

Orbital floor reconstruction planning in the course of silent sinus syndrome using online fab lab – case report

Planowanie zabiegu rekonstrukcji dna oczodołu, w przebiegu zespołu cichej zatoki, we współpracy z online fab lab. Opis przypadku

Paweł Berczyński¹, Tomasz Smektała², Dorota Oskwarek³,
Krzysztof Dowgierd⁴, Grzegorz Trybek², Katarzyna Lewusz²,
Katarzyna Sporniak-Tutak³

¹ Katedra i Zakład Stomatologii Zachowawczej i Endodoncji, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, Polska
Chair and Department of Conservative Dentistry and Endodontics, Pomeranian Medical University in Szczecin, Poland
Head: prof. dr hab. J. Buczkowska-Radlińska

² Zakład Chirurgii Stomatologicznej, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, Polska
Department of Oral Surgery, Pomeranian Medical University in Szczecin, Poland
Head: dr n. med. G. Trybek

³ Klinika Chirurgii Szczękowo-Twarzowej, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, Polska
Clinic of Maxillofacial Surgery, Pomeranian Medical University in Szczecin, Poland
Head: dr hab. K. Sporniak-Tutak

⁴ Oddział Chirurgii Szczękowo-Twarzowej, Rekonstrukcyjnej i Estetycznej w Wojewódzkim Specjalistycznym Szpitalu Dziecięcym w Olsztynie, Polska
Department of Maxillofacial Surgery, Reconstructive and Aesthetic Surgery, The Provincial Specialist Paediatric Hospital in Olsztyn, Poland
Head: lek. dent. K. Dowgierd

Abstract

Silent sinus syndrome is rarely presented in Polish literature. This case report illustrating the deformation of the orbital floor in the course of silent sinus syndrome shows the use of rapid prototyping technology in the planning of orbital floor reconstruction surgery, with particular emphasis on the preparation stage of a virtual model. The starting point was computed tomography imaging. Using open source software, a virtual reconstruction of the orbit was obtained. A model was then produced by means of a laser sintering technique using online Fab Lab (Sculpteo). Prior to surgery, a semi-individual titanium plate was moulded from the prepared form, which was then used as a next step in the reconstruction of a new orbital floor.

Streszczenie

Zespół cichej zatoki jest jednostką chorobową rzadko prezentowaną w polskim piśmiennictwie. Opisany przypadek kliniczny, deformacji dna oczodołu w przebiegu zespołu cichej zatoki, przedstawia wykorzystanie technologii szybkiego prototypowania w procesie planowania zabiegu rekonstrukcji dna oczodołu, ze szczególnym uwzględnieniem etapu przygotowania wirtualnego modelu. Punktem wyjścia było badanie tomograficzne. Za pomocą oprogramowania typu open source uzyskaliśmy gotową, wirtualną rekonstrukcję oczodołu. Model został następnie wyprodukowany techniką synteryzacji laserowej, przy wykorzystaniu online fab lab - Sculpteo. Na tak przygotowanej formie przedzabiegowo ukształtowano półindywidualną płytkę tytanową, która w dalszym etapie posłużyła do rekonstrukcji dna oczodołu.

KEYWORDS:

orbital fractures, maxillary sinus, rapid prototyping, silent sinus syndrome

HASŁA INDEKSOWE:

złamanie oczodołu, zatoka szczękowa, szybkie prototypowanie, zespół cichej zatoki

Introduction

The definition of “silent sinus syndrome” (SSS) was first described by *Soparkar* in 1994.¹ Since then, few clinical cases have been noted and described in Polish-language literature.^{2,3}

The most important and hitherto unexplained aspect of the pathogenesis of this syndrome is the creation of negative pressure inside the maxillary sinus. As a result of this pressure, the side walls of the maxillary sinus collapse centrally. The ceiling, medial and lateral walls are shifted to produce larger volumes of the orbit.⁴

The most common symptoms are unilateral movement of the eyeball posteriorly and inferiorly caused by the asymmetrical position of the eyeballs. This asymmetry is manifested by the withdrawal of the upper eyelid on the side of affected maxillary sinus which hinders closing the eyelids (lagophthalmus). The onset of the disease is usually sudden and difficult to connect with a specific event. SSS is often linked to diplopia, as it points to the destruction of the orbital floor and dysfunction of the inferior oblique muscle.⁴⁻⁶ The absence of trauma, acute or chronic sinusitis, and no symptoms of pain are all characteristic.

