mit dem Einsetzen der Apparaturen. Eine Woche nach der Operation wurde der Heilungsverlauf überprüft und wurden die Fäden gezogen. Die klinische Untersuchung erfolgte einen Monat später.

Fig 4 Guide positioned on the mandibular teeth.**Abb. 4** Auf die Unterkieferzähne gesetzte Schablone.**Fig 5** Abundant irrigation (100 ml/min) during bone incisions.**Abb. 5** Reichliche Spülung (100 ml/min) während der Knocheninzisionen.**Fig 6** Mucoperiosteal incisions and corticotomies on the mandible.**Abb. 6** Mukoperiostale Inzisionen und Kortikotomien am Unterkiefer.**Fig 7** Sutures and orthodontic appliances: mandible (a) and maxilla (b). Appliances were placed on the same day as the surgery.**Abb. 7** Nähte und kieferorthopädische Apparaturen: Unterkiefer (a) und Oberkiefer (b). Die Apparaturen wurden noch am Operationstag eingesetzt.

Ergebnisse

Während und nach der Operation traten keine unerwünschten Ereignisse auf. Es wurden keine wichtigen anatomischen Strukturen, wie die Zähne oder der N. alveolaris inferior, verletzt. Der Patient gab weder während der Operation, noch einen Tag, eine Woche oder ein Jahr später Schmerzen an; allerdings bestanden zwei Stunden postoperativ mäßige Schmerzen. Die Heilung verlief ohne Komplikationen. Es fand sich keine Infektion oder Entzündung von Knochen oder Mukosa. Einen Monat postoperativ waren alle Bereiche vollständig abgeheilt (Abb. 8).

**Fig 8** Uneventful healing one month after surgery.**Abb. 8** Komplikationslose Heilung einen Monat postoperativ.



Discussion

The aim of the present case report was to present the digital conception and production of a surgical guide for corticotomies undertaken within a SFOT. The guide was tailored to perform a safe, flapless piezosurgery before the commencement of orthodontic treatment.

Digital technology is rapidly becoming increasingly useful and essential at every stage of the treatment of patients requiring dental care, particularly for diagnosis, treatment planning, and implementation¹⁵. Guided surgery has become widely available in the field of implantology. Orthodontic surgery refers to different procedures that include surgery of impacted teeth (disimpaction and extraction), placement of orthodontic anchors, and SFOT. To the authors' knowledge, however, and unlike in the case of implantology, few studies have described orthodontically guided surgical procedures. Cassetta et al used guided surgery for the placement of orthodontic miniscrews in implant surgery¹⁶. Wang et al reported on the navigation-guided extraction of impacted supernumerary teeth¹⁷. Only two studies have reported on the use of surgical guides obtained by 3D printing for corticotomies^{11,18}. To decrease the risk of intraoperative damage, Cassetta et al planned the location and depth of the corticotomies using preoperative CBCT, and used a surgical guide obtained by 3D printing¹¹. Hou et al designed a translucent, rigid, porous guide to improve visibility, guidance, and irrigation during surgery¹⁸.

Most software used for modelling has been developed for research purposes^{11,18}. However, some apps and software were designed to assist esthetic dentistry practitioners (treatment planning and clinical evaluation) as well as implant surgeons (guided implant surgery)¹⁹⁻²². The use of a complete digital intraoral and laboratory workflow and versatile software specially developed for dentistry might render guided corticotomies accessible to a large number of practitioners. Furthermore, the development of such safer procedures should also increase acceptance of the treatment by patients.

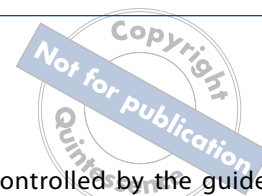
In the present report, the information collected from the preoperative CBCT images and digital print allowed for the precise analysis of the anatomical situation, including the position, shapes, and axes of the roots as well as their distance from each other and the lower alveolar nerve. The thickness of the vestibular cortex was measured to ensure that the piezosurgical instrument crossed the entire thickness, not only of the guide and the gums but also of the cortex. The cutting planes for carrying out the corticotomies were positioned precisely according to the anatomy of the

Diskussion

Ziel des hier geschilderten Fallberichts war die Vorstellung des digitalen Entwurfs und der digitalen Produktion einer Operationsschablone zur Durchführung von Kortikotomien im Rahmen der chirurgisch unterstützten kieferorthopädischen Behandlung. Die Schablone wurde so gestaltet, dass sie vor Beginn der kieferorthopädischen Behandlung eine sichere, lappenlose Piezochirurgie ermöglichte.

