

Zastosowanie drukowanych replik 3D w autotransplantacji zębów przedtrzonowych z nieukończonym rozwojem korzenia – opis przypadku

Application of 3D printed tooth replicas for autotransplantation of developing premolars: a case report

Jakub Książkowski¹**BDE**

Ewa Monika Czochrowska²**AEEF** (ORCID ID: 0000-0003-1009-6483)

Wkład autorów: **A** Plan badań **B** Zbieranie danych **C** Analiza statystyczna **D** Interpretacja danych
E Redagowanie pracy **F** Wyszukiwanie piśmiennictwa

Authors' Contribution: **A** Study design **B** Data Collection **C** Statistical Analysis **D** Data Interpretation
E Manuscript Preparation **F** Literature Search

¹ Zakład Ortodoncji, Centrum Medyczne Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego
Department of Orthodontics, Medical Center of the Medical University in Warsaw

² Zakład Ortodoncji, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Department of Orthodontics, Medical University in Warsaw

Streszczenie

Autotransplantacja zębów może być stosowana w leczeniu wrodzonych braków zawiązków zębów przedtrzonowych. Powikłania są bezpośrednio związane z urazem jatrogennym powierzchni korzenia zęba transplantowanego podczas zabiegu chirurgicznego. **Cel.** Celem pracy było przedstawienie zastosowania drukowanych replik 3D w autotransplantacji zębów przedtrzonowych z nieukończonym korzeniem oraz przegląd piśmiennictwa dotyczącego tej

Abstract

Tooth autotransplantation can be applied to treat congenital agenesis of premolars. Complications are directly related to iatrogenic injury to the root surface of a transplanted tooth during surgery. **Aim.** The aim of the article was to present the application of 3D printed tooth replicas for autotransplantation of developing premolars and to review the relevant literature. **Case report.** Autotransplantation of unerupted maxillary second premolars using 3D replicas

Adres do korespondencji/*Correspondence address:*

Ewa Monika Czochrowska
Zakład Ortodoncji WUM
ul. Binińskiego 6
02-097 Warszawa
e-mail: info@czochrowska.com



Copyright: © 2005 Polish Orthodontic Society. This is an Open Access journal, all articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), allowing third parties to copy and redistribute the material in any medium or format and to remix, transform, and build upon the material, provided the original work is properly cited and states its license.

Application of 3D printed tooth replicas for autotransplantation of developing premolars: a case report

tematyki. **Opis przypadku.** U pacjenta lat 11 z wrodzonym brakiem zawiązków drugich dolnych zębów przedtrzonowych zaplanowano autotransplantację niewyrzniętych górnych zębów przedtrzonowych z zastosowaniem drukowanych replik 3D zębów donorowych na podstawie badania CBCT. Wskazania ortodontyczne do zabiegu transplantacji obejmowały występowanie stłoczeń zębów w szczęcie i relacji dystalnych w odcinkach bocznych. Podczas zabiegów autotransplantacji nie doszło do powikłań. Po roku od zabiegu obserwowano prawidłowe gojenie obejmujące obliterację komory i kanału korzeniowego zębów transplantowanych, ich wyrzynanie do płaszczyzny zgryzu oraz prawidłowy stan miękkich i twardych tkanek przyzębia wokół przeszczepianych zębów. **Wnioski.** Zastosowanie drukowanych replik 3D zębów transplantowanych ułatwia opracowanie chirurgiczne łoża kostnego, skraca czas pozostawiania zęba donorowego poza środowiskiem jamy ustnej i eliminuje do minimum liczbę prób umieszczenia zęba donorowego w miejscu biorczym. Może to mieć istotny wpływ na zmniejszenie ryzyka uszkodzenia powierzchni korzenia zęba transplantowanego, a w konsekwencji zwiększenie szansy na powodzenie zabiegu. Repliki 3D mogą być szczególnie przydatne dla operatorów, którzy nie mają dużego doświadczenia klinicznego w zabiegach autotransplantacji zębów. **(Księżopolski J, Czochrowska EM. Zastosowanie drukowanych replik 3D w autotransplantacji zębów przedtrzonowych z nieukończonym rozwojem korzenia – opis przypadku. Forum Ortod 2020; 16 (4): 328-42).**

Nadesłano: 01.08.2020

Przyjęto do druku: 30.11.2020

<https://doi.org/10.5114/for.2020.102230>

Słowa kluczowe: agenezja zębów, autotransplantacja zębów, obliteracja mięzi, repliki zębów, stożkowa tomografia komputerowa

Wstęp

Autotransplantacja zębów jest zabiegiem chirurgicznym polegającym na przeszczepieniu zęba z jednego miejsca jamy ustnej w inne, wykonanym u tego samego pacjenta. W piśmiennictwie potwierdzono wysoką skuteczność autotransplantacji zębów z nieukończonym rozwojem, także w perspektywie wieloletniej. Najczęściej autotransplantowane są zęby przedtrzonowe lub trzecie zęby trzonowe (1, 2, 3, 4). Autotransplantacje zębów przeprowadza się przede wszystkim u młodych pacjentów w leczeniu urazów górnych zębów siecznych, w przypadku wrodzonego braku zawiązków zębów przedtrzonowych lub złego rokowania pierwszych zębów trzonowych w przebiegu choroby próchnicowej (5). Czynniki, które korzystnie wpływają na powodzenie zabiegu autotransplantacji to łatwy dostęp chirurgiczny do przeszczepianego zęba i jego korzystna

was scheduled in an 11-year-old patient with congenital agenesis of mandibular second premolars based on the CBCT examination. Orthodontic indications for tooth transplantation comprised maxillary crowding and distal relations in posterior segments. No complications occurred during the surgery. One year after transplantation normal healing of the transplanted teeth was observed which included pulp obliteration, normal eruption into occlusion, continuous root development and healthy soft and hard periodontal tissues. **Conclusions.** Application of printed 3D replicas of transplanted teeth facilitates surgical preparation of the recipient site, shortens the extra-alveolar time, and reduces to the minimum the number of attempts of the donor tooth insertion at the prepared socket. Their use can significantly decrease the risk of damage to the root surface of a transplant, thus increasing the chance of success. 3D replicas can be very useful for operators with a limited clinical experience in autotransplantation surgery. **(Księżopolski J, Czochrowska EM. Application of 3D printed tooth replicas for autotransplantation of developing premolars: a case report. Orthod Forum 2020; 16 (4): 328-42).**

Received: 01.08.2020

Accepted: 30.11.2020

<https://doi.org/10.5114/for.2020.102230>

Key words: cone-beam computed tomography, pulp obliteration, tooth agenesis, tooth autotransplantation, tooth replica

Introduction

Tooth autotransplantation is a surgical movement of a tooth from one site to another in the same patient. Reports in literature confirm high effectiveness of the autotransplantation procedure, also long-term, for teeth with developing roots. Premolars and third molars are the most frequently autotransplanted teeth (1,2,3,4). Autotransplantation of teeth is the most often performed in young patients following trauma to maxillary incisors. Other indications include congenital agenesis of premolars or poor prognosis of first molars as a consequence of caries (5). In such cases, premolars from the contralateral quadrant or the opposing dental arch, which would otherwise be extracted for orthodontic reasons, are frequently selected as donors. Factors, which favorably determine the success of the procedure, include easy surgical access to the transplanted tooth and its feasible morphology (single-rooted teeth) (5). Contraindications include poor oral hygiene and co-existing systemic diseases that exclude surgical procedures in the oral cavity such as cardiological ailments or coagulation disorders (6).

Autotransplantation of developing upper second premolars is a recommended modality for treatment of agenesis of mandibular second premolars in patients with Class II

morfologia (zęby jednokorzeniowe) (5). Przeciwskazaniem do zabiegu są zła higiena jamy ustnej i towarzyszące choroby ogólne, takie jak choroby serca lub zaburzenia krzepliwości krwi (6).

Autotransplantacja drugich górnych zębów przedtrzonowych z nieukończonym rozwojem korzenia jest zalecaną metodą leczenia agenezji drugich dolnych zębów przedtrzonowych u pacjentów z wadami II klasy i/lub słóceniami w szczęce, ze względu na korzystne wskazania ortodontyczne do ekstrakcji tych zębów (7). Jest to leczenie alternatywne w odniesieniu do innych metod leczenia agenezji drugich zębów przedtrzonowych, takich jak zachowanie przetrwałych mlecznych drugich zębów trzonowych, szlifowanie selektywne lub hemisekcja tych zębów, ortodontyczne zamykanie przestrzeni oraz protetyczne uzupełnienia braków, np. przez zastosowanie mostów adhezyjnych (5). U pacjentów rosnących stosowanie implantów zębowych jest przeciwskazane ze względu na ich brak adaptacji do zmian wzrostowych szczęk (8). Autotransplantacja zębów przedtrzonowych z nieukończonym rozwojem korzenia umożliwia uzupełnienie braku naturalnym zębem, dobrze rokującym długoczasowo (9).

Podczas autotransplantacji zębów, podobnie jak w przypadku każdego zabiegu chirurgicznego, mogą się pojawić powikłania. Zaliczamy do nich różnego rodzaju resorpcje korzeni, wśród których najczęściej występują resorpcja zamienna (replacement resorption) lub resorpcja przy szyjkowa (cervical resorption). W przebiegu resorpcji zamiennej dochodzi do zastępowania cementu korzeniowego oraz zębiny przez tkankę kostną. Skutkiem tego procesu jest niepodążanie zęba za wzrostem wyrostka zębodołowego, a w efekcie zahamowanie tego wzrostu w bezpośrednim otoczeniu zęba, co manifestuje się jego postępującą infrapozycją (10).