Silent sinus syndrome mainly occurs in males, between the third and fifth decade of life.⁷

Risk factors for the disease are anatomical anomalies in the region of the nasal cavity, in particular a lateral deformation of the middle nasal concha and nasal septum.⁷⁻¹⁰

The differential diagnosis should include: orbital blowout fracture, congenital hypoplasia of the maxillary sinus, post-traumatic deformation of the maxillary sinus and mucocoele. The treatment of choice for SSS is functional endoscopic sinus surgery (FESS). The goal of this procedure is to enlarge the maxillary sinus ostium. Despite treatment, symptoms can worsen or deformation of the orbit can occur, then surgical reconstruction of the orbital floor is necessary.

Increasing precision and decreasing costs associated with rapid prototyping techniques (RP) and the expanding market of computer aided design software (CAD) make individual reconstruction solutions widely available.¹¹ In addition, the presence of Fab Lab institutions

Wprowadzenie

Określenie „zespół cichej zatoki” (silent sinus syndrome – SSS) zostało pierwszy raz użyte przez *Soparkara* w 1994 roku.¹ Od tamtej pory niewiele przypadków klinicznych opisano w polskojęzycznym piśmiennictwie.^{2,3}

Najważniejszym i dotąd niewytłumaczonym aspektem w patomechanizmie tego zespołu, jest powstanie ujemnego ciśnienia w obrębie zatoki szczękowej, którego następstwem jest centryczne przemieszczenie bocznych ścian zatoki. Przesunięciu ulega strop, ściana przyśrodkowa oraz boczna, wywołując tym samym powiększenie objętości oczodołu.⁴

Najczęstszymi objawami są jednostronne przemieszczenie gałki ocznej do tyłu i dołu oraz spowodowana tym asymetria położenia gałek ocznych, ujawniająca się poprzez cofnięcie powieki górnej po stronie zajętej zatoki, a nawet brakiem możliwości połączenia powiek (lagophthalmus). Początek choroby jest zwykle nagły i trudny do powiązania ze szczególnym wydarzeniem. Często łączy się ze zgłaszaniem przez pacjenta diplopii, co z kolei wskazuje na zniszczenie dna oczodołu i dysfunkcję mięśnia skośnego dolnego.⁴⁻⁶ Wywiad charakteryzuje brak przebytego urazu, czy ostrego bądź przewlekłego zapalenia zatok oraz brak objawów bólowych.

Zespół cichej zatoki występuje głównie pomiędzy trzecią a piątą dekadą życia, częściej u płci męskiej.⁷

Czynnikami ryzyka wystąpienia choroby są anomalie anatomiczne w regionie jamy nosowej, w szczególności boczne zniekształcenia małżowiny nosowej środkowej oraz przegrody nosowej.⁷⁻¹⁰

Proces leczenia powinien uwzględniać diagnostykę różnicową w kierunku: rozprężającego złamania dna oczodołu, wrodzonego niedorozwoju zatoki szczękowej, pourazowej deformacji zatoki szczękowej, a także mucocoele. Leczeniem z wyboru w przypadku zespołu cichej zatoki jest FESS (ang. functional endoscopis sinus surgery), polegające na powiększeniu naturalnego ujścia zatoki. Jeżeli pomimo zastosowanego leczenia objawy ulegają pogłębieniu bądź pojawiła się deformacja oczodołu, to standardowo stosuje się chirurgiczną rekonstrukcję dna oczodołu.

(public laboratories for carrying out the process of RP) lessens the burden of expensive equipment, which is necessary for creating medical models.

The aim of this study is to present the process of planning orbital floor reconstruction surgery in patients with silent sinus syndrome using rapid prototyping technology, with particular emphasis on the implementation of a custom-made, individual model for the patient.

Case report

In spring 2012, a 48-year-old female was examined regarding a significant deterioration of visual acuity and enophthalmos of the right eyeball. Magnetic resonance imaging (MRI), neurological and ophthalmological tests showed no significant pathological changes. In July 2012, a computed tomography (CT) of the paranasal sinuses was performed, and revealed a decrease in the volume of the right maxillary sinus and thinning of the sinus walls. The orbital floor of the right orbit had lowered around 3 mm in relation to the left orbit. The CT scan without the burden of medical history and otolaryngological consultation, led to the diagnosis of SSS. In August 2012, an endoscopic sinus was opened and the right posterior nasal spine of the nasal septum was removed. The tissue material taken from the maxillary sinus was submitted for histopathological examination. Results showed fragments of cross-section mucosa from the mucous glands, lined with ciliated columnar epithelium with no evidence of atypia and a generous focal inflammatory infiltration of lymphoid cells in the stroma. Two years later, at the Department of Maxillofacial, Reconstructive and Aesthetic Surgery the collapsed orbital floor was reconstructed using semi-individual reconstruction plate, moulded on an RP model.