Der Nutzen der digitalen Technologie nimmt rasant zu und sie wird in allen Stadien der Behandlung von Patienten, bei denen eine zahnärztliche Behandlung erforderlich ist, immer entscheidender – insbesondere für Diagnostik, Behandlungsplanung und -durchführung¹⁵. Die geführte Chirurgie steht inzwischen allgemein in der Implantologie zur Verfügung. Als orthodontische Chirurgie werden verschiedene Verfahren bezeichnet, zu denen die Operation impaktierter Zähne (Aufrichtung und Extraktion), das Setzen orthodontischer Anker und die chirurgisch unterstützte kieferorthopädische Behandlung gehören. Soweit die Autoren wissen und anders als in der Implantologie, gibt es jedoch nur wenige Studien zu orthodontisch geführten Operationsverfahren. In der Implantatchirurgie setzten Cassetta et al. mithilfe der geführten Chirurgie orthodontische Minischrauben¹⁶. Wang et al. beschrieben die navigationsgeführte Extraktion impaktierter überzähliger Zähne¹⁷. Nur zwei Studien befassten sich mit dem Einsatz von Operationsschablonen, die mittels 3-D-Druck für Kortikotomien angefertigt wurden^{11,18}. Um die Gefahr einer intraoperativen Verletzung zu reduzieren, planten Cassetta et al. Lage und Tiefe der Kortikotomien anhand der präoperativen DVT und verwendeten eine mittels 3-D-Druck angefertigte Operationsschablone¹¹. Hou et al. entwarfen eine durchscheinende, starre, poröse Schablone zur perioperativen Verbesserung von Sicht, Führung und Spülung¹⁸.

Die meisten Programme zur Modellbildung wurden zu Forschungszwecken entwickelt^{11,18}. Manche Apps und Programme wurden jedoch so entworfen, dass sie die auf dem Gebiet der ästhetischen Zahnheilkunde tätigen Ärzte (bei Behandlungsplanung und klinischer Evaluation) sowie die Implantatchirurgen (durch geführte Implantationen) unterstützen können¹⁹⁻²². Durch komplett digitale intraorale und labortechnische Arbeitsabläufe und vielseitige Programme, die speziell für die Zahnheilkunde entwickelt wurden, dürften Kortikotomien für noch mehr Ärzte als Behandlungsoption infrage kommen. Außerdem sollte die Entwicklung derartiger sicherer Verfahren die Akzeptanz seitens der Patienten erhöhen.



Im vorliegenden Bericht ermöglichten die mit den präoperativen DVT-Aufnahmen und dem digitalen Abdruck gewonnenen Informationen eine präzise Analyse der anatomischen Situation, einschließlich Position, Form und Ausrichtung der Zahnwurzeln sowie deren Abstand voneinander und zum N. alveolaris inferior. Um sicherzustellen, dass das piezochirurgische Instrument nicht nur die Schablone und Zahnfleisch, sondern auch die Kortikalis auf voller Dicke durchtrennt, wurde die Dicke der vestibulären Kortikalis ermittelt. Die Schnittebenen der Kortikotomien wurden gemäß der Anatomie des Patienten präzise festgelegt. Dieser Schritt wurde sorgfältig vom Planer der Schablone und dem durchführenden Chirurgen überprüft. Auf diese Weise erhöhte die Schablone Sicherheit und Präzision des operativen Eingriffs.

Die Schablone war leicht in der Handhabung, effektiv und mit der lappenlosen Piezochirurgie kompatibel. Aufgrund ihrer Starrheit widerstand sie den mechanischen Belastungen der Zähne beim Einsetzen und Herausnehmen und wurde während des Einsatzes der chirurgischen Instrumente nicht auf den eindrückbaren mukosalen Bereichen verformt. Die korrekte Lage der Schablone konnte aufgrund ihrer Durchsichtigkeit und anhand ihrer Öffnungen überprüft werden. Der Abstand von 0,15 mm zwischen der Schablone und den sie stützenden Zähnen ähnelte demjenigen bei zahngelagerten Schablonen in der dentalen Implantologie. Wird dieser Abstand zu klein gewählt, kommt es zur starken Reibung an den Zähnen und das Einsetzen der Schablone ist sehr schwierig. Wird er zu groß gewählt, sitzt die Schablone nicht stabil.

