

lek. Łukasz Stopa

**Złamania oczodołu – patogeneza objawów, wyniki oraz nowe
kierunki rozwoju leczenia operacyjnego**

**Rozprawa na stopień doktora nauk medycznych i nauk o zdrowiu
w dyscyplinie nauki medyczne**

Promotor: prof. dr hab. Artur Kamiński

Zakład Anatomii Prawidłowej i Klinicznej
Wydział Lekarski
Centrum Biostruktury
Warszawski Uniwersytet Medyczny



Obrona rozprawy doktorskiej przed Radą Dyscypliny Nauk Medycznych
Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

Warszawa 2024 r.

Słowa kluczowe

złamanie oczodołu, objawy, tomografia komputerowa, leczenie,
druk trójwymiarowy (druk 3D)

Key words

orbital fracture, symptoms, computed tomography, treatment,
three-dimensional printing (3D printing)

Wykaz prac stanowiących część cyklu:

1. Stopa, Ł.; Stopa, W.; Stopa, Z. Correlation between Tomography Scan Findings and Clinical Presentation and Treatment Outcomes in Patients with Orbital Floor Fractures. *Diagnostics* 2024, 14, 245.
<https://doi.org/10.3390/diagnostics14030245>
2. Papeczyc, A.; Stopa, Ł.; Stopa, W.; Stopa, Z. Leczenie chirurgiczne izolowanych złamań dna oczodołu z wykorzystaniem materiałów resorbowalnych lub nieresorbowalnych – doświadczenie ośrodka. *Magazyn Stomatologiczny* 2023; 10: 8-13
3. Stopa, Ł.; Papeczyc, A.; Stopa, Z.; Abed, K.; Use of 3D-printed model to plan the surgical management of a patient with isolated orbital floor fracture: a case report. *AME Case Reports* 2024 doi: 10.21037/acr-24-73

Spis treści:

Strona tytułowa	1
Słowa kluczowe.....	2
Wykaz prac stanowiących część cyklu	3
Spis treści	4
Wykaz stosowanych skrótów	5
Streszczenie w języku polskim	6
Streszczenie w języku angielskim	9
Wstęp i dyskusja aktualnego piśmiennictwa.....	11
Założenia i cel pracy	15
Correlation between Tomography Scan Findings and Clinical Presentation and Treatment Outcomes in Patients with Orbital Floor Fractures	16
Leczenie chirurgiczne izolowanych złamań dna oczodołu z wykorzystaniem materiałów resorbowalnych lub nieresorbowalnych – doświadczenie ośrodka	27
Use of 3D-printed model to plan the surgical management of a patient with isolated orbital floor fracture: a case report	33
Podsumowanie	39
Piśmiennictwo	40
Oświadczenia współautorów	44

Wykaz skrótów

AO - Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
CT - Computed tomography
BT - Before treatment
AT - After treatment
IAT - Improvement after treatment
AEP - Asymmetric eyeball placement
IOM - Impaired ocular mobility
PI - Parameter I
PII - Parameter II
PIII - Parameter III
PIV - Parameter IV
PV - Parameter V
PVI - Parameter VI
PVII - Parameter VII
PVIII - Parameter VIII
PIX - Parameter IX
PX - Parameter X
PXI - Parameter XI
ZIDO - Złamanie izolowane dna oczodołu
TK - Tomografia komputerowa
3D - Three-dimensional
DICOM - Digital Imaging and Communications in Medicine
ROI - Region of interest
SNR - Signal-to-noise ratio
SLT - stereolithography

Streszczenie

Złamania izolowane dna oczodołu (ZIDO) są konsekwencją urazów twarzy i manifestują się podwójnym widzeniem, enoftalmią i zaburzeniem czucia w zakresie unerwienia przez nerw podoczodołowy. Leczenie chirurgiczne polega na uwolnieniu tkanek miękkich uwięzionych w szczelinie złamania, odprowadzeniu przepukliny ze światła zatoki szczękowej oraz rekonstrukcji dna oczodołu z użyciem odpowiednio dobranego materiału. Dokładny patomechanizm złamania jak wybór metody leczenia pozostaje kontrowersyjny. Przy planowaniu leczenia operacyjnego zastosowanie znaleźć może stereolitografia.