Preparation of the medical model (Fig. 1):

1. Reconstruction of the patient's skull, based on CT scan data, with InVesalius (CTI, Campinas, Brazil) software. For this purpose, a threshold filter was used with a value of $> 700\text{HU}$ (Hounsfield Units). The model obtained was subsequently exported to an STL file.
2. The removal of small separate pieces of mesh

Dzięki zwiększającej się precyzji oraz malejącym kosztom związanym z technikami szybkiego prototypowania (RP – ang. rapid prototyping), a także rozszerzającym się rynkiem oprogramowania CAD (ang. computer aided design), indywidualne rozwiązania stają się powszechnie dostępne.¹¹ Dodatkowo obecność instytucji fab lab, czyli ogólnodostępnych laboratoriów umożliwiających przeprowadzenie procesu szybkiego prototypowania, odciąża od przymusu posiadania kosztownej aparatury, koniecznej w procesie wykonawstwa modeli medycznych.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie procesu planowania zabiegu rekonstrukcji dna oczodołu, u pacjentki cierpiącej na zespół cichej zatoki, z wykorzystaniem technologii szybkiego prototypowania, ze szczególnym uwzględnieniem procesu wykonawstwa indywidualnego modelu pacjenta.

Opis przypadku

Wiosną 2012 roku 48-letnia kobieta zgłosiła się do diagnostyki z powodu znacznego pogorszenia ostrości wzroku oraz wrażenia zapadnięcia prawej gałki ocznej. Przeprowadzony rezonans magnetyczny oraz konsultacje neurologiczna i okulistyczna, nie wykazały istotnych zmian patologicznych. Wykonana w lipcu 2012 roku tomografia komputerowa zatok obocznych nosa, ujawniła zmniejszenie objętości prawej zatoki szczękowej oraz ścięczenie jej ścian. Dno prawego oczodołu obniżone o około 3 mm w stosunku do lewego oczodołu. To badanie w połączeniu z nieobciążonym wywiadem oraz konsultacją otolaryngologiczną, pozwoliło na rozpoznanie zespołu cichej zatoki (ang. silent sinus syndrome). W sierpniu 2012 roku zostało zastosowane leczenie operacyjne w postaci endoskopowego otwarcia zatoki szczękowej prawej, a także usunięcie kolca nosowego tylnego przegrody nosowej po stronie prawej. Usunięty z zatoki materiał tkankowy poddano badaniu histopatologicznemu. Wynik ekspertyzy przedstawiał fragmenty błony śluzowej z przekrojami przez gruczoły śluzowe, pokryte nabłonkiem wielorzędowym migawkowym bez cech atypii oraz obfite ogniskowe nacieki zapalne z komórek limfoidalnych w podścielisku. Dwa