Durch die Verwendung der Schablone war eine piezoelektrische Operation möglich. Um die Tiefe der Kortikotomien zu kontrollieren, war die Schablone nicht dicker als 3 mm, sodass das Arbeitsteil des 10 mm langen Bohrers des piezoelektrischen Instruments Schablone, Zahnfleisch und vestibuläre Kortikalis erfasste. Der Bohrer reichte ein paar Millimeter in die Spongiosa, ohne dass dies mit einem zusätzlichen Risiko assoziiert gewesen wäre. Außerdem dürfte der Einsatz niederfrequenter piezoelektrischer Frequenzen zum Schneiden der mineralisierten Strukturen die Weichgewebe vor Verletzungen geschützt haben²³. Aufgrund der reichlichen Spülung und der regelmäßigen Pausen während der Operation gab es keine Anzeichen für eine Knochenerwärmung. Die Bedeutung einer ausreichenden Spülung wurde von Schlee et al. und Lajolo et al bestätigt^{24,25}.

Im Gegensatz zu der von Dibart et al. beschriebenen Technik wurden bei dem hier beschriebenen Verfahren keine Lappen mobilisiert – trotzdem wurde es aber nicht blind

patient. This step was carefully controlled by the guide designer and the surgeon. In this way, the guide rendered the surgical procedure safer and more accurate.

The guide was easy to use, effective, and compatible with flapless piezosurgery. As a result of its rigidity, the guide resisted the mechanical stresses on the teeth during insertion and disinsertion, and was not deformed on the depressible mucous areas during the use of surgical instruments. The correct position of the guide was controlled by its transparency and through its openings. The distance of 0.15 mm between the guide and the teeth stabilizing it was similar to that of dental-supported guides for implantology. If this space is too small, the friction on the teeth is high and the insertion of the guide is a delicate procedure; if the space is too wide, the guide lacks stability.

The guide allowed for the performance of piezoelectric surgery. To control the depth of the corticotomies, the thickness of the guide did not exceed 3 mm, such that the working part of the 10-mm-long drill of the piezoelectric tool passed through the guide, gum, and vestibular cortex. The drill protruded a few millimeters into the cancellous bone without any additional risk. Furthermore, the use of low piezoelectric frequencies needed to cut the mineralized structures might have protected the soft tissue from injury²³. There was no sign of bone warming because of the abundant irrigation utilized and the regular pauses taken during surgery. The need for sufficient irrigation was confirmed by Schlee et al and Lajolo et al^{24,25}.

Unlike the technique reported by Dibart et al, the present procedure involved no flaps, yet it was not blind⁵. Preoperative CBCT permitted radiographic visualization of the different anatomical elements, and the guide enabled the optimal positioning of the surgical instruments. Therefore, the risk of damaging a noble anatomical element such as a root or the lower alveolar nerve was considerably decreased. Flapless surgery has been shown to reduce postoperative pain and the need for analgesics²⁶.

Since the present report was limited to a short follow-up, conclusions could not be drawn about the orthodontic treatment. Further research with a larger sample of patients is needed to bring the protocol described in this article into general use. The follow-up of patients to the end of the orthodontic treatment is necessary to evaluate the benefit of corticotomies in terms of treatment duration.



Conclusion

In the search for a SFOT technique that is safe, easy to implement, minimally invasive, and painless, the surgical guide for corticotomies developed with a complete digital intraoral and laboratory workflow might be a tool of choice. The guide was inserted easily, placed on the teeth accurately, and remained stable. It allowed for the performance of a minimally invasive flapless technique and accurate piezosurgery with reduced risk of root and lower alveolar nerve damage. However, further studies on a larger number of patients are needed to establish whether the use of a surgical guide for corticotomies is reproducible and reliable.

Acknowledgment

The authors thank the team at LDC Laboratoire Dentaire de Chauderon (Lausanne, Switzerland) for the production of the surgical guide.

Disclaimer

The authors have no conflicts of interest in relation to this study.