Celem niniejszego cyklu prac były: 1) Analiza powiązania pomiędzy wybranymi parametrami uzyskanymi na podstawie obrazu tomografii komputerowych, a obecnością poszczególnych objawów oraz wynikami leczenia w zależności od jego rodzaju u pacjentów cierpiących na złamanie dna oczodołu. 2) Porównanie wyników leczenia operacyjnego przy zastosowaniu materiałów wchłaniających oraz siatki tytanowej u pacjentów ze złamaniem dna oczodołu. 3) Prezentacja możliwości i zalet zastosowania stereolitografii w procesie planowania leczenia operacyjnego złamań dna oczodołu na przykładzie opisu przypadku.

W pierwszej części cyklu do badania zakwalifikowano 40 pacjentów. Na podstawie dokumentacji medycznej pozyskano informacje o obecności dwojenia, zaburzenia ruchomości gałki ocznej, asymetrycznego ustawiania gałek ocznych i niedoczulicy w zakresie unerwienia nerwu podoczodołowego. Ocenie poddano dziewięć opartych na tomografii komputerowej parametrów. Dwa dodatkowe wyliczono na ich podstawie. Pozyskano również dane z wizyt kontrolnych 30 pacjentów. Wyniki opracowano statystycznie, za poziom istotności przyjmując $p < 0.05$. Opracowanie statystyczne wykazało istnienie mnogich korelacji pomiędzy pomiarami i znaleziskami w obrazie tomografii komputerowej, a obecnością objawów i wynikami leczenia. Między innymi wykazano że przepuklina do zatoki szczękowej była istotnie większa u pacjentów bez poprawy w zakresie niedoczulicy w zakresie unerwienia nerwu podoczodołowego ($p = 0.0031$) oraz bez poprawy w zakresie ruchomości gałki ocznej ($p = 0.0037$). Nie znaleziono powiązania pomiędzy objawami uwięzienia mięśnia prostego dolnego, a zaburzeniem ruchomości gałki ocznej ($p = 0.664431$; $p = 0.420289$) czy pomiędzy

bezpośrednim złamaniem kanału podoczodołowego a niedoczulicą w zakresie unerwienia nerwu podoczodołowego. ($p = 0.371102$).

W części drugiej analizie poddano wyniki leczenia operacyjnego przy zastosowaniu materiałów wchłaniających oraz siatki tytanowej. Badanie miało charakter retrospektywny. Zakwalifikowano do niego 53 pacjentów. Ocenie poddano obecność podstawowych objawów ZIDO, tj.: podwójnego widzenia, ograniczenia ruchomości gałki ocznej, asymetrycznego ustawienia gałek ocznych oraz niedoczulicy w zakresie unerwienia nerwu podoczodołowego przed leczeniem operacyjnym i podczas ostatniej kontroli pooperacyjnej. U 39 pacjentów z dostępną archiwalną tomografią komputerową (TK), oceniono dodatkowo maksymalną szerokość złamania w płaszczyźnie czołowej i maksymalną długość złamania w płaszczyźnie strzałkowej, a następnie na ich podstawie wyliczono przybliżoną powierzchnię złamania. Wyniki poddano analizie statystycznej. Spośród włączonych do badania pacjentów u 34 zastosowano materiał resorbowalny, u 17 zaś siatkę tytanową. Do rekonstrukcji oczodołów u 2 chorych zastosowano kość autogenną. Opracowanie statystyczne nie wykazało istotnych statystycznie różnic między wynikami leczenia z zastosowaniem porównywanych materiałów. Pozostaje to w zgodności z danymi dostępnymi w piśmiennictwie.