Wprowadzenie obrazowania trójwymiarowego w radiologii, w tym upowszechnienie tomografii komputerowej wiązką stożkową (CBCT, Cone-Beam Computed Tomography), pomogło w lepszym zaplanowaniu zabiegu pod kątem oceny i dopasowania morfologii zęba donorowego i miejsca biorczego (11). Wprowadzenie technik cyfrowych 3D umożliwiło wykonywanie wydruków cyfrowych zębów transplantowanych, tak zwanych replik zębów (tooth replica). Repliki zębów transplantowanych, które mogą być wykorzystane przy preparacji miejsca biorczego, zmniejszają potencjalne ryzyko uszkodzenia powierzchni zęba służącego jako donor podczas umieszczania go w miejscu biorczym oraz skracają czas przebywania zęba donorowego poza jamą ustną. Kolejne próby umieszczenia przeszczepianego zęba w przypadku niewystarczającej preparacji łoża biorczego zwiększają ryzyko uszkodzenia powierzchni korzenia i wydłużają czas przebywania zęba poza jamą ustną (12). W piśmiennictwie polskim brak publikacji dotyczących wykorzystania replik 3D w autotransplantacji zębów.

malocclusions and/or crowding in a maxilla crowding because of favorable orthodontic indications for their extraction (7). It is a good option to other alternative treatments of agenesis of second premolars which include retaining persistent deciduous molars, selective grinding or hemisection of these teeth, orthodontic space closure and prosthetic replacements with, for example, adhesive bridges (5). In growing patients, the use of implants is contraindicated due to their lack of adaptation to growth changes (8). Autotransplantation of premolars with developing roots provides long-term rehabilitation of the edentulous gap with a natural tooth (9).

As with any surgical procedure, complications may occur after tooth autotransplantation. These include different types of root resorption and the most commonly seen are replacement resorption (ankylosis) or cervical resorption. Replacement resorption is a pathological fusion between alveolar bone and the root cementum, due to which the tooth does not follow growth changes and undergoes gradual infraction (10).

Introduction of 3D imaging to radiology, and more and more widespread use of cone beam computed tomography (CBCT) have improved the treatment planning process in the aspect of evaluating and matching the morphology of the donor tooth to the recipient site (11). Also, 3D digital technology has enabled printing of digital replicas of transplanted teeth. Tooth replicas can be used during surgical preparation of the recipient site; they also decrease the risk of damage to the root surface of a donor tooth during its placement at the recipient site and shorten its extra-alveolar time. Each subsequent attempt of insertion of the transplanted tooth into an insufficiently prepared recipient site increases the risk of damage to the root cementum and extends the time which a donor is kept outside alveolar bone (12). In the Polish literature there are no publications regarding the use of 3D replicas in tooth transplantation.

Aim

The aim of the paper was to present applications of 3D replicas for the transplantation of developing maxillary second premolars in a patient with congenital agenesis of mandibular second premolars and to review the relevant literature.

Case report

Diagnosis

A generally healthy patient aged 11 years was seeking orthodontic treatment with a chief complaint of crowding of his upper teeth in April 2019 (Fig.1). The patient was in the late mixed dentition period, upper premolars and second molars were unerupted at that stage. In the posterior segments, Angle and canine Class II relationships were observed on both sides. Overjet and overbite were within the norm. Upper right lateral incisor was in a crossbite, which was the patient's main aesthetic concern. In the upper arch the midline

*Application of 3D printed tooth replicas for autotransplantation of developing premolars: a case report***Cel**

Celem pracy było przedstawienie zastosowania replik 3D w transplantacji zawiązków drugich górnych zębów przedtrzonowych u pacjenta z wrodzonym brakiem zawiązków drugich dolnych zębów przedtrzonowych oraz przegląd piśmiennictwa dotyczącego tej tematyki.

Opis przypadku**Diagnoza**

Pacjent, lat 11, ogólnie zdrowy zgłosił się do leczenia ortodontycznego z powodu stłoczeń górnych zębów w odcinku przednim w kwietniu 2019 roku (Ryc. 1). Pacjent był w okresie późnego uzębienia mieszanego, górne zęby przedtrzonowe i drugie zęby trzonowe były niewyrżnięte. W odcinkach bocznych stwierdzono obustronne występowanie II klasy Angle'a i II klasy kłowej. Nagryz poziomy i pionowy były w granicach normy. Prawy górny ząb sieczny boczny był położony w zgryzie krzyżowym, co stanowiło dla pacjenta główny problem estetyczny. Linia pośrodkowa górnego łuku zębowego była przesunięta o 3 mm w prawą stronę w odniesieniu do linii pośrodkowej twarzy, zaś linia pośrodkowa dolnego łuku była z nią zgodna. Stwierdzono obecność umiarkowanych stłoczeń zębów w górnym łuku zębowym. Higiena jamy ustnej była dobra. Na zdjęciu pantograficznym stwierdzono wrodzony brak zawiązków drugich dolnych zębów przedtrzonowych i przetrwałe drugie dolne zęby trzonowe mleczne bez cech infrapozycji (Ryc. 2). Analiza cefalometryczna nie wykazała znacznych odchyżeń od normy dla relacji szkieletowych i zębowych, z nieznaczną tendencją do retrognatycznego typu twarzy (Tab. 1, Ryc. 3). Profil pacjenta był prosty.

Cele i plan leczenia

Cele leczenia obejmowały:

- prawidłowe uszeregowanie zębów
- uzyskanie prawidłowych relacji zębowych w odcinkach bocznych
- korektę linii pośrodkowej górnego łuku zębowego
- leczenie wrodzonego braku zawiązków dolnych drugich zębów przedtrzonowych.

Na podstawie analizy wyników badania klinicznego i radiologicznego zaproponowano autotransplantację niewyrżniętych drugich górnych zębów przedtrzonowych w miejsce agenezji drugich dolnych zębów przedtrzonowych (Ryc. 2). Decyzja o wyborze takiego planu leczenia była uzasadniona obecnością stłoczeń zębów w szczęce i korzystnymi wskazaniami do leczenia ortodontycznego za pomocą ekstrakcji górnych zębów przedtrzonowych. Także rozwój drugich górnych zębów przedtrzonowych był optymalny pod kątem powodzenia zabiegu autotransplantacji, ponieważ te zęby były niewyrżnięte i rozwój korzenia był zakończony w 3/4 ostatecznej długości. Istotnym czynnikiem kwalifikującym do zabiegu była dobra higiena jamy ustnej.

Tabela 1. Analiza cefalometryczna na podstawie wytycznych Europejskiej Rady Ortodontycznej**Table 1. Cephalometric analysis based on the European Orthodontic Board (EBO). Recommendations**

	Wartość /Value	Średnia /Mean Odchylenie standardowe /SD
Relacje szkieletowe strzałkowe /Sagittal Skeletal Relations		
Pozycja szczęki / Maxillary Position S-N-A	79°	82° ± 3.5°
Pozycja żuchwy /Mandibular Position S-N-Pg	78°	80° ± 3.5°
Relacje strzałkowe szczęk /Sagittal Jaw Relation A-N-Pg	1°	2° ± 2.5°
Relacje szkieletowe pionowe /Vertical Skeletal Relations		
Inklinacja szczęki /Maxillary Inclination S-N /ANS-PNS	6°	8° ± 3.0°
Inklinacja Żuchwy /Mandibular Inclination S-N /Go-Gn	33°	33° ± 2.5°
Relacje pionowe szczęk /Vertical Jaw Relation ANS-PNS /Go-Gn	27°	25° ± 6.0°
Relacje wyrostkowo-zębowe /Dento-Basal Relations		
Inklinacja górnych siekaczy /Maxillary Incisor Inclination 1 - ANS-PNS	107°	110° ± 6.0°
Inklinacja dolnych siekaczy /Mandibular Incisor Inclination 1 - Go-Gn	97°	94° ± 7.0°
Kompensacja dolnych siekaczy /Mandibular Incisor Compensation 1 - A-Pg (mm)	0°	2 ± 2.0
Relacje zębowe /Dental Relations		
Nagryz poziomy /Overjet (mm)	4	3.5 ± 2.5
Nagryz pionowy /Overbite (mm)	3	2 ± 2.5
Kąt międzysieczny / Interincisal Angle 1 / 1	129°	132° ± 6.0°

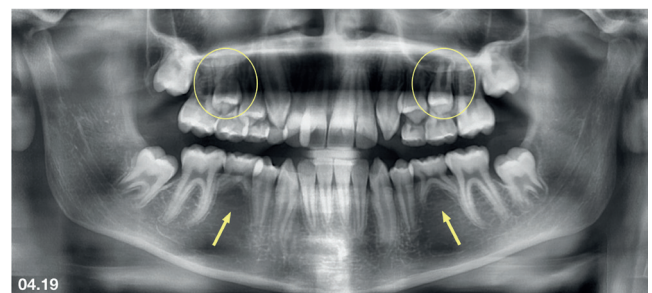


04.19

Rycina 1. Zdjęcia wewnątrzustne przed leczeniem.
Figure 1 Intraoral photographs before the treatment.