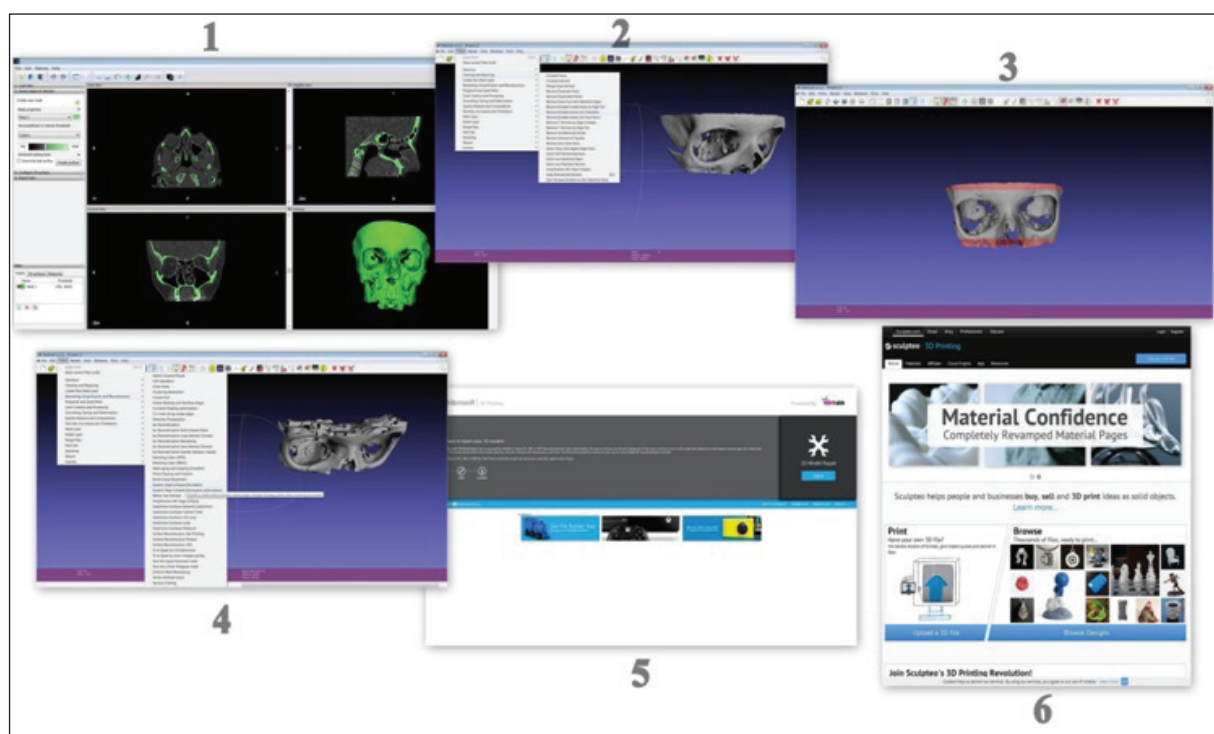


Fig. 1. Preparation of the medical model.
Przygotowanie modelu medycznego.

- using a “Remove Isolated Pieces” filter in MeshLab software (CNR, Pisa, Italy)
3. Trimming of the model to the area necessary for the surgery planning procedure.
 4. Simplification of the mesh (reduction of a number of mesh-forming points) using the “Quadric Edge Collapse Decimation” filter in the MeshLab software.
 5. The final STL file was sent to the “cloud.net-fabb.com” website in order to repair any errors that might have arisen in the process of data conversion (transformation from DICOM to STL).

6. The prepared reconstruction was then ordered, through the Sculpteo website and made by a selective laser sintering technique (SLS).

Before surgery, a semi-individual orbital reconstructive plate was shaped on the supplied model (Fig. 2) (Medartis, Basel, Switzerland). This allowed limiting intraoperative time, which is normally required to fit the plate to the orbital wall. After sterilization, the plate was applied during the operation. (Fig. 3)

lata później w Oddziale Chirurgii Szcękowo-Twarzowej, Rekonstrukcyjnej i Estetycznej wykonano zabieg rekonstrukcji zapadniętego dna oczodołu.

Przygotowanie modelu medycznego (Fig. 1):

1. Wykonanie rekonstrukcji 3D czaszki pacjentki na podstawie badania tomograficznego za pomocą programu InVesalius (CTI, Campinas, Brazylia). W tym celu wykorzystano filtr dwuprogowy o wartości dla tkanki kostnej $> 700\text{HU}$ (Hounsfield Units), a następnie zapisano plik w formacie STL.
2. Usunięcie wolnych, zbędnych fragmentów rekonstrukcji za pomocą filtra „Remove Isolated Pieces” w programie MeshLab (CNR, Piza, Włochy).
3. Przycięcie modelu do obszaru niezbędnego w celu planowania zabiegu chirurgicznego.
4. Zmniejszenie liczby fragmentów, z których składa się siatka modelu, za pomocą filtra „Quadric Edge Collapse Decimation” w programie MeshLab.