Ostatnia część cyklu zawiera opis przypadku zastosowania stereolitografii przy planowaniu i przygotowaniu rekonstrukcji dna oczodołu. 43-letnia pacjentka została przyjęta do szpitala z widzeniem podwójnym, które pojawiło się po upadku z własnej wysokości. Wykonane badania, w tym tomografia komputerowa pozwoliły postawić diagnozę złamania izolowanego dna oczodołu. Stereolitografia (druk 3D) została zastosowana do zaplanowania leczenia operacyjnego. Bazując na przedoperacyjnej tomografii komputerowej przygotowano w skali 1:1 model przedstawiający złamany oczodół. Został on później wykorzystany do wstępnego docięcia materiału Codubix użytego następnie do rekonstrukcji złamanej kości. Przebieg pooperacyjny pozbawiony był komplikacji. Doszło do natychmiastowej poprawy w widzenia obuocznego. W wykonanej trzeciego dnia po operacji tomografii komputerowej wykluczono obecność przepukliny w zatoce szczękowej.

Podsumowując, szeroko przyjęta teza jakoby zaburzenie ruchomości gałki ocznej w złamaniach dna oczodołu było rezultatem zakleszczenia mięśnia prostego dolnego nie znajduje potwierdzenia w danych opartych o obrazy tomografii komputerowej. Rozmiar przepukliny do wnikającej do zatoki szczękowej może stanowić potencjalny czynnik rokowniczy.

Wybór materiału stosowanego do rekonstrukcji dna oczodołu powinien opierać się na indywidualnej ocenie klinicznej pacjenta i doświadczeniu operatora.

Stereolitografia wydaje się być przydatnym narzędziem pozwalającym na precyzyjne przygotowanie się do technicznie skomplikowanego leczenia operacyjnego złamań dna oczodołu.

Abstract

Orbital fractures – pathogenesis of symptoms, treatment results and novel developments in surgical treatment

Orbital floor fractures result from facial trauma. Their symptoms include diplopia, enophthalmia and infraorbital nerve paresis. Surgical treatment involves the reconstruction of the floor of the orbit with an appropriate material. The exact pathomechanism of the fracture remains controversial. Stereolithography may be used in preoperative planning.

The aim of the presented studies was: 1) To investigate the relationship between parameters gathered by means of computed tomography (CT), the clinical presentation, and treatment outcomes, in patients suffering from orbital floor fractures. 2) To compare the treatment results in patients in which a resorbable and a non-resorbable material was used for the reconstruction of the orbital floor. 3) To present the possibilities and advantages of stereolithography in preoperative planning of orbital floor reconstructions based on a case study.

In the first part forty patients with orbital floor fractures were included in this study. Information regarding diplopia, impaired ocular mobility, asymmetric eyeball placement, and infraorbital paresis was gathered from the medical records. Nine CT-based parameters were assessed. Two additional parameters were calculated, based on the previous ones. The follow-up data of 30 patients were analysed. The results were statistically evaluated. The significance level was $p < 0.05$. Statistical evaluation revealed multiple correlations between CT-based findings, symptoms, and treatment results. Among others, the hernia into the maxillary sinus was significantly larger in patients without improvement in infraorbital paresis ($p = 0.0031$) and without improvement in asymmetric eyeball placement ($p = 0.0037$). There was no correlation between the entrapment of the rectus inferior muscle and impaired ocular mobility ($p = 0.664431$; $p = 0.420289$) and between the direct fracture of the infraorbital canal and infraorbital paresis ($p = 0.371102$).

The second part of the study was conducted retrospectively, as well. It included 53 patients. The presence of typical orbital floor fracture symptoms, as diplopia, impaired eyeball mobility, asymmetric eyeball placement and infraorbital paresis, has been assessed before and after surgical treatment with . In 39 patients for whom a CT scan was available, additionally the largest diameters of the fracture in the sagittal and coronal planes have been measured and the approximate surface of the fracture was calculated. The results have been statistically evaluated. The statistical evaluation has failed to prove any significant differences in the outcome of treatment in patients treated using resorbable materials and those treated using a titanium mesh. This result stays in line with available literature.