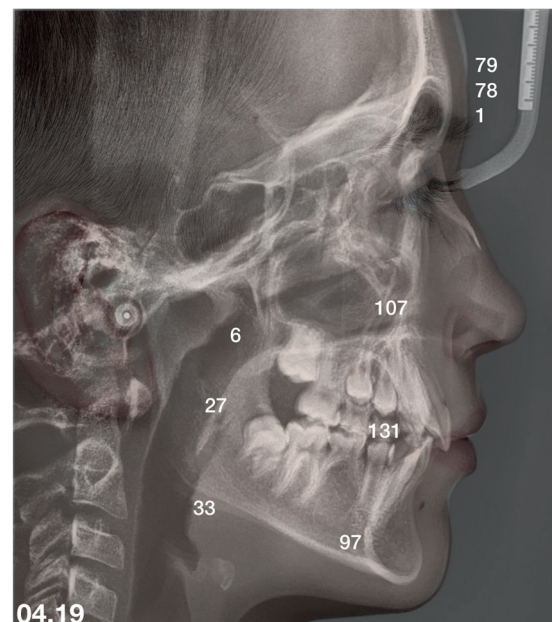
Alternatywne plany leczenia, które były rozważane, obejmowały pozostawienie przetrwałych zębów trzonowych mlecznych i zastosowanie w przyszłości implantów zębowych w miejscu agenezji zębów przedtrzonowych. W przypadku wyboru leczenia nieekstrakcyjnego konieczne byłoby dodatkowe zastosowanie zakotwienia szkieletowego lub innego typu zakotwienia do korekty relacji dystalnych i słóczyń w łuku górnym, na przykład aparatu typu head-gear, na co pacjent nie wyraził zgody. Rozważano także plan leczenia obejmujący ortodontyczne zamknięcie braków drugich zębów przedtrzonowych w żuchwie, jednak w tym przypadku także są wskazane ekstrakcje zębów przedtrzonowych w szczęce. Jednocześnie biomechanika zamykania luk poekstrakcyjnych w odcinkach bocznych w żuchwie jest trudniejsza, niż w przypadku leczenia nieekstrakcyjnego. Czas noszenia stałych aparatów ortodontycznych dla tej alternatywy leczenia byłby dłuższy, niż w przypadku wyboru leczenia z autotransplantacją górnych zębów przedtrzonowych. Rozważano zastosowanie zakotwienia szkieletowego do zamknięcia braku drugich dolnych zębów przedtrzonowych, jednak uznano, że jest to leczenie bardziej skomplikowane w porównaniu z leczeniem nieekstrakcyjnym w dolnym łuku zębowym. Hemisekcja przetrwałych mlecznych zębów trzonowych nie była planowana ze względu na brak doświadczenia klinicznego dotyczącego powodzenia tej metody.

Alternatywne plany leczenia były omawiane z pacjentem i jego rodzicami, którzy preferowali zastąpienie istniejących braków zębowych naturalnymi zębami oraz krótszy czas leczenia stałymi aparatami ortodontycznymi w przypadku autotransplantacji, w porównaniu z ortodontycznym zamknięciem braków. W przypadku niepowodzenia zabiegu autotransplantacji leczenie alternatywne obejmowałoby ortodontyczne zamknięcie luk poekstrakcyjnych, z ewentualnym zastosowaniem zakotwienia szkieletowego w celu uzyskania prawidłowych relacji zębowych w odcinkach bocznych.



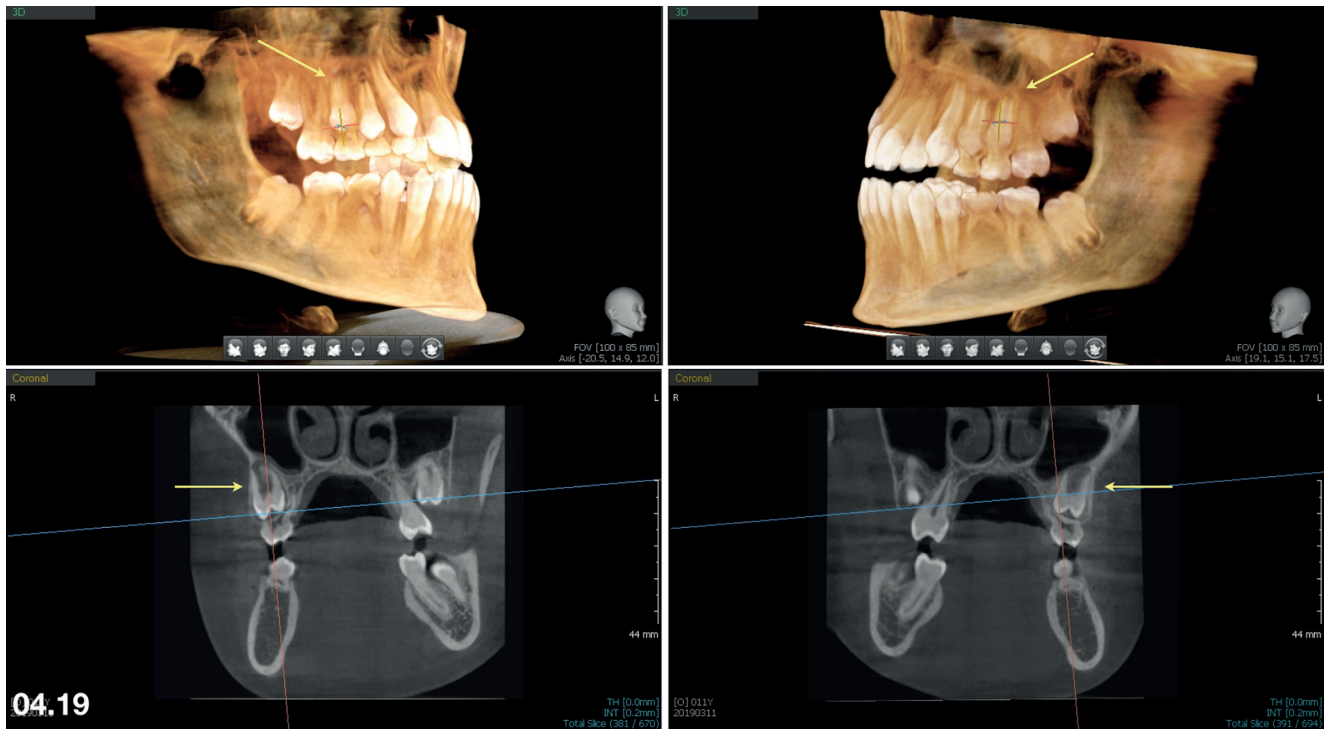
04.19

Rycina 2. Zdjęcie pantomograficzne przed leczeniem.
Figure 2 Panoramic radiograph before the treatment.



Rycina 3. Superimpozycja zdjęcia cefalometrycznego na zdjęcie profilu pacjenta.

Figure 3. Superimposition of the patient's cephalometric radiograph on the profile photograph.



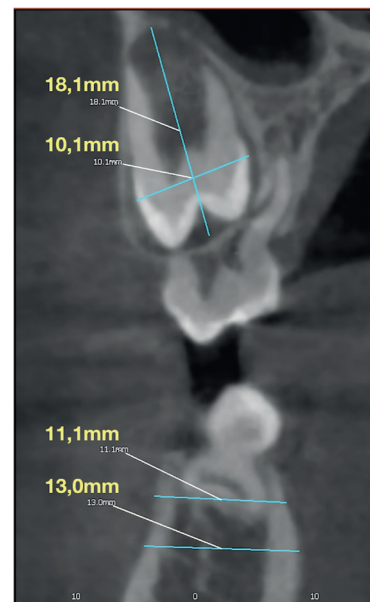
Rycina 4. Zdjęcie CBCT z przekrojami czołowymi zębów donorowych.

Figure 4. CBCT radiographs including coronal projection of the donor premolars.

Zabieg autotransplantacji

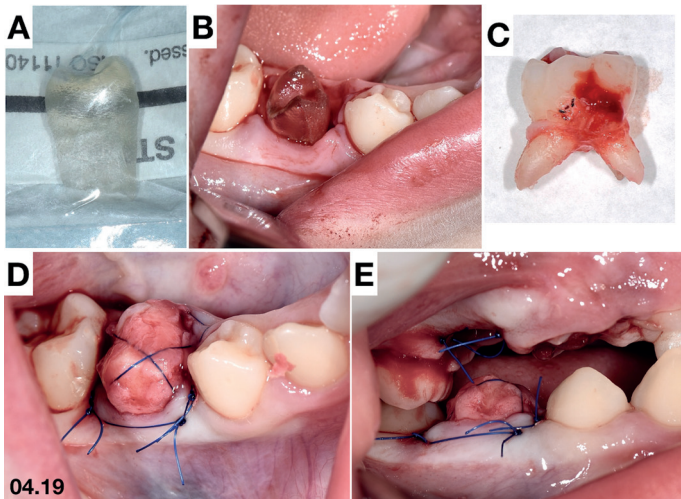
W kwietniu 2019 roku wykonano dodatkowe badanie radiologiczne CBCT szczęki i żuchwy (Vatech Smart 3D Korea, Voxel Size 0,2 mm, pole obrazowania 10 x 8,5 cm) w celu dokładnej oceny morfologii zębów donorowych i miejsca biorczego (Ryc. 4, 5). Po wyeksportowaniu i segmentacji plików DICOM w programie DentiqGuide® wykonano repliki 3D zawiązków drugich górnych zębów przedtrzonowych. Repliki zostały wydrukowane z materiału Nexdent® SG w technologii Digital Light Processing (DLP) (Ryc. 6A). Przed zabiegiem repliki zębów donorowych zostały wysterylizowane w autoklawie, zgodnie z zaleceniami producenta (15 minut, 121 °C).

Zabieg autotransplantacji zaplanowano w znieczuleniu miejscowym ze względu na przewidywaną dobrą kooperację pacjenta. W kwietniu 2019 przeprowadzono pierwszy z zaplanowanych zabiegów autotransplantacji zębów przedtrzonowych w znieczuleniu nasiękowym 2% Xylodont (Ryc. 6). Rozpoczęto go od górnego prawego drugiego zęba przedtrzonowego (15) ze względu na bardziej zaawansowany rozwój korzenia niż w przypadku zęba jednoimiennego po przeciwnej stronie (25). Różnica w długości korzeni zawiązków zębów wynosiła 1,5 mm.