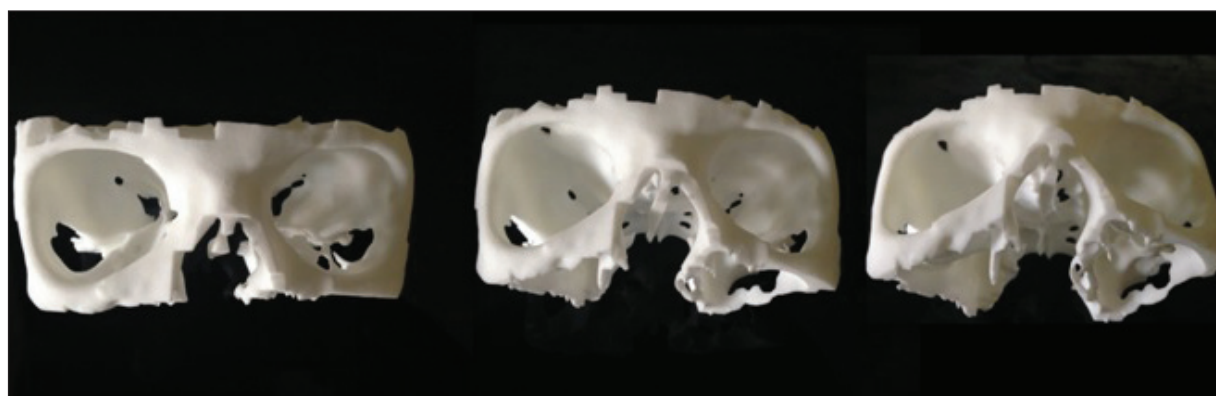


Fig. 2. Model of the orbits.

Wykonany model oczodołów.



Fig. 3. Semi-individual orbital reconstructive plate.

Wstępnie uformowana półindywidualna płyta rekonstrukcyjna dolnej ściany oczodołu.



Fig. 4. Semi-individual plate placed in the orbit and fixed with two screws.

Umieszczona oraz unieruchomiona za pomocą dwóch śrub płyta rekonstrukcyjna dolnej ściany oczodołu.

The surgery was performed under general anaesthesia with endotracheal intubation. The patient's skin was cut around contracted wrinkled skin at the base of the lower eyelid, soft tissue was dissected exposing the deformed orbital floor. The pre-prepared and pre-shaped titanium plate was inserted at the orbital floor. The correct positioning of the plate was checked and then fixed with two screws fastened to the bottom edge of the orbit (Fig. 4). The soft tissue was then sutured in layers. On the second day, the patient was discharged from the hospital. The symptoms reported pre-operatively were found to have disappeared.

Discussion

The reconstruction planning method allows

5. Uzyskany plik STL przesłano do portalu cloud.netfabb.com, w celu naprawy ewentualnych błędów powstałych w procesie konwersji/transformacji z danych DICOM do STL.
6. Tak przygotowana rekonstrukcja została zamówiona, za pośrednictwem portalu Sculpteo, w technice spiekania laserowego (SLS – selective laser sintering).

Na dostarczonym modelu (Fig. 2) przedzabiegowo została ukształtowana półindywidualna płyta rekonstrukcyjna oczodołu (Medartis, Bazylea, Szwajcaria). Dzięki temu został zaoszczędzony czas, który trzeba by było poświęcić na dopasowanie śródzabiegowe. Płytkę po sterylizacji została z powodzeniem wykorzystana podczas operacji (Fig. 3).

for a significant reduction in the length of the surgery and ensured that the plate fitted the patient. *Kozakiewicz et al.* demonstrated that restoration of orbital walls with individual plates, made with rapid prototyping techniques, accompanied by a rapid improvement in patient's health widened the limited field of view caused by the injury, and also resulted in a more symmetrical eyeball setting.¹²

The technique described here is an alternative to the use of expensive individually prefabricated plates. The creation of this model cost 300 PLN, and the delivery time was five days. However, it would be possible to further reduce production time by two days, if a local Polish 3-D printing laboratory was used.

Another advantage is the fact that the use of open-source designing software is free of software costs. The widespread availability of this source code allows any user to make modifications to improve its usability and creates the opportunity to prepare plug-ins for the individual needs of particular clinicians. One disadvantage might arise from the continuous software modifications, which would inhibit submission for experimental evaluation to bodies such as the FDA (US Food and Drug Administration), which are responsible for the release apparatus for routine use in medicine.

The use of industrial mediation via a prototyping website, such as *Sculpteo*, eliminates the necessity of investment in expensive machinery. Another possible solution to the problem of crafting a prepared model is institutions called *Fab Labs* (fabrication laboratories). These are small, accessible laboratories that allow a user to perform the entire process of rapid prototyping in one place. 3-D scanners and printers are provided, as well as CNC machine tools and laser cutters. Model production is not free, but professionals are at hand to help solve any issues that might emerge. Many *Fab Labs* offer training and workshops to help the user master the basics of designing and printing. The rapid development of this industry in the past two years has meant that *Fab Labs* are now located in every major Polish city. A link of the *Fab Labs* found in Poland is http://pl.wikipedia.org/wiki/Fab_lab#Lista_Fab_Lab.C3.B3w_w_Polsce. The production procedure explained here