The case report has been presented as a last part of the study. A 43-year-old female patient presented to the hospital with diplopia, which first occurred after a fall from own height. Examinations, including a computed tomography (CT) confirmed the diagnosis of an orbital floor fracture. 3D printing was used to plan the surgical treatment of the patient. Based on preoperative CT, a 1:1 scale model was prepared by means of 3D printing to demonstrate the fractured orbital area. It was later used to pre-cut a Codubix prosthesis, which was subsequently used to reconstruct the fractured bone. The patient's postoperative course was uneventful. Instant improvement in diplopia was noted. A CT scan was performed on the 3rd day after surgery. No herniation into the maxillary sinus was observed.

To conclude, the widely assumed thesis that impaired ocular mobility in orbital fractures is caused by entrapment of the rectus inferior muscle is disproved by CT-based data. CT-based findings, symptoms, and treatment results in patients with orbital floor fractures were significantly correlated. A large hernia may be a negative prognostic factor.

The material used for reconstruction in orbital floor fractures should be based on individual assessment of the patient and the experience of the surgeon.

Stereolithography seems to be a useful method that allows more precise preparation for subsequent surgery.

Wstęp i dyskusja aktualnego piśmiennictwa

Złamania dna oczodołu, choć badane i skrupulatnie opisywane na łamach piśmiennictwa medycznego już w połowie XIX wieku do dziś pozostają nadzwyczaj intrygującym jak i jednocześnie kontrowersyjnym zagadnieniem w obrębie chirurgii czaszkowo-szczękowo-twarzowej. Już sama definicja i dokładna nomenklatura tych złamań doczekała się licznych wersji i interpretacji. Ich istotą pozostaje jednak złamanie dna oczodołu, ewentualnie wraz z udziałem ściany przyśrodkowej, przy jednoczesnym zachowaniu ciągłości kostnego obramowania oczodołu. Sam fakt istnienia takich złamań budzi wiele pytań natury biomechanicznej, jako, że uszkodzone struktury, z przyczyn anatomicznych nie są ekspozowane bezpośrednio na działanie siły doprowadzającej do urazu. We współczesnym piśmiennictwie dominują dwa zasadnicze poglądy na ten temat. Pierwszy z nich zakłada, że siła padająca na gałkę oczną powoduje wzrost ciśnienia w oczodole, co skutkuje wyłamaniem jego dna, najcieńszej i najsłabszej mechanicznie struktury. Drugi z kolei wskazuje na przeniesienie siły padającego uderzenia poprzez brzeg podoczodołowy.

Równie intrygujący, choć zdecydowanie mniej zbadany pozostaje aspekt dokładnej patogenyzy objawów tych złamań, do których należą typowo enophtalmia, diplopia, zaburzenie ruchomości gałki ocznej oraz niedoczulica w zakresie unerwienia nerwu podoczodołowego. W fachowym piśmiennictwie powtarzane są utarte i nieomal dogmatyczne tezy na ten temat, w szczególności odnośnie mechanizmu „trapdoor”. Brakuje jednak szerokich badań mogących dostarczyć empirycznych danych na ten temat. Obszarem niezwykle burzliwej debaty nadal pozostaje wybór metody leczenia, a także w przypadku leczenia zabiegowego rodzaj stosowanego do rekonstrukcji oczodołu materiału. Niniejszy cykl prac pochyła się nad tymi zagadnieniami. Dostarcza przy tym dowodów naukowych zaprzeczających powszechnie przyjętym tezom dotyczącym genezy objawów złamań dna oczodołów.

W pierwszym rzędzie należy tu zwrócić uwagę na brak statystycznej korelacji pomiędzy obecnością zaburzenia ruchomości gałki ocznej, czy ich asymetrycznego ustawienia a zgłaszaniem przez pacjentów dwojenia. Jest to o tyle intrygujące co kontr-intuicyjne, jako że przyjęło się zakładać, że to właśnie wymienione wyżej patologie są bezpośrednią przyczyną