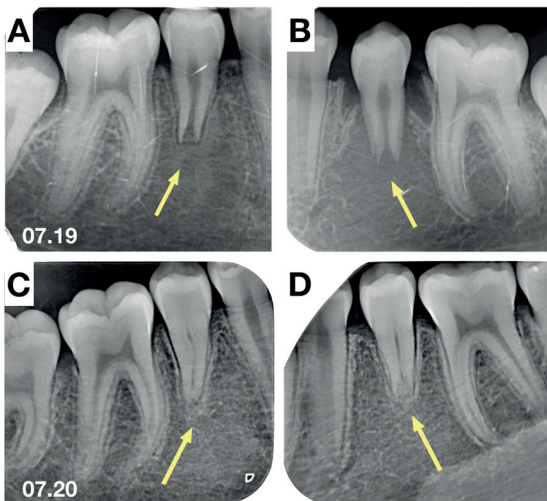
Rycina 5. Wycinek zdjęcia CBCT w projekcji czołowej z wymiarami zęba donorowego 15 i miejsca biorczego (45).

Figure 5. Cropped CBCT coronal projection showing dimensions of the donor 15 and the recipient site (45).



Rycina 6. Zdjęcia wewnątrzustne wykonane podczas zabiegu autotransplantacji zęba 15 w miejsce 45. Replika 3D transplantowanego zęba (A) była wykorzystana przy preparacji miejsca biorczego (B) po usunięciu mlecznego zęba trzonowego (C). Założono syntetyczny, niewchłaniający szew monofilamentowy Dafilon 4/0 po umieszczeniu transplantu w przygotowanym zębodole, który nie ma kontaktu z zębami przeciwstawnymi (E).

Figure 6. Intraoral photographs taken during autotransplantation of 15 into 45 position. 3D replica of the transplanted tooth (A) was used during the preparation of the recipient site (B) after extraction of the deciduous molar (C). Synthetic, non-resorbable sutures Dafilon 4/0 were placed (D); no occlusal contacts are present after placing the transplant in the prepared socket (E).



Rycina 7. Zdjęcia zębowe wykonane po drugiej transplantacji (A, B) i po roku od zabiegu (C, D). Widoczna obliteracja miazgi zębowej, odbudowa kości wyrostka zębodołowego i kontynuacja rozwoju korzenia

Figure 7. Dental radiographs taken after the second transplantation (A, B) and one year later (C, D). Visible pulp obliteration, regeneration of the alveolar bone and continuation of root development.



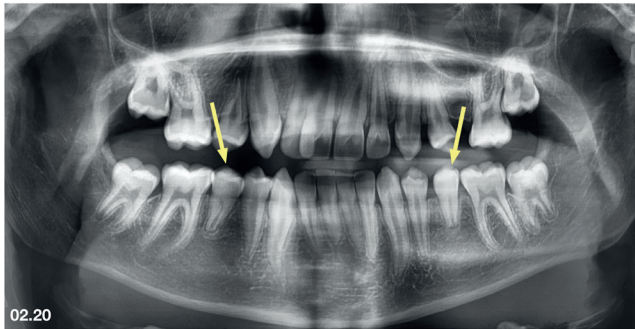
Rycina 8. Zdjęcia wewnątrzustne po roku od drugiej transplantacji.

Figure 8. Intraoral radiographs one year after the second transplantation.



Rycina 9. Zdjęcia wewnątrzustne transplantowanych zębów przedtrzonowych po roku od drugiej transplantacji. Prawidłowy obraz miękkich tkanek przyzębia wokół zębów transplantowanych.

Figure 9. Intraoral photographs of the transplanted premolars 1 year after the second transplantation. Normal soft periodontal tissues around the transplants.



Rycina 10. Zdjęcie pantomograficzne wykonane po 10 miesiącach od drugiej transplantacji.

Figure 10. Panoramic radiograph 10 months after the second transplantation.

Zabieg rozpoczęto od ekstrakcji górnego drugiego mlecznego zęba trzonowego po prawej stronie. Po odsłonięciu płata śluzówkowo-dziąsłowego delikatnie zdjęto kość wyrostka z obszaru korony klinicznej zęba 15 w celu sprawdzenia jego ruchomości, która była prawidłowa. Następnie wykonano ekstrakcję przetrwałego mlecznego zęba trzonowego po prawej stronie i rozpoczęto preparację łoża kostnego. Do preparacji zastosowano frez na kątnicy implantologicznej z chłodzeniem zewnętrznym 0,9% NaCl. Miejsce biorcze do zabiegu autotransplantacji zostało opracowane zgodnie z wcześniej przygotowaną repliką 3D zęba 15 (Ryc. 6B). Replika była kilkakrotnie przymierzana podczas preparacji miejsca biorczego do momentu, kiedy oceniono, że preparacja jest wystarczająca do umieszczenia zęba donorowego poniżej linii zgryzu. W kolejnym etapie delikatnie odsłonięto pozostałą część korony klinicznej zęba 15 tak, aby możliwe było jego delikatne usunięcie, z zabezpieczeniem cementu korzeniowego i pochewki Hertwiga przed uszkodzeniem. Zawiązek zęba pobrano za pomocą kleszczy chirurgicznych, które były umieszczone wyłącznie w obrębie korony klinicznej zęba, zaś pobrany zawiązek został natychmiast umieszczony

was shifted 3 mm to the right in relation to the facial midline, which was coinciding with the lower midline. Crowding in the upper arch was moderate. Oral hygiene was good. A panoramic radiograph confirmed congenital agenesis of lower second premolars and presence of persistent deciduous molars without signs of infra-position (Fig. 2). Cephalometric analysis did not reveal any major discrepancies within the skeletal and dental relationships, with a slight tendency towards retrognathic facial type (Tab. 1, Fig. 3). The patient's profile was straight.

Treatment objectives

Treatment objectives included:

- proper alignment of teeth
- obtaining normal dental relations in the posterior segments
- correction of the upper midline
- treatment of lower second premolar agenesis.

Autotransplantation of unerupted upper second premolars to replace missing lower premolars was proposed based on the clinical and radiological assessments (Fig. 2). This decision was supported by the presence of tooth crowding in the upper arch and thus favorable indications for upper premolar extractions. Another consideration was the optimal development of teeth 15 and 25 regarding prognosis of their possible autotransplantation, since they were unerupted and their root development was finished with 3/4 of the final root length. Good oral hygiene was an important qualifying factor.

Alternative treatment plan included preservation of persistent deciduous molars and rehabilitation with dental implants in the future. If non-extraction treatment will be chosen, it would also involve the use of skeletal anchorage or other type of treatment to correct distal relations and crowding in the upper arch, such as a head-gear which was not accepted by a patient. Orthodontic space closure at the site of the premolar agenesis was also considered; however, that would possibly involve premolar extraction in the maxilla. However, biomechanics of closing agenesis spaces in the mandible is more challenging than a non-extraction option. Also, for time consideration, orthodontic space closure in the lower arch would take longer than in the case of tooth transplantation. The use of skeletal anchorage to close premolar agenesis was also considered, but it was rejected as being more complicated than non-extraction treatment in the mandible. Hemisection of persistent deciduous molars was not considered due to the lack of clinical experience with this method.

Alternative options had been discussed with the patient and their parents who were in favor of using natural teeth to replace missing lower premolars and shorter treatment time in the case of autotransplantation compared with orthodontic space closure. In case of autotransplantation failure, an alternative treatment will include orthodontic space

w utworzonym miejscu biorczym. Ze względu na morfologię wyrostka zębodołowego zuchwy w okolicy zęba 45 i rozwój korzenia zęba donorowego nie było możliwe umieszczenie donora na poziomie jego pierwotnego położenia w wyrostku zębodołowym (poddziąsłowo). Zastosowano syntetyczny, niewchłaniany szew monofilamentowy skośny (Dafilon 4/0) w celu stabilizacji zęba transplantowanego oraz zabezpieczenia zębodołów po ekstrakcji zębów 14 oraz 55 (Ryc. 6D). Sprawdzono, że po zakończeniu zabiegu (Ryc. 6E) ząb transplantowany nie miał kontaktów zwarciovych z zębami przeciwnymi. Zalecenia higieniczne po zabiegu obejmowały zastosowanie płukanek do higieny jamy ustnej i żelu antybakteryjnego (Elugel) oraz bardzo delikatne szczotkowanie z ominięciem zęba transplantowanego do czasu wizyty kontrolnej. Gojenie przebiegło bez powikłań i zdjęcie szwów nastąpiło po 10 dniach.

Druga autotransplantacja, w tym przypadku zawiązka zęba 25 w miejsce agenezji drugiego dolnego zęba przedtrzonowego po lewej stronie (35), została przeprowadzona w lipcu 2019 roku. Wykonana procedura chirurgiczna była taka sama, jak przypadku opisanej transplantacji zęba 15 i także tutaj gojenie przebiegło bez powikłań. W obu przypadkach pacjent po zabiegu przyjmował antybiotyk amoksycylinę z kwasem klawulanowym (Augmentin) w dawce 0,5 + 0,125 miligrama 3 razy dziennie przez 7 dni. Higiena jamy ustnej pacjenta w okresie pozabiegowym była bardzo dobra.