Zabieg operacyjny przeprowadzono w znieczuleniu ogólnym, z intubacją dotchawiczą. Z cięcia skórniego w zmarszczce skóry przy podstawie powieki dolnej, odpreparowano tkanki miękkie i odsłonięto zdeformowane dno oczodołu. Na dno włożono przygotowaną wcześniej i odpowiednio ukształtowaną płytę tytanową. Po sprawdzeniu prawidłowego ułożenia płytki, unieruchomiono ją za pomocą 2 śrub wkręconych w dolny brzeg oczodołu (Fig. 4). Tkanki miękkie zszyto warstwowo. Na drugi dzień pacjentka w stanie dobrym została wypisana do domu. Dolegliwości zgłaszane w wywiadzie ustąpiły.

Dyskusja

Metoda planowania rekonstrukcji przedstawiona powyżej, pozwoliła na znaczne skrócenie czasu trwania zabiegu, a także ułatwiła samo dopasowanie płyty do istniejących warunków anatomicznych. *Kozakiewicz i wsp.* dowiedli, że odtworzenie ściany oczodołu indywidualną płytą, wykonaną z zastosowaniem technik szybkiego prototypowania, skutkuje rychłą poprawą stanu zdrowia pacjenta, w postaci poszerzenia ograniczonego przez uraz pola widzenia oraz symetryczniejszego ustawienia gałki ocznej.¹²

Zaprezentowana technika może być alternatywą dla zastosowania indywidualnie prefabrykowanych płyt, charakteryzujących się wysokim kosztem produkcji. Wykonanie prezentowanego modelu kosztowało 300 zł, a czas konieczny na dostawę wyniósł 5 dni. Jednak możliwym jest skrócenie czasu oczekiwania do 2 dni, w przypadku korzystania z polskiego laboratorium druku 3D.

Kolejną zaletą jest fakt, że zastosowane do projektowania modelu programowanie open-source jest darmowe, a powszechna dostępność kodu źródłowego pozwalana wszystkim użytkownikom na wprowadzanie modyfikacji usprawniających użytkowanie, jak i daje możliwość przygotowania wtyczek na indywidualne potrzeby klinicystów. Z drugiej strony, ciągle modyfikacje uniemożliwiają poddanie programowania eksperymentalnej ewaluacji przez takie instytucje jak FDA (US Food and Drug Administration), które odpowiadają za dopuszczenie aparatury do rutynowego stosowania w medycynie.

is limited to the creation of diagnostic models. To produce elements related to intra-surgery, more advanced technology is required, which could mean enabling biocompatible, titanium alloys. A technology park would mean that the creation of these kinds of objects would be a real possibility.

Digital model designs can be easily archived and attached to a patient's medical history. This can facilitate consultations with medical professionals over distances. Another important advantage is the accuracy of the model, which in this case (SLS – selective laser sintering) is 100-150 μ m.¹³ Unfortunately, models made of plastic can only be subject to gas sterilization or a high degree of disinfection; models made of paper may be an alternative.¹⁴

Currently, there is a wide range of sample applications for rapid prototyping methods. The high precision in the design of anatomical structures could enable the production of educational models for students, which in addition to normal examinations, may also mean the diagnosis of a rare pathology. The models can also be used when in contact with patients, making it easier to explain the pathomechanism of the disease and the proposed treatment plan. The RP technique can also be used for the production of training models for residents wishing to learn surgical techniques.

RP solutions have some limitations due to their production methods. The basis for the use of this technology is good knowledge of CAD software. RP solutions also require more time to prepare a virtual model. The operator must know the basic limitations of 3-D printing. Very often, wanting to take advantage of the cheaper way of printing – FDM (Fused Deposition Modelling), which consists of a layered deposition of melted material, the walls of the orbit must be thickened or provided with pillars, or thin delicate print distortion can occur.

Despite the disadvantages already mentioned, this is certainly a technology for the future. RP solutions offer bolder reconstructive medicine. Papers have been published showing the possibility for the production of bioabsorbable stents of the trachea,¹⁵ total mandibular reconstruction,¹⁶ or temporary jaw reconstruction.¹⁷ There are also