dwojenia w przypadku ZIDO. Co do zasady, w przypadku złamań części twarzowej czaszki przyjmuje się, że bardziej rozległe złamania roszą gorzej [I/15, I/16]. Jak wskazują wyniki niniejszego opracowania nie rozciąga się to jednak na ZIDO, jako że nie wykazano istotnego statystycznie związku powierzchni złamania z wynikami odległymi. Co więcej, nie stwierdzono również korelacji pomiędzy bezpośrednim złamaniem kanału nerwu podoczodołowego a obecnością niedoczulicy w zakresie jego unerwienia. Potencjalnym wytłumaczeniem tego niespodziewanego fenomenu, mogłoby być uszkodzenie nerwu w wyniku ucisku i niedokrwienia jako konsekwencja obrzęku uszkodzonych tkanek, a nie bezpośrednie przerwanie jego ciągłości przez odłamy kostne [I/16]. Istotne jest również aby zwrócić uwagę na wyniki dotyczące rozmiaru przepukliny w zatoce szczękowej. Nie wykazano bowiem żadnych istotnych statystycznie relacji w odniesieniu do obecności objawów przed leczeniem, jednocześnie zaś, stwierdzono istotnie statystycznie większe przepukliny (mierzone przy przyjęciu) u pacjentów z brakiem poprawy po zastosowanym leczeniu. Wskazuje to, że rozmiar przepukliny może stanowić potencjalny negatywny czynnik rokowniczy. Wyniki te są po części zgodne z danymi dostępnymi w piśmiennictwie, jako że rozmiar przepukliny bywa wskazywany jako potencjalne wskazanie do leczenia zabiegowego [I/17]. Najistotniejszym punktem niniejszego cyklu prac jest jednak opisanie braku obecności powiązania statystycznego pomiędzy cechami zakleszczenia mięśnia prostego dolnego obserwowanymi w tomografii komputerowej złamanego oczodołu, a obecnością objawów i wynikami leczenia. Stoi to w oczywistej sprzeczności do powszechnie przyjętej tezy, jakoby to właśnie zakleszczenie mięśnia prostego dolnego stanowiło przyczynę zaburzonej ruchomości gałki ocznej w przypadku ZIDO [I/3, I/19, I/20]. Mechanizm genezy objawów zdaje się wobec tego być inny. W piśmiennictwie wykazano istotnie większą grubość mięśnia prostego dolnego po stronie złamania [I/21]. W połączeniu z wynikami zaprezentowanymi w niniejszym opracowaniu, można spekulować, że zaburzenie funkcji mięśnia prostego dolnego może wynikać, nie jak się powszechnie przyjmuje z jego fizycznego zakleszczenia, ale raczej z bezpośredniego uszkodzenia czy niedokrwienia tego mięśnia.

Niniejsze opracowanie wpisuje się jednocześnie w szerszą debatę dotyczącą metod leczenia ZIDO. Mimo licznych publikacji pozostaje to temat kontrowersyjny [II/5, II/8, II/9, II/10]. Do dziś nie istnieją jasne, jednoznaczne kryteria pozwalające na kwalifikację chorych do leczenia zabiegowego bądź zachowawczego ani bezsprzeczne wytyczne w kwestii wyboru materiału do rekonstrukcji. Przyjmuje się powszechnie, że materiały resorbowalne powinny być raczej

stosowane przy złamaniach mniejszych, siatki tytanowe zaś – przy złamaniach bardziej rozległych. Ostatecznie jednak decydującą rolę odgrywają: indywidualna ocena kliniczna danego pacjenta oraz doświadczenie chirurga i ośrodka. Interesujący w tym kontekście wydaje się fakt, że w niniejszym badaniu nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic analizując powierzchownie ubytków kostnych powstałych w wyniku złamania, wyjściowe objawy kliniczne pacjentów leczonych z użyciem materiału resorbowalnego w porównaniu do tych, u których zastosowano siatkę tytanową. Nie tylko potwierdza to fakt, że wybór metody leczenia jest w dużej mierze kwestią subiektywnej oceny, ale również pozwala porównać obydwa materiały, jako że wyjściowe grupy chorych nie różnią się od siebie w sposób statystycznie istotny w zakresie ocenianych w badaniu parametrów. W odniesieniu do zaprezentowanych wyżej wyników porównanie to należy sprowadzić do zasadniczego stwierdzenia, że nie ma pomiędzy nimi istotnych różnic w kwestii klinicznych efektów leczenia, a materiały resorbowalne mogą być z dobrymi wynikami stosowane w ZIDO. Stwierdzenie to pozostaje w zgodzie z danymi dostępnymi w piśmiennictwie [II/7, II/8]. Bardzo zbliżone wyniki przedstawiono szczególnie w opracowaniu autorstwa Seen i wsp. [II/8].