Gojenie pozabiegowe

Bezpośrednio po drugim zabiegu transplantacji wykonano zdjęcia zębowe transplantowanych zębów w miejscach biorczych w technice kąta prostego (Ryc. 7A–B). Na zdjęciu widoczne było prawidłowe gojenie kości wyrostka przy transplantowanym zębie po prawej stronie i ubytek kostny przy zębie transplantowanym po stronie lewej, co było następstwem przeprowadzonego zabiegu chirurgicznego. Wizyty kontrolne po zabiegu transplantacji odbyły się po 1, 3 i 6 miesiącach. Podczas wizyt kontrolnych oceniano ruchomość oraz stan tkanek miękkich przyzębia wokół transplantowanych zębów oraz obecność płytki nazębnej. Nie stwierdzono odchyłań od normy, poza zwiększoną ruchomością transplantowanych zębów przedtrzonowych, która ulegała zmniejszeniu w kolejnych miesiącach po zabiegu. W lipcu 2020 roku ponownie wykonano zdjęcia zębowe transplantowanych zębów. Na zdjęciach widoczna była obliteracja komory i kanału korzeniowego, zamykanie otworów wierzchołkowych oraz dalszy wzrost korzeni (Ryc. 7C–D). Obliteracja komory i kanału korzeniowego jest typowym objawem po transplantacji zębów z nieukończonym rozwojem korzeni i pozytywnie świadczy o rewaskularyzacji kanału zębowego i zachowaniu żywotności zębów. Można także zaobserwować regenerację kości wyrostka zębodołowego w okolicy zębów transplantowanych. Zęby wyrznęły się do płaszczyzny zgryzu, co świadczy o prawidłowym gojeniu się tkanek przyzębia i braku występowania resorpcji

closure with a possible use of skeletal anchorage to obtain normal dental relations in posterior segments.

Autotransplantation procedure

In April 2019, a CBCT examination of the maxilla and the mandible was performed (Vatech Smart 3D Korea, Voxel Size 0.2 mm, CT FOV size 10 x 7 cm) to obtain a more accurate assessment of the morphology of donor teeth and the recipient site (Fig. 4, 5). After exporting and segmentation of the DICOM files using the DentiqGuide® program, 3D replicas of teeth 15 and 25 were made. Tooth replicas were printed using Nexdent® SG material in Digital Light Processing (DLP) technology (Fig. 6A). Before the surgery, the replicas of donor teeth had been sterilized in an autoclave according to manufacturer's instructions (15 minutes, 121°C).

The autotransplantation procedure was performed under local anesthesia as good cooperation of the patient was assumed. In April 2019, the first surgical procedure in a local anesthesia using 2% Xylodont was performed (Fig. 6). The procedure started with tooth (15) because of the more advanced root development than for the corresponding tooth on the other side (25). The difference in root development was 1.5 mm.

The surgery started from the extraction of the upper right second deciduous molar. After reflecting the mucogingival flap, the alveolar bone was gently removed from the clinical crown of tooth 15 to check its mobility, which was normal. Then, extraction of the persistent deciduous molar on the right side was performed and preparation of the recipient site has started. To prepare the recipient site a twist drill on implant contra-angle handpiece with 0.9% NaCl external cooling was used. The recipient site had been prepared earlier according to the previously prepared 3D replica of tooth 15 (Fig. 6B). The replica was inserted several times until it was decided that the preparation was sufficient to place the transplant out of occlusion. The clinical crown of the donor tooth was gently exposed securing that root cementum and Hertwig sheath were protected from damage during its removal with forceps, which only hold the clinical crown. The donor was immediately transferred to the newly prepared recipient site. Synthetic, non-resorbable sutures (Dafilon 4/0) were used to stabilize the transplanted tooth and to protect post-extraction sockets of 54 and 55 (Fig. 6D). After the surgery, it was checked that the transplanted premolar had no occlusal contacts with the antagonistic teeth (Fig. 6E). Postsurgical recommendations included the use of mouthrinses and antibacterial gel (Elugel) together with a very gentle toothbrushing omitting the transplant until the next appointment. Healing was uneventful and the sutures were removed after 10 days.

The second autotransplantation of the tooth 25 to the agenesis site of 35 was performed in July 2019. The surgical procedure followed the same pattern described for tooth 15 and healing was also uneventful. In both instances the

Application of 3D printed tooth replicas for autotransplantation of developing premolars: a case report

zamiennej (ankylozy). Podczas kolejnych wizyt kontrolnych widoczne było prawidłowe wyrzynanie się kłów i pierwszych zębów przedtrzonowych w szczęce oraz samoistna korekta relacji dystalnych w odcinkach bocznych (Ryc. 8). Nie stwierdzono patologii w obrazie klinicznym tkanek przyzębia wokół transplantowanych zębów (Ryc. 9). Na zdjęciu pantograficznym wykonanym w lutym 2020 roku widać samoistne zmniejszenie się luk w szczęce po transplantowanych zębach przedtrzonowych oraz prawidłowy obraz twardych tkanek zębów i tkanek przyzębia, poza obliteracją komory i kanału korzeniowego (Ryc. 10). Na podstawie obserwacji klinicznych i radiologicznych po roku od drugiego zabiegu oceniono, że zęby transplantowane rozwijają się prawidłowo i mają dobre rokowanie. Pacjent ma zaplanowane leczenie ortodontyczne aparatami stałymi, w zgodzie z obowiązującymi zaleceniami epidemiologicznymi, w celu prawidłowego uszeregowania zębów w łukach zębowych, zamknięcia luk po transplantowanych zębach oraz uzyskania prawidłowych relacji zębowych i harmonijnych rysów twarzy.

Dyskusja

Autotransplantacja górnych zębów przedtrzonowych z nieukończonym rozwojem korzenia jest interesującą metodą leczenia u pacjentów z wrodzonym brakiem zawiązków dolnych zębów przedtrzonowych i współistniejącą wadą klasy II. Opisany przypadek dotyczył pacjenta, u którego wskazania do ekstrakcji drugich górnych zębów przedtrzonowych były korzystne ze względu na obecność stłoczeń zębów w szczęce i relacji dystalnych w odcinkach bocznych (Ryc. 1–3). Zęby te zostały wykorzystane do uzupełnienia braków drugich zębów przedtrzonowych w żuchwie. Wybór drugich górnych zębów przedtrzonowych jako zębów donorowych był uzasadniony korzystniejszą morfologią tych zębów (zęby jednokorzeniowe) i późniejszym rozwojem korzenia, w porównaniu z pierwszymi zębami przedtrzonowymi. W opisanym przypadku widoczna była resorpcja korzeni przetrwałych zębów trzonowych mlecznych przed leczeniem, co niekorzystnie wpływało na ich rokowanie długoczasowe (ryc. 6C).

W artykule opisano wykorzystanie drukowanych replik 3D w preparacji łoża kostnego podczas zabiegu autotransplantacji zębów przedtrzonowych. Po raz pierwszy zastosowanie tej techniki zostało opisane przez Lee i wsp. w 2001 roku (13). Autorzy zastosowali tomografię komputerową (Computed Tomography, CT) do wydruku repliki, jednak ze względu na dużą dawkę promieniowania, co jest szczególnie istotne w przypadku młodszych pacjentów, zaniechano powszechnego stosowania tej metody. Obecnie ze względu na upowszechnienie zastosowania tomografii komputerowej wiązką stożkową (CBCT), i w związku z tym znaczną redukcji dawki promieniowania w porównaniu z tomografią komputerową, stosowanie replik 3D upowszechniło się. Indywidualnie wykonana drukowana replika 3D umożliwia

pacjentowi przepisano amoxicillin z kwasem klawulanowym (Augmentin) trzy razy dziennie przez siedem dni (0,5 + 0,125 miligramów). Higiena jamy ustnej była bardzo dobra w okresie powrotu do zdrowia.

Follow-up

Intraoral radiographs of the transplanted premolars using paralleling technique were taken immediately after the second transplantation (Fig. 7A-B). Normal healing of the alveolar bone at the transplanted tooth on the right side was present on the radiographs. The follow-up appointments were scheduled at 1, 3 and 6 months after surgery. During follow-ups the transplanted premolars were examined to assess tooth mobility, pocket depth and the status of soft periodontal tissues and presence of dental plaque. No pathologies were seen. Intraoral radiographs of the transplants were repeated in July 2020. Pulp obliteration, closure of the apices and further root growth were observed (Fig. 7C-D). Pulp obliteration is a typical finding following transplantation of teeth with developing roots, and it is an indication of pulp chamber and canal revascularization and preserved tooth vitality. Also, alveolar bone regeneration around the transplants was observed. Transplanted teeth erupted into occlusion, which confirmed normal healing of periodontal tissues and absence of replacement resorption (ankylosis). Subsequent follow-up examinations revealed normal eruption of the maxillary canines and first premolars as well as spontaneous correction of distal relations at the posterior segments (Fig. 8). No pathology within periodontal tissues around the transplanted teeth was present, except increased mobility of the transplanted tooth which was reduced over time (Fig. 9). Panoramic radiograph was taken in February 2020 and revealed spontaneous space closure of the extraction sites in the maxilla and normal hard dental and periodontal tissues (Fig. 10). Based on the clinical and radiological examinations during the second year after surgery, it was assessed, that the transplanted teeth were normally developing which confirmed their good prognosis. The patient is scheduled for orthodontic treatment with fixed appliances to align teeth, close the extraction spaces and to obtain normal dental relations and harmonious facial features in accordance with the current epidemiological recommendations.

Discussion

Autotransplantation of developing maxillary premolars is an attractive treatment modality for patients with congenital agenesis of lower second premolars and Class II malocclusion. This case report describes a patient, who had favorable indications for the extraction of upper premolars because of maxillary tooth crowding and the presence of distal relations in posterior segments (Fig.1-3). Upper second premolars were successfully used as substitutions for missing second premolars in the mandible. The choice of upper second premolars as donors was determined by better root

precyzyjne dopasowanie miejsca biorczego do zęba donorowego oraz minimalizuje czas, w jakim zawiązek przebywa poza zębodołem. Zmniejsza to potencjalne ryzyko jatrogennego uszkodzenia zęba donorowego i zwiększa przewidywalność zabiegu autotransplantacji (14). W opisanym przypadku transplątowane zęby pozostawały poza zębodołem jedynie w trakcie ich przenoszenia z oryginalnej pozycji w miejsce biorcze, gdzie zostały umieszczone bez dodatkowych manipulacji. Te czynniki miały pozytywny wpływ na sukces gojenia pozabiegowego. Powodzenie wykonanego zabiegu chirurgicznego niewątpliwie zachęca do zastosowania tej metody leczenia w przyszłości, co także dotyczy lekarza ortodonty kierującego na zabieg transplantacji.