Wykorzystanie pośrednictwa przemysłowego portalu prototypowania (Sculpteo), wyeliminowało potrzebę posiadania własnego parku maszynowego. Innym możliwym rozwiązaniem problemu wykonawstwa przygotowanego modelu są instytucje fab lab (fabrication laboratory). Są to małe, ogólnodostępne laboratoria, które umożliwiają przeprowadzanie całego procesu szybkiego prototypowania na miejscu. W wyposażeniu każdego z nich znajdują się skanery i drukarki 3D, obrabiarki CNC czy wycinarki laserowe. Wyprodukowanie swojego projektu jest odpłatne, jednak pracując można otrzymać pomoc profesjonalistów. W licznych fab labach prowadzone są szkolenia i warsztaty, które pomagają opanować podstawy projektowania, czy drukowania. Szybki rozwój tej branży w ciągu ostatnich dwóch lat spowodował, że fab laby znajdują się w każdym większym polskim mieście. Pod tym adresem dostępna jest ich lista: http://pl.wikipedia.org/wiki/Fab_lab#Lista_Fab_Lab.C3.B3w_w_Polsce. Zaprezentowane postępowanie produkcyjne, ogranicza się tylko do uzyskania modeli diagnostycznych. Jeżeli chcemy produkować elementy śródzabiegowe, potrzebujemy zaawansowanej technologii, umożliwiającej wykorzystanie biozgodnych, tytanowych stopów, co wiąże się z koniecznością posiadania rozbudowanego parku technologicznego.

Projekty modeli w formie cyfrowej można łatwo archiwizować, a także dołączyć do historii choroby pacjenta. Usprawniają również proces konsultacji na odległość. Istotnym plusem jest dokładność wykonania modelu, która w tym przypadku (SLS – selektywnej laserowej syntezy) wynosi 100-150 μ m.¹³ Niestety modele wykonane z tworzywa sztucznego, mogą podlegać wyłącznie sterylizacji gazowej lub dezynfekcji wysokiego stopnia. Alternatywą mogą być modele wykonane z papieru.¹⁴

Aktualnie istnieje szeroka gama przykładowych zastosowań dla metod szybkiego prototypowania. Dzięki dużej precyzji w odwzorowaniu struktur anatomicznych, możliwa jest produkcja modeli edukacyjnych dla studentów, które poza prawidłowymi relacjami, mogą prezentować także rzadkie patologie. Można je zastosować również w kontakcie z pacjentami, którym łatwiej będzie

promising publications describing the possibility of the creation of an exoskeleton¹⁹ and bone¹⁸ based on hydroxyapatite scaffolding produced in 3-D technology.

Through the use of RP solutions a significant reduction in operation time and performance can mean a reduction of common risks such as infection,²⁰ as well as the high cost of pre- and post-operative care.²¹ These solutions can offer greater comfort for the patient, as well as streamlining the work of the physician.

zrozumieć patomechanizm choroby, jak i zaproponowany plan leczenia. Tą samą techniką można uzyskać modele szkoleniowe, na których lekarze rezydenci mogą uczyć się technik zabiegowych.

Metody szybkiego prototypowania mają pewne ograniczenia wynikające z techniki produkcji. Podstawą posługiwania się opisaną technologią jest bardzo dobra znajomość oprogramowania CAD. Wymaga ona również większej ilości czasu, na przygotowanie wirtualnego modelu. Operator musi znać podstawowe ograniczenia druku 3D. Bardzo często chcąc skorzystać z tańszego sposobu druku – FDM (ang. Fused Deposition Modeling), polegającego na warstwowym osadzaniu topionego materiału, ściany oczodołu muszą zostać pogrubione lub wyposażone w podpory, ponieważ ich niewielka grubość uniemożliwia wydrukowanie, co może prowadzić do zniekształceń.

Pomimo wyżej wymienionych wad, jest to niewątpliwie metoda przyszłości. Technika rapid prototyping coraz śmielej wkracza w medycynę odtwórczą. Piśmiennictwo donosi o możliwości wykorzystania jej w produkcji bioabsorbowalnych stentów tchawicy,¹⁵ protezy żuchwy¹⁶ czy tymczasowych protez szczęki.¹⁷ Obiecujące są także publikacje opisujące możliwość otrzymania tkanki kostnej, bazującej na hydroksyapatytowym rusztowaniu wyprodukowanym w technice 3D¹⁸ czy egzoszkieletów.¹⁹

Dzięki posługiwaniu się tą techniką znacząco skraca się czas operacji, a co za tym idzie maleje ryzyko infekcji,²⁰ a także sam koszt opieki przed- i pooperacyjnej.²¹ Jest to spory komfort dla pacjenta, jak również duże usprawnienie pracy lekarza.