Jak powszechnie wiadomo odpowiedni do prawidłowego wykonania zabiegów operacyjnych potrzebny jest zarówno odpowiedni poziom sprawności manualnej jak i dogłębna znajomość uwarunkowań anatomicznych. Jednakże nawet najbardziej rozległa edukacja anatomiczna nie może objąć indywidualnych uwarunkowań typowych dla operowanego pacjenta. Z tego względu chirurdzy od wieków zainteresowani są metodami pozwalającymi na dokładniejsze i bardziej zindywidualizowane planowanie leczenia zabiegowego. Możliwość taką zaoferowały częściowo po raz pierwszy standardowe techniki radiologiczne. Jednakże dane pozyskiwane z badań radiologicznych są z natury ograniczone, a prawidłowe przewidywanie na ich podstawie tego, co chirurgii napotka w trakcie operacji jest trudnym wyzwaniem [III/11]. Z tego względu opracowano liczne, dodatkowe, nowoczesne techniki jak choćby rzeczywistość rozszerzona, czy druk trójwymiarowy. Pierwsze próby stereolitograficznego wytwarzania modeli mających odzwierciedlać ludzką anatomię podejmowano już w latach 90-tych ubiegłego stulecia [III/12]. Mniej niż dekadę później, zaczęto podejmować próby stosowania takich modeli w planowaniu zabiegów i nawigacji śródoperacyjnej [III/13, III/14]. Warto nadmienić, że próby te w pierwszej kolejności podejmowano między innymi w chirurgii głowy i szyi [III/12]. W dzisiejszych czasach stereolitografia jest szeroko stosowana do wytworzenia spersonalizowanych implantów jak i dokładnych modeli oddających anatomię pacjentów. Modele takie mogą być

stosowana w trakcie przygotowania do zabiegu, jako że oferują unikatową szansę aby zapoznawać się z nimi dotykiem, co jest niedostępne w przypadku standardowych technik radiologicznych. Pozwala to również na docinanie i przygotowywanie materiału rekonstrukcyjnego ex-vivo, co teoretycznie mogłoby pozwolić na skrócenie czasu trwania późniejszej operacji. Warto tu zaznaczyć, że długość trwania zabiegu jest powszechnie znanym czynnikiem ryzyka wstąpienia powikłań [III/15, III/16]. Wydaje się to być również technicznie prostsze, ponieważ model pozwala uniknąć interferencji ze strony tkanek miękkich. Sterylność takiej procedury jest zapewniana przez następczą sterylizację materiału rekonstrukcyjnego lub przypadku gdy nie jest to możliwe, poprzez sterylizację czy też sterylne obłożenie modelu. Tymczasem w trakcie standardowej procedury operacyjnej złamanie oceniane jest na podstawie obrazu tomografii komputerowej, a jego dokładna analiza jest możliwa dopiero śródoperacyjnie. Materiał rekonstrukcyjny jest wielokrotnie docinany i doginany oraz wkładany i wyjmowany z oczodołu, aż osiągnie odpowiedni kształt. Potencjalną wadą metody z zastosowaniem druku trójwymiarowego jest ryzyko wydłużenia okresu przedoperacyjnego, szczególnie problematyczne w przypadku ZIDO. Wykazano, że wczesna interwencja zabiegowa jest pozytywnym czynnikiem rokowniczym [III/17]. Doświadczenie pokazuje jednak, że doświadczona osoba jest w stanie opracować cyfrowo i przygotować model do druku w ciągu 2-3 godzin. Dodając do tego kilka godzin potrzebnych na samą procedurę stereolitografii, okazuje się, że całość powinna być, przy odpowiedniej organizacji, wykonalna w standardowym przygotowaniu przedoperacyjnym.