W planowaniu autotransplantacji zębów powszechnie stosuje się badanie CBCT w celu oceny morfologii zębów rozważanych jako donory i miejsca biorczego, w tym także u pacjentów młodocianych (11). Dlatego wykonanie repliki 3D transplątowanego zęba na podstawie istniejącego zdjęcia CBCT nie wymaga dodatkowych badań lub zabiegów (Ryc. 4–6). Koszt wydrukowania repliki 3D jest stosunkowo niewielki, co ma korzystny wpływ na upowszechnienie stosowania tej metody.

Lee i wsp. opisali przeżycie w stu procentach 22 transplątowanych zębów z ukończonym rozwojem korzenia u dorosłych, które zostały przeszczepione z zastosowaniem replik 3D wykonanych na podstawie tomografii komputerowej (13). Autorzy opisali, że po okresie minimum roku od zabiegu nie zaobserwowano widocznych cech resorpcji przy zębach transplątowanych, chociaż w kilku przypadkach potwierdzono cechy ankylozy. Średni czas przebywania zęba transplątowanego poza jamą ustną wynosił 7,4 minuty (od 3 do 17,5 minuty). W pracy podsumowano, że zastosowanie drukowanych replik 3D zęba minimalizuje czas, jaki ząb donorowy przebywa poza zębodołem, a w konsekwencji zmniejsza ryzyko jego uszkodzenia i powikłań pozabiegowych. Należy jednak podkreślić, że ryzyko powikłań pozabiegowych jest większe dla zębów z zakończonym rozwojem korzenia, w porównaniu z zębami z niezakończonym rozwojem. Kolejne doniesienia naukowe z tego ośrodka, opublikowane w roku 2005, oceniały autotransplantacje zębów w grupie 182 pacjentów w wieku 13–67 lat, przy czym średnia wieku wynosiła 36 lat (15). Większość transplątowanych zębów stanowiły trzecie zęby trzonowe i średni czas przebywania zęba donorowego poza zębodołem także wynosił około 7,5 minuty. W badanej grupie resorpcja korzeni zębów była widoczna w czterech, zaś ankyloza – w 18 przypadkach. Autorzy podsumowali, że autotransplantacja zębów jest skuteczną metodą uzupełniania braków zębowych, także w porównaniu z implantami zębowymi. Jednak tylko połowa badanych transplątowanych zębów była oceniana powyżej 8 miesięcy od zabiegu, pozostałe były oceniane w perspektywie 2–7 miesięcy. Jest to prawdopodobnie za krótki okres obserwacji do wiarygodnej oceny powikłań pozabiegowych, szczególnie dla zębów z ukończonym rozwojem korzenia. Chociaż w opisanym przypadku okres obserwacji dla zęba

morphology of these teeth (single-rooted) and less advanced root development than upper first premolars. Root resorption of the persistent deciduous molars was already present in this case, adversely affecting their long-term prognosis (Fig. 6C).

The application of 3D tooth replicas in preparation of the recipient site during autotransplantation of premolars was described in the article. The application of a 3D printed replica of the transplanted tooth was described for the first time by Lee et al. in 2001 (13). The authors used computed tomography (CT) to print the replica of the donor tooth. However, due to high level of exposure to radiation, especially important in young patients, this procedure was generally abandoned. Today, the use of 3D replicas has increased following the widespread use of cone-beam computed tomography (CBCT), which has markedly reduced radiation exposure in comparison with CT. A custom-made 3D printed replica enables precise match between the donor and the recipient site and shortens the extra-alveolar time. It may also reduce the potential iatrogenic injury to the donor and thus increase the predictability of the procedure (14). In the described case, the transplanted teeth have been out of the alveolus only during their transfer from their original position to the recipient site, where they were placed without any additional manipulations. These factors had a positive impact for post-surgical healing. The success of a performed surgical procedure is an undoubtful argument for its future implementation, which is also valid for a referring orthodontist.

CBCT examination is commonly used when planning tooth autotransplantation, also in young patients, to assess the morphology of possible donor teeth in relation to the recipient site (11). Therefore, making a 3D printed replica of the transplanted tooth on the basis of the already existing CBCT examination does not require undertaking additional examinations or procedures and can be easily performed (Fig. 4–6). The cost of printing a 3D tooth replica is relatively small, which is another benefit and make the procedure more popular.

Lee et al. reported 100% survival of 22 transplanted mature teeth in adult patients, including 19 lower molars, which were transplanted using 3D tooth replicas printed from CT scans (13). The authors did not confirm radiographically any signs of root resorption of the transplanted teeth after a period of minimum one year; however, they have reported that ankylosis was present in some cases. The mean extra-oral time for the transplanted tooth when 3D replicas were used was 7.4 minutes (ranging from 3 to 17.5 minutes). It was concluded, that computer-designed and printed replica of the transplanted tooth minimizes extra-alveolar time of the donor tooth, which consequently reduces the risk of damage and post-operative complications. It has to be emphasized that the risk of post-operative complications increases for teeth with completed root development in comparison with those whose development has not been

Application of 3D printed tooth replicas for autotransplantation of developing premolars: a case report

przeszczepionego później wynosił rok, to w przypadku transplantacji zębów z nieukończonym rozwojem korzenia jest to wystarczający czas do oceny przewidywalności powodzenia transplantacji (16). Obliteracja komory i kanału korzeniowego świadcząca o rewaskularyzacji miazgi, prawidłowe wyrzynanie się zębów transplantowanych potwierdzające odbudowę aparatu zawieszniowego oraz kontynuacja rozwoju korzenia są czynnikami potwierdzającymi sukces autotransplantacji, a w konsekwencji – zachowanie w wieloletniej perspektywie zęba transplantowanego bez powikłań (9, 17, 18).

Shahbazian i wsp. oceniali wyniki transplantacji w grupie 40 młodocianych pacjentów, u których ten sam operator transplantał 48 zębów (19). U połowy pacjentów zastosowano repliki 3D podczas preparacji miejsca biorczego, zaś większość zębów stanowiły zęby przedtrzonowe i zęby z nieukończonym rozwojem korzenia. Po okresie 12 miesięcy stan zębów transplantowanych porównywano z wynikami transplantacji wykonanych bez użycia replik 3D (grupa kontrolna). Badacze podsumowali, że zastosowanie replik istotnie skraca czas przebywania zęba donorowego poza zębodołem, co korzystnie wpływa na gojenie pozabiegowe. W przypadku zastosowania repliki 3D średni czas przebywania donora poza zębodołem wynosił mniej niż 1 minutę, w stosunku do czasu zabiegu bez użycia repliki, który wynosił 3–10 minut. Jednocześnie całkowity czas zabiegu transplantacji został skrócony z 40–90 minut do 30–45 minut przy zastosowaniu replik 3D. Komplikacje pozabiegowe wystąpiły u sześciu pacjentów z grupy kontrolnej, w porównaniu do dwóch pacjentów z grupy badanej, jednak nie wykazano istotnych różnic pomiędzy tymi grupami. Należy jednak wziąć pod uwagę, że transplantacje zębów bez zastosowania replik 3D były wykonane wcześniej, co mogło wpłynąć na doświadczenie operatora i w konsekwencji – na powodzenie transplantacji. Dodatkowo podczas zabiegów stosowano szablony chirurgiczne 3D drukowane na podstawie zdjęć CBCT. W niniejszym przypadku szablony chirurgiczne nie były stosowane do preparacji miejsca biorczego, ponieważ oceniono, że jego preparacja musi być ona wykonana ze znacznym zapasem miejsca dookoła przeszczepianego zęba (około 1–2 mm), co ogranicza zastosowanie szablону. Jest to konieczne, ponieważ podczas umieszczenia zęba donorowego w łożu kostnym nie można uszkodzić cementu korzeniowego, do czego może dojść w przypadku niedostatecznej preparacji łoża. Zęby transplantowane mają potencjał odbudowy kości wyrostka zębodołowego, dlatego preparacja kości wyrostka przy transplantacji zębów różni się od preparacji przy zabiegu implantacji, ponieważ tam celem zastosowania szablonów chirurgicznych jest redukcja do minimum utraty kości wyrostka podczas zabiegu.

Verweij i wsp. w przeglądzie dotyczącym wykorzystania replik 3D ocenili, że procent przeżycia zębów transplantowanych z zastosowaniem tej metody wynosił od 95 do 100%, zaś procent sukcesu był na poziomie 80–91% (14). W przypadku tradycyjnej autotransplantacji te wartości wynoszą

finished. In 2005, the same research team published another report on tooth autotransplantations, this time a group of 182 patients aged 13 - 67 years (mean age 36 years) was included (15). The majority of donors were third molars and the mean extra-alveolar time was about 7.5 minutes. Root resorption was confirmed in four cases and ankylosis in eighteen. The authors concluded, that tooth autotransplantation is an effective method of replacing missing teeth, also in comparison with dental implants. However, only half of the transplanted teeth were evaluated at 8 months post-operatively; the other half had a shorter observation time of 2-7 months. This observation time can be regarded as too short to reliably assess post-surgical complications, especially for mature teeth. In our paper, a one-year observation period following transplantation of teeth with developing roots is usually sufficient to determine the success of the procedure (16). Pulp chamber and canal obliteration as a sign of a pulp revascularization, normal tooth eruption which confirms establishment of a normal periodontal support and normal root development are the factors which indicate the success of the procedure and good prognosis (9,17,18).