References

1. Robb SI, Sadowsky C, Schneider BJ, BeGole EA. Effectiveness and duration of orthodontic treatment in adults and adolescents. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998;114:383–386.
2. Skidmore KJ, Brook KJ, Thomson WM, Harding WJ. Factors influencing treatment time in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129:230–238.
3. Khan RS, Horrocks EN. A study of adult orthodontic patients and their treatment. *Br J Orthod* 1991;18:183–194.
4. Wilcko WM, Wilcko T, Bouquot JE, Ferguson DJ. Rapid orthodontics with alveolar reshaping: two case reports of decrowding. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2001;21:9–19.
5. Dibart S, Sebaoun JD, Surmenian J. Piezocision: a minimally invasive, periodontally accelerated orthodontic tooth movement procedure. *Compend Contin Educ Dent* 2009;30:342–344, 346, 348–350.
6. Alikhani M, Raptis M, Zoldan B, et al. Effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;144:639–648.
7. Al-Naoum F, Hajeer MY, Al-Jundi A. Does alveolar corticotomy accelerate orthodontic tooth movement when retracting upper canines? A split-mouth design randomized controlled trial. *J Oral Maxillofac Surg* 2014;72:1880–1889.
8. Fleming PS, Fedorowicz Z, Johal A, El-Angebawi A, Pandis N. Surgical adjunctive procedures for accelerating orthodontic treatment. *Cochrane Database Syst Rev* 2015;6:CD010572.

durchgeführt⁵. Die präoperative DVT stellte die verschiedenen anatomischen Elemente radiologisch dar, und die Schablone ermöglichte die optimale Ausrichtung der chirurgischen Instrumente. Dadurch wurde das Risiko für eine Verletzung wichtiger anatomischer Strukturen, wie Zahnwurzeln oder N. alveolaris inferior, deutlich reduziert. Lappenlose Eingriffe erzeugen postoperativ nachweislich weniger Schmerzen, sodass weniger Analgetika erforderlich sind²⁶.

Aufgrund der kurzen Beobachtungszeit des vorliegenden Berichts ist keine abschließende Bewertung der kieferorthopädischen Behandlung möglich. Es sind weitere Studien an größeren Patientenpopulationen erforderlich, damit das in diesem Artikel beschriebene Protokoll breitflächiger eingesetzt werden kann. Außerdem müssen die Patienten nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung weiter beobachtet werden, um den Nutzen von Kortikotomien hinsichtlich der Behandlungsdauer bewerten zu können.

Schlussfolgerung

Bei der Suche nach einem sicheren, leicht durchführbaren, minimalinvasiven und schmerzlosen Verfahren zur chirurgisch unterstützten kieferorthopädischen Behandlung könnte die Operationsschablone für Kortikotomien, die mit einem komplett digitalisierten intraoralen und labortechnischen Workflow angefertigt wird, ein Instrument der Wahl sein. Die Schablone ließ sich leicht einsetzen, präzise auf den Zähnen platzieren und blieb stabil. Sie ermöglichte die Durchführung einer minimalinvasiven lappenlosen Operation mit präziser Piezochirurgie und einem reduzierten Risiko für Verletzungen der Zahnwurzeln und des N. alveolaris inferior. Allerdings sind weitere Studien an größeren Patientenpopulationen erforderlich, um zu klären, ob der Einsatz einer Operationsschablone für Kortikotomien reproduzierbar und reliabel ist.

Danksagung

Die Autoren danken dem Team von LDC Laboratoire Dentaire de Chauderon (Lausanne, Schweiz) für die Anfertigung der Operationsschablone.

Interessenkonflikt

Die Autoren geben bezogen auf diese Studie keine Interessenkonflikte an.