Założenia i cel pracy

Celem niniejszego cyklu prac były:

- I. Analiza powiązania pomiędzy wybranymi parametrami uzyskanymi na podstawie obrazu tomografii komputerowych, a obecnością poszczególnych objawów oraz wynikami leczenia w zależności od jego rodzaju u pacjentów cierpiących na złamanie dna oczodołu.
- II. Porównanie wyników leczenia operacyjnego przy zastosowaniu materiałów wchłanialnych oraz siatki tytanowej u pacjentów cierpiących na złamanie dna oczodołu.
- III. Prezentacja możliwości i zalet zastosowania stereolitografii w procesie planowania leczenia operacyjnego złamań dna oczodołu na przykładzie opisu przypadku.

Article

Correlation between Tomography Scan Findings and Clinical Presentation and Treatment Outcomes in Patients with Orbital Floor Fractures

Lukasz Stopa ^{1,†} , Wojciech Stopa ^{2,†} and Zygmunt Stopa ^{2,*}

¹ Department of Descriptive and Clinical Anatomy, Center for Biostructure Research, Medical University of Warsaw, 02-091 Warsaw, Poland

² Department of Craniomaxillofacial Surgery, Oral Surgery and Implantology, Medical University of Warsaw, 02-091 Warsaw, Poland

* Correspondence: zygmunt.stopa@wum.edu.pl

† These authors contributed equally to this work.

Abstract: *Background:* Orbital floor fractures involve damage to the orbital floor but not the infraorbital margin. Despite intensive research, they remain a controversial topic. The aim of this study was to investigate the relationship between parameters gathered by means of computed tomography (CT), the clinical presentation, and treatment outcomes, in patients suffering from orbital floor fractures. *Methods:* Forty patients with orbital floor fractures were included in this study. Information regarding diplopia, impaired ocular mobility, asymmetric eyeball placement, and infraorbital paresis was gathered from the medical records. Nine CT-based parameters were assessed. Two parameters were calculated, based on them. The follow-up data of 30 patients were analyzed. The results were statistically evaluated. The significance level was $p < 0.05$. *Results:* Statistical evaluation revealed multiple correlations between CT-based findings, symptoms, and treatment results. Among others, the hernia into the maxillary sinus was significantly larger in patients without improvement in infraorbital paresis ($p = 0.0031$) and without improvement in asymmetric eyeball placement ($p = 0.0037$). There was no correlation between the entrapment of the rectus inferior muscle and impaired ocular mobility ($p = 0.664431$; $p = 0.420289$) and between the direct fracture of the infraorbital canal and infraorbital paresis ($p = 0.371102$). *Conclusions:* The widely assumed thesis that impaired ocular mobility in orbital fractures is caused by entrapment of the rectus inferior muscle is disproved by CT-based data. CT-based findings, symptoms, and treatment results in patients with orbital floor fractures were significantly correlated. A large hernia may be a negative prognostic factor.

Keywords: orbital fracture; computed tomography; craniofacial trauma; reconstructive surgery; symptoms



Citation: Stopa, L.; Stopa, W.; Stopa, Z. Correlation between Tomography Scan Findings and Clinical Presentation and Treatment Outcomes in Patients with Orbital Floor Fractures. *Diagnostics* **2024**, *14*, 245. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14030245>