Shahbazian et al. evaluated the outcome of tooth transplantation in 40 young patients with 48 teeth transplanted by the same operator (19). In half of these patients tooth replicas were used during the preparation of the recipient site. The majority of transplanted teeth were premolars and teeth with incomplete root formation. The transplanted teeth were examined at 12 months postoperatively and compared with the controls, in which tooth replicas were not used. The authors concluded, that the use of 3D replicas significantly shortened the extra-alveolar time of a donor, which favorably affected the postoperative healing. When 3D replicas were used, the average extra-alveolar time was less than 1 minute; without replicas it extended to 3-10 minutes. The total time of the procedure was also shortened from 40-90 minutes for conventional surgery to 30-45 minutes using 3D replicas. Postoperative complications occurred in six control patients in comparison with two in the study group; however, no statistically significant differences between these groups were found. It has to be noted, that the transplantations performed without the use of 3D replicas had been performed earlier, potentially affecting an operator's experience and, in consequence, the success of the procedure. The authors reported, that during surgery, the operator also used CBCT printed surgical templates. In our case, the surgical templates were not used for the preparation of the recipient site since it was determined that the preparation must be made with an excess of about 1-2 mm space around the donor. This is important to prevent a damage to the root surface of a donor during its placement at the recipient site. Transplanted teeth have the potential to regenerate alveolar bone and so the preparation of the recipient site differs from the preparation for dental

odpowiednio 57–100% i 79–100%. Autorzy podsumowali, że zastosowanie replik 3D umożliwia preparację miejsca biorczego przed pobraniem zęba donorowego. Należy jednak wziąć pod uwagę, że w przypadku trudności z pobraniem zęba donorowego wcześniejsze przygotowanie łoża kostnego jest niekorzystne. Dlatego w opisanym przypadku najpierw odsłonięto ząb donorowy w takim stopniu, który umożliwiał ocenę jego ruchomości i możliwości delikatnego pobrania z kości wyrostka, a następnie przystąpiono do preparacji łoża kostnego. Badacze z tego samego ośrodka opublikowali ostatnio wyniki swoich badań prospektywnych dotyczących autotransplantacji 100 zębów u 79 pacjentów z zastosowaniem replik 3D, wykonanych ze stopu chromowo-kobaltowego (20). Większość pacjentów stanowili nastolatki, którym przeszczepiono 24 zęby trzonowe, 73 zęby przedtrzonowe, 2 kły i ząb nadliczbowy. Średni czas przebywania zęba donorowego poza zębodołem wynosił 49 sekund (od 1 sekundy do 10 minut). Przy czym 82% zębów transplantowano w czasie krótszym niż jedna minuta i były one od razu umieszczone w zębodole. Tylko 2% transplantowanych zębów wymagała więcej niż trzech prób umieszczenia ich w miejscu biorczym. Podsumowano, że autotransplantacja zębów z zastosowaniem technologii 3D jest zabiegiem łatwiejszym zarówno dla pacjenta, jak i dla chirurga. Jednakże autorzy nie podali informacji dotyczących przewidywalności wykonanych zabiegów.

Repliki 3D mogą zostać wykonane w różnych technikach. Najczęściej wykorzystuje się wydruk FDM (Fused Depositing Modeling), w którym nanoszony materiał jest przeciśnany przez dyszę ogrzaną do temperatury jego topnienia. Są także drukarki wykorzystujące proszek termoplastyczny, który jest odpowiednio stapiany przy użyciu lasera drukarki. Te urządzenia to SLS (Selective Laser Sintering). Często w użyciu są drukarki, które wykorzystują termowrażliwą płynną żywicę UV (FDM). Występują tutaj trzy odmienne typy urządzeń do naświetlania tych żywic, w zależności od źródła światła: Digital Light Processing (DLP), SLA Stereolithography Apparatus (SLA) oraz PolyJet. (21). Repliki mogą zostać wykonane również z tytanu 23 grade. Proszek tytanowy jest stapiany przy użyciu lasera w maszynie SLM (13). Verweij i wsp. opisali protokół zastosowania drukowanych tytanowych replik 3D na podstawie pięciu konsekutywnych autotransplantacji górnych zębów przedtrzonowych w miejsce agenezji dolnych zębów przedtrzonowych u trzech pacjentów (22). Ten sam zespół badaczy opublikował ostatnio badanie dotyczące transplantacji stu zębów z zastosowaniem stopu chromowo-kobaltowego, jako materiału do wydruku replik 3D. Badacze podsumowali, że jest to materiał biokompatybilny, stosunkowo tani i może być sterylizowany bez zmiany kształtu drukowanego zęba (20).

Wykazano, że różnice w dokładności tych technik w odniesieniu do wielkości replikowanego zęba są poniżej oczekiwanej dokładności w zabiegach chirurgicznych i wynoszą mniej niż 0,25 mm (23, 24, 25). W badaniu wymiarów replik

implants where surgical templates are commonly used to reduce to the minimum bone loss during surgery.

Verweij et al. in their systematic review on the use of 3D replicas reported, that the survival of the transplanted teeth with the use of the replicas was 95.5 - 100%, and the success was 80 - 91% (14). For conventional autotransplantation, the values were 57% - 100% and 79% - 100%, respectively. The authors concluded, that the use of 3D replicas enables preparation of a donor site before removing of a donor tooth. It has to be remembered, however, that if there are difficulties in removing the donor tooth, earlier preparation of the recipient site may not be advantageous. For that reason, in our patient, the donor teeth were firstly exposed only to the point which enabled assessment of its mobility and its gentle removal from the socket. Only then was the preparation of the recipient site initiated. Recently, the authors from the same research team have published results from their prospective study of 100 autotransplanted teeth in 79 patients using 3D cobalt-chrome replicas (20). Most of the patients were adolescents and donor teeth included 24 molars, 73 premolars, 2 canines and a supernumerary. The mean extra-alveolar time for the donor teeth was 49 seconds (from 1 second to 10 minutes). Eighty two percent of teeth were transferred in less than 1 minute from the initial to the recipient site and fitted immediately in the new tooth socket. Only 2 percent of teeth needed more than 1 fitting attempt. It was concluded, that 3D autotransplantation procedure makes tooth transplantation more straightforward for both the patient and the surgeon. However, the authors did not provide information regarding the predictability of these procedures.

Different technologies can be used to make 3D replicas. Most commonly, fused depositing modeling method (FDM) is used, in which the applied material is dispensed through a nozzle which is warmed to the temperature of its melting. Other printers use thermoplastic powders, which are melted with the printer's laser. These devices are referred to as selective laser sintering (SLS). Printers which utilize thermosensitive UV liquid resin are also popular. Here, resin is exposed to a light source and three different types of devices can be distinguished depending on the light source: Digital Light Processing (DLP), Stereolithography Apparatus (SLA) and PolyJet (21). Replicas can also be made of 23 grade titanium. Titanium powder is melted with a laser beam in the SLM machine (13). Verweij et al. described the protocol of using printed titanium replicas of 5 consecutively transplanted upper premolars in 3 patients with agenesis of lower premolars (22). The same team in their recent study of 100 transplanted teeth reported a successful application of a cobalt-chrome alloy as printing material for 3D replicas, because it is biocompatible, inexpensive and can be sterilized without changes to the shape of the printed tooth (20).

It was demonstrated that size differences in various types of tooth replicas were below the accuracy expected in

Application of 3D printed tooth replicas for autotransplantation of developing premolars: a case report

3D po sterylizacji gazowej tlenkiem etylenu (55°C, cykl 50 minut) oraz cieplnej (134°C, cykl 60 minut w autoklawie) nie wykazano różnic istotnych klinicznie. W badaniu Shaheen i wsp. wykorzystywano drukowane repliki zębów w technologii FDM (23). Autorzy wykazali, że zmiany objętości replik po sterylizacji są w granicach od -0,6% do +0,6%. Znacząco większe zmiany wymiarów replik dotyczyły obiektów o większej objętości, takich jak szablony chirurgiczne. Inni autorzy, w badaniu dotyczącym żywicy Dental SG (Next Dent) zastosowanej w opisanym przypadku, wykazali, że najbardziej korzystną metodą sterylizacji jest sterylizacja plazmą lub w autoklawie (121°C, 1 bar, 20 minut) (25). Badanie dotyczyło szablonów chirurgicznych, które mają zdecydowanie większą objętość niż wydrukowane repliki zębów, co pozwala na wyciągnięcie wniosku, że po sterylizacji zmiany objętości replik 3D zębów transplantowanych będą mniejsze (24). Komplikacje dotyczące zastosowania replik 3D mogą wystąpić, jeśli czas jaki minął od wykonania badania CBCT do wykonania repliki jest większy niż dwa miesiące oraz przy złej jakości zdjęcia CBCT (20). Należy także wziąć pod uwagę, że korzeń niewyrzniętego zęba donorowego jest otoczony tkankami miękkimi, które nie są odwzorowane na zdjęciu CBCT. Jest to czynnik, który należy uwzględnić przy drukowaniu repliki 3D, ponieważ należy albo zwiększyć wymiary repliki 3D o około 1–1,5 mm, albo wykonać preparację łoża kostnego z uwzględnieniem tych wartości. W opisanym przypadku wymiary replik 3D zostały zwiększone komputerowo przed wydrukowaniem.