9. Abbas NH, Sabet NE, Hassan IT. Evaluation of corticotomy-facilitated orthodontics and piezocision in rapid canine retraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016;149:473–480.
10. Shoreibah EA, Ibrahim SA, Attia MS, Diab MM. Clinical and radiographic evaluation of bone grafting in corticotomy-facilitated orthodontics in adults. *J Int Acad Periodontol* 2012;14:105–113.
11. Cassetta M, Pandolfi S, Giansanti M. Minimally invasive corticotomy in orthodontics: a new technique using a CAD/CAM surgical template. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2015;44:830–833.
12. Gonen ZB, Alkan A, Ekizer A, Kutuk N, Tasdemir Z. Evaluation of vestibular bone thickness in Class I malocclusion treatment with corticotomy-assisted rapid orthodontics. *J Craniofac Surg* 2019;30:e727–e733.
13. Shoreibah EA, Salama AE, Attia MS, Abu-Seida SM. Corticotomy-facilitated orthodontics in adults using a further modified technique. *J Int Acad Periodontol* 2012;14:97–104.
14. Chandra S, Vaidya M, Avinash BS, Jyothikiran H, Raghunath N. An innovative approach for faster orthodontic tooth movement – A case report. *Int J Med Dent Case Rep* 2018;5:1–4.
15. van der Meer WJ, Vissink A, Ren Y. Full 3-dimensional digital workflow for multicomponent dental appliances: a proof of concept. *J Am Dent Assoc* 2016;147:288–291.
16. Cassetta M, Altieri F, Di Giorgio R, Barbato E. Palatal orthodontic miniscrew insertion using a CAD-CAM surgical guide: description of a technique. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2018;47:1195–1198.
17. Wang J, Cui NH, Guo YJ, Zhang W. Navigation-guided extraction of impacted supernumerary teeth: a case report. *J Oral Maxillofac Surg* 2017;75:1136.e1–1136.e5.
18. Hou HY, Li CH, Chen MC, et al. A novel 3D-printed computer-assisted piezocision guide for surgically facilitated orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2019;155:584–591.
19. Vercruyssen M, Cox C, Coucke W, Naert I, Jacobs R, Quirynen M. A randomized clinical trial comparing guided implant surgery (bone- or mucosa-supported) with mental navigation or the use of a pilot-drill template. *J Clin Periodontol* 2014;41:717–723.
20. Somogyi-Ganss E, Holmes HI, Jokstad A. Accuracy of a novel prototype dynamic computer-assisted surgery system. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:882–890.
21. Coachman C, Calamita MA, Coachman FG, Coachman RG, Sesma N. Facially generated and cephalometric guided 3D digital design for complete mouth implant rehabilitation: a clinical report. *J Prosthet Dent* 2017;117:577–586.
22. Coachman C, Georg R, Bohner L, Rigo LC, Sesma N. Chairside 3D digital design and trial restoration workflow [epub ahead of print 7 Jan 2020]. *J Prosthet Dent* 2020. doi:10.1016/j.prosdent.2019.10.015.
23. Brugnami F, Caiazzo A, Mehra P. Piezosurgery-assisted, flapless split crest surgery for implant site preparation. *J Maxillofac Oral Surg* 2014;13:67–72.
24. Schlee M, Steigmann M, Bratu E, Garg AK. Piezosurgery: basics and possibilities. *Implant Dent* 2006;15:334–340.
25. Lajolo C, Valente NA, Romandini WG, Petrucci M, Verdugo F, D'Addona A. Bone heat generated using conventional implant drills versus piezosurgery unit during apical cortical plate perforation. *J Periodontol* 2018;89:661–668.
26. Fortin T, Bosson JL, Isidori M, Blanchet E. Effect of flapless surgery on pain experienced in implant placement using an image-guided system. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006;21:298–304.



Marion Paris

Marion Paris, DDS, MS

Ardentis Clinique Dentaire Vevey, Swiss Dental Clinics Group, Vevey, Switzerland

Nathalie Nurdin, PhD

Ardentis Clinique Dentaire Vevey, Swiss Dental Clinics Group, Vevey, Switzerland

Guillermo Manzano, DDS, MS

DSD Planning Center, Madrid, Spain

Francesca Caroleo, DMD, MS

Clinique Dentaire Ardentis EPFL, Swiss Dental Clinics Group, Ecublens, Switzerland

Yassine Messaoudi, DSD, MS

Ardentis Clinique Dentaire Vevey, Swiss Dental Clinics Group, Vevey, Switzerland

Mark Bischof, DMD, MS

Ardentis Clinique Dentaire Vevey, Swiss Dental Clinics Group, Vevey, Switzerland

Rabah Nedir, DMD, MS

Ardentis Clinique Dentaire Vevey, Swiss Dental Clinics Group, Vevey, Switzerland

Christian Coachman, DDS, CDT

DSD Planning Center, Madrid, Spain

Address Dr Marion Paris, Ardentis Clinique Dentaire Vevey, Swiss Dental Clinics Group, Rue du Collège 3, 1800 Vevey, Switzerland; Email: publications@ardentis.ch