References

1. *Soparkar CN, Patrinely JR, Cuaycong MJ, Dailey RA, Kersten RC, Rubin PA, et al.*: The silent sinus syndrome: a cause of spontaneous enophthalmos. *Ophthalmology* 1994; 101:72-78.
2. *Burduk PK, Dalke K, Mierzwiński J, Kaźmierczak W, Wierzchowska M*: Zespół cichej zatoki u dzieci-
ka. *Otolaryngol Pol* 2007; 61: 458-462.
3. *Babiński D, Skorek A, Stankiewicz C*: Chronic maxillary atelectasis (silent sinus syndrome). *Otolaryngol Pol* 2006; 60: 929-933.
4. *Davidson JK, Soparkar CN, Williams JB, Patrinely JR*: Negative sinus pressure and normal

- predisease imaging in silent sinus syndrome. Arch Ophthalmol 1999; 117: 1653-1654.
5. *Illner A, Davidson HC, Harnsberger HR, Hoffman J*: The silent sinus syndrome: clinical and radiographic findings. AJR Am J Roentgenol 2002; 178: 503-506.
 6. *Hobbs CG, Saunders MW, Potts MJ*: "Imploding antrum" or silent sinus syndrome following naso-tracheal intubation. Br J Ophthalmol 2004; 88: 974-975.
 7. *Numa WA, Desai U, Gold DR, Heher KL, Annino DJ*: Silent sinus syndrome: A case presentation and comprehensive review of all 84 reported cases. Ann Otol Rhinol Laryngol 2005; 114: 688-694.
 8. *Kass ES, Salman S, Rubin PA, Weber AL, Montgomery WW*: Chronic maxillary atelectasis. Ann Otol Rhinol Laryngol 1997; 106: 109-116.
 9. *Rose GE, Sandy C, Hallberg L, Moseley I*: Clinical and radiologic characteristics of the imploding antrum, or "silent sinus," syndrome. Ophthalmology 2003; 110: 811-818.
 10. *Babar-Craig H, Kayhanian H, De Silva DJ, Rose GE, Lund VJ*: Spontaneous silent sinus syndrome (imploding antrum syndrome): Case series of 16 patients. Rhinology 2011; 49: 315-317.
 11. *Miecielica M*: Techniki szybkiego prototypowania – Rapid Prototyping. Prz Mech 2010; 2: 39-45.
 12. *Kozakiewicz M, Elgalal M, Loba P, Broniarczyk-Loba A, Stefańczyk L*: Treatment with individual orbital wall implants in humans – 1-Year ophthalmologic evaluation J Craniomaxillofac Surg 2011; 39:30-36.
 13. <http://www.sculpteo.com/en/plastic-material>
 14. *Olszewski R, Szymor P, Kozakiewicz M*: Accuracy of three-dimensional, paper-based models generated using a low-cost, three-dimensional printer. J Craniomaxillofac Surg 2014; 42: 1847-1852.
 15. *Zopf DA, Hollister SJ, Nelson ME, Ohye RG, Green GE*: Bioresorbable airway splint created with a three-dimensional printer. N Engl J Med 2013; 368: 2043-2045.
 16. <http://www.xilloc.com/patients/stories/total-mandibular-implant>
 17. *Mertens C, Löwenheim H, Hoffmann J*: Image data based reconstruction of the midface using a patient-specific implant in combination with a vascularized osteomyocutaneous scapular flap. J Craniomaxillofac Surg 2013; 41: 219-225.
 18. *Leukers B, Gülkan H, Irsen SH, Milz S, Tille C, Schieker M*: Hydroxyapatite scaffold for bone tissue engineering made by 3D printing. J Mater Sci Mater Med 2005; 16: 1121-1124.
 19. *Haumont T, Rahman T, Sample W, M King M, Church C, Henley J, et al.*: Wilmington robotic exoskeleton: a novel device to maintain arm improvement in muscular disease. J Pediatr Orthop 2011; 31: 44-49.
 20. *Rosenberg AJ, Van Cann EM, van der Bilt A, Koole R, van Es RJ*: A prospective study on prognostic factors for free-flap reconstructions of head and neck defects. Int J Oral Maxillofac Surg 2009; 38: 666-670.
 21. *Macario A, Vitez TS, Dunn B, McDonald T*: Where are the costs in perioperative care? Analysis of hospital costs and charges for inpatient surgical care. Anesthesiology 1995; 83: 1138-1144.

Address: 70-111 Szczecin, al. Powstańców Wielkopolskich 72
Tel.: +4891 4661702
e-mail: kasia-lewusz@wp.pl

Received: 6th December 2014

Accepted: 1st January 2015