Wnioski

Zastosowanie drukowanych replik 3D zębów transplantowanych ułatwia opracowanie chirurgiczne łoża kostnego, skraca czas pozostawiania zęba donorowego poza środowiskiem jamy ustnej i eliminuje do minimum liczbę prób umieszczenia zęba donorowego w miejscu biórczym. Może to mieć istotny wpływ na zmniejszenie ryzyka uszkodzenia powierzchni korzenia zęba transplantowanego, a w konsekwencji zwiększać szansę powodzenia zabiegu. Repliki 3D mogą być szczególnie przydatne dla operatorów, którzy nie mają dużego doświadczenia klinicznego w zabiegach autotransplantacji zębów.

surgical procedures and were less than 0.25 mm (23, 24, 25). When the size of the replicas was measured following air sterilization using ethylene oxide (55°C in a 50-minute cycle) or thermal sterilization (134°C in a 60-minute autoclave cycle) no clinically significant differences were found. Shaheen et al. used printed tooth replicas printed in FDM technology (23). The authors demonstrated, that size differences following sterilization vary between -0.6% and +0.6%. More significant size differences were seen for bigger objects like surgical templates. Other authors examined the Dental SG resin (Next Dent), which was also used in our report, and they have found that the most favorable type of sterilization is a plasma sterilization or an autoclave sterilization (121°C, 1 bar, 20 minutes) (25). Their study was based on the evaluation of surgical templates, which have a much bigger volume than printed tooth replicas; it can thus be concluded that volumetric change in following sterilization of tooth replicas will be even smaller (24). Two potential complications regarding printed 3D tooth replicas can be expected: first, if more than two months passed the CBCT examination and the printing process; second, if the quality of the CBCT is poor (20). Another aspect to consider is the fact that the root of an unerupted donor tooth is surrounded by soft tissues which are not visible of the CBCT. It is a very important factor when preparing the recipient site, because the operator will have to allow for the increase the size of the donor tooth by about 1-1.5 mm. Alternatively, one can increase the size of the printed 3D tooth replica, which was performed in our patient.

Conclusions

Application of printed 3D replicas of transplanted teeth facilitates surgical preparation of the recipient site, shortens the extra-alveolar time, and reduces to the minimum the number of attempts of the donor tooth insertion at the prepared socket. Their use can significantly decrease the risk of damage to the root surface of a transplant, thus increasing the chance of success. 3D replicas can be very useful for operators with a limited clinical experience in autotransplantation surgery.

Piśmiennictwo / References

1. Czochrowska EM, Stenvik A, Zachrisson BU. The esthetic outcome of autotransplanted premolars replacing maxillary incisors. *Dent Traumatol* 2002; 18: 237-45.
2. Akhlef Y, Schwartz O, Andreasen JO, Jensen SS. Autotransplantation of teeth to the anterior maxilla: A systematic review of survival and success, aesthetic presentation and patient-reported outcome. *Dent Traumatol* 2018; 34: 20-7.
3. Machado LA, Do Nascimento RR, Ferreira DMTP, Mattos CT, Vilella OV. Long-term prognosis of tooth autotransplantation: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2016; 45: 610-7.
4. Kafourou V, Tong HJ, Day P, Houghton N, Spencer RJ, Duggal M. Outcomes and prognostic factors that influence the success of tooth autotransplantation in children and adolescents. *Dent Traumatol* 2017; 33: 393-9.
5. Czochrowska EM, Plakwicz P. Principles and techniques of premolar autotransplantation. *Recognizing and Correcting Developing Malocclusions: A Problem-Oriented Approaches to Orthodontics*. Wiley-Blackwell 2016: 227-34.
6. Unni KN, Singh VP. Autotransplantation of teeth: An overview. *Amrita J Med* 2012; 8: 16-22.

7. Zachrisson BU, Stenvik A, Haanaes HR. Management of missing maxillary anterior teeth with emphasis on autotransplantation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004; 126: 284-8.
8. Thilander B, Odman J, Lekholm U. Orthodontic aspects of the use of oral implants in adolescents; a 10-year follow-up study. *Eur J Orthod* 2001; 23: 715-31.
9. Czochrowska EM, Stenvik A, Bjercke B, Zachrisson BU. Outcome of tooth transplantation: survival and success rates 17-41 years post treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002; 121: 110-9.
10. Andreasen F, Andreasen J. Luxation injuries of permanent teeth: general finding. *Textbook and Color Atlas of Traumatic Injuries to the Teeth*. Blackwell Munksgaard 2007; 372-403.
11. Czochrowska EM, Plakwicz P. Guidelines for autotransplantation of developing premolars to the anterior maxilla. *Semin Orthod* 2020; 26: 61-72.
12. Ansari Moin D, Derksen W, Verweij JP, van Merkesteyn R, Wismeijer D. A novel approach for computer-assisted template-guided autotransplantation of teeth with custom 3D designed/printed surgical tooling. An ex vivo proof of concept. *J Oral Maxillofac Surg* 2016; 76: 895-902.
13. Lee SJ, Yung IY, Lee CY, Choi SY, Kum KY. Clinical application of computer-aided rapid prototyping for tooth transplantation. *Dent Traumatol* 2001; 17: 114-9.
14. Verweij JP, Jongkees FA, Ansari Moin D, Wismeijer D, van Merkesteyn JPR. Autotransplantation of teeth using computer-aided rapid prototyping of a three-dimensional replica of the donor tooth: A systematic literature review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2017; 46: 1466-74.
15. Lee KY, Cho JW, Chang NY, Chae JM, Kang KH, Kim SC, Cho JH. Accuracy of three-dimensional printing for manufacturing replica teeth. *Korean J Orthod* 2015; 45: 217-25.
16. Kristerson L. Autotransplantation of human premolars. A clinical and radiographic study of 100 teeth. *Int J Oral Surg* 1985; 14: 200-13.
17. Skoglund A, Tronstad L, Valenius K. A microangiographic study of vascular changes in replanted and autotransplanted teeth. *Oral Surg* 1978; 45: 17-28.
18. Skoglund A, Tronstad L. Pulpal changes in replanted and autotransplanted teeth of dogs. *J Endod* 1981; 7: 309-16.
19. Shahbazian M, Jacobs R, Wyatt J, Denys D, Lambrichts I, Vinckier F, Willems G. Validation of the cone beam computed tomography - based stereolithographic surgical guide aiding autotransplantation of teeth: clinical case - control study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2013; 115: 667-75.
20. Verweij JP, van Westerveld KJH, Ansari Moin D, Mensink G, van Merkesteyn R. Autotransplantation with a 3-dimensionally printed replica of the donor tooth minimizes extra-alveolar time and intraoperative fitting attempts: a multicenter prospective study of 100 transplanted teeth. *J Oral Maxillofac Surg* 2020; 78: 35-43.
21. Khail W, EzEldeen M, Van De Castele E, Shaheen E, Sun Y, Shahbazian M, Olszewski R, Politis C, Jacobs R. Validation of cone beam computed tomography-based tooth printing using different three-dimensional printing technologies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2016; 121: 307-15.
22. Verweij JP, Ansari Moin D, Mensink G, Nijkamp P, Wismeijer D, van Merkesteyn JPR. Autotransplantation of premolars with a 3-dimensional printed titanium replica of the donor tooth functioning as a surgical guide: proof of concept. *J Oral Maxillofac Surg* 2016; 74: 1114-9.
23. Shahbazian M, Jacobs R, Wyatt J, Willems G, Pattijn V, Dhoore E, Van Lierde C, Vinckier F. Accuracy and surgical feasibility of a CBCT-based stereolithographic surgical guide aiding autotransplantation of teeth: in vitro validation. *J Oral Rehabil* 2010; 37: 854-59.
24. Shaheen E, Alhelwani A, Van de Castele E, Politis C, Jacobs R. Evaluation of Dimensional Changes of 3D Printed Models After Sterilization: A Pilot Study. *The Open Dent J* 2018; 12: 72-9.
25. Török G, Gombocz P, Bognár E, Nagy P, Dinya E, Kispélyi B, Hermann P. Effects of disinfection and sterilization on the dimensional changes and mechanical properties of 3D printed surgical guides for implant therapy – pilot study. *BMC Oral Health* 2020; 20: 19.

Spis recenzentów „Forum Ortodontycznego” w 2020 roku *Reviewers reference index for 2020*

Barbara Biedziak (Poznań), Muhammed Buyukcavus (Isparta, Turkey), Ewa Czochrowska (Warszawa), Izabella Dunin-Wilczyńska (Lublin), Bartłomiej Górski (Warszawa), Vivek Gupta (Selangor, Malaysia), Milan Kaminek (Olomunec, Czech Republic), Gülsen Kiraz (Kütahya, Turkey) Jolanta Kostrzewa-Janicka (Warszawa), Jan Kowalski (Warszawa), Krzysztof Kukuła (Warszawa), Wojciech Kukwa (Warszawa), Agnieszka Lasota (Lublin), Małgorzata Laskowska (Warszawa), Matthew Lau (Singapore, Singapore), SM Londhe (Pathankot, India), Bartłomiej Loster (Kraków), Agnieszka Machorowska-Pieniążek (Zabrze), Konrad Małkiewicz (Łódź), Magdalena Marczyńska-Stolarek (Warszawa), Marcin Mikulewicz (Wrocław), Maciej Misiótek (Zabrze), Maciej Nowak (Warszawa), Jae Park (Mesa, USA), Elżbieta Pawłowska (Łódź), Konrad Perkowski (Warszawa), Barbara Pietrzak-Bilińska (Warszawa), Ufuk OK (Istanbul, Turkey), Paweł Plakwicz (Warszawa), Sanaz Sadry (Istanbul, Turkey), Lucas Santana (Diamantina, Brazil), Michał Sarul (Białystok), Ewa Sobieska (Warszawa), Tomasz Stefański (Bytom), Izabela Szarmach (Białystok), Agnieszka Świątkowska (Lublin), Anna Turska-Szybka (Warszawa), Monika Tymczyna-Sobotka (Lublin), Fatma Uzuner (Ankara, Turkey), Beata Waławska (Lublin), Chin-Wei Wang (Ann Arbor, USA), Barbara Warych (Wrocław), Anna Wojtaszek-Słomińska (Gdańsk), Krzysztof Woźniak (Szczecin), Małgorzata Zadurska (Warszawa).