Academic Editor: Fabiano Bini

Received: 4 November 2023

Revised: 15 January 2024

Accepted: 22 January 2024

Published: 24 January 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Orbital floor fractures have remained a source of enduring controversy and intrigue within the field of maxillofacial surgery, eliciting ongoing discussions and scholarly investigations. According to the classification system developed by Professor Hubert Wanyura, widely adopted in Poland, these fractures fall within the category of low facial injuries sustained due to lateral force application [1]. They bear a distinctive hallmark: the presence of an orbital floor fracture, unaccompanied by a fracture of the infraorbital margin [1]. It is important to note that this classification system also encompasses fractures of the medial wall. However, a contrasting perspective emerges when considering the AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) Craniomaxillofacial Classification, which firmly distinguishes between orbital floor and medial wall fractures [2]. While the term “blowout” fractures is often casually assigned to orbital floor fractures [3], this designation itself evokes debate, as it refers to the controversial pathomechanisms governing these injuries. Some scholars posit that such fractures result from a sudden surge in intraorbital pressure subsequent to a direct impact on the eyeball, ultimately culminating in the fracturing of the most

vulnerable wall of the orbit: the orbital floor itself [1,4–8]. Conversely, an opposing viewpoint has been articulated, suggesting that such injuries are infrequent, with the majority of impacts predominantly involving the infraorbital margin. In such scenarios, the fracture is believed to stem from the direct transmission of force to the orbital floor [4–9]. Over the years, numerous studies have been conducted, yet clear-cut guidelines for the treatment of orbital floor fractures have yet to emerge [10]. It is generally surmised that surgical intervention is warranted in cases marked by enophthalmos and persistent diplopia, with the presence or absence of infraorbital paresis emerging as an additional factor influencing the treatment decision-making process [3]. In terms of surgical interventions, the reconstruction of the orbital floor can be accomplished through a variety of materials, ranging from the employment of titanium to the utilization of bioresorbable substances and autogenous bone grafts. Nevertheless, the precise criteria governing the selection of a particular treatment modality and the potential superiority of certain surgical techniques over others remain fervently debated topics within the annals of medical literature [10–13]. The central objective of this study was to investigate the relationship between the parameters gathered through the use of computed tomography (CT) scans and the clinical presentation, as well as the outcomes of treatment, in patients suffering from orbital floor fractures.

2. Materials and Methods

This retrospective study included patients treated for orbital floor fractures in the clinic between January 2017 and October 2019 for whom computed tomography (CT) scans of sufficient quality were available. The exclusion criteria were the presence of additional facial fractures or pathologies and incomplete or unclear medical records. Therefore, 40 patients were included in this study. The study was conducted in compliance with the legal and ethical standards applicable in Poland and the European Union.

By using the patients' medical records, information regarding the presence of diplopia, impaired ocular mobility, asymmetric eyeball placement, and infraorbital paresis before treatment was collected. A symptom was considered "present" if it occurred at least once from admission to the hospital until the moment surgical treatment was performed, or until the patient was discharged who had received conservative treatment. The follow-up of patients for whom data were available (30 patients in total—the remaining 10 patients did not show up at follow-up visits) was also evaluated. Information regarding the aforementioned symptoms was collected. (For details, see Appendix A). By using the Weasis DICOM viewer (v3.5.4, Hewlett Packard, Palo Alto, CA, USA), nine computed tomography-based parameters were evaluated:

- PI—Largest length of the fracture in the sagittal plane in millimeters (See Figure 1);
- PII—Distance between the end of the fracture and the infraorbital margin in the sagittal plane in millimeters (See Figure 1);
- PIII—Distance between the infraorbital margin and the end of the orbit in the sagittal plane in millimeters (See Figure 1);
- PIV—Whether the fracture includes the medial wall of the orbit; (See Figure 2);
- PV—Relation between the fracture and the infraorbital nerve [3 possibilities: (A) the fracture does not include the infraorbital canal and (B) the fracture goes directly through the infraorbital canal, and (C) the infraorbital canal is within a fractured bone fragment] (See Figure 2);
- PVI—Largest width of the fracture in the coronal plane in millimeters (See Figure 3);
- PVII—Size of a hernia into the maxillary sinus in the coronal plane in millimeters (See Figure 3);
- PVIII—Position of the fractured bone fragments (i.e., presence or absence of a trapdoor formation) (See Figure 2); and
- PIX—Displacement of the rectus inferior muscle [3 possibilities: (A) muscle not displaced, (B) muscle displaced to the level of the orbital floor, and (C) muscle displaced into the maxillary sinus] (See Figure 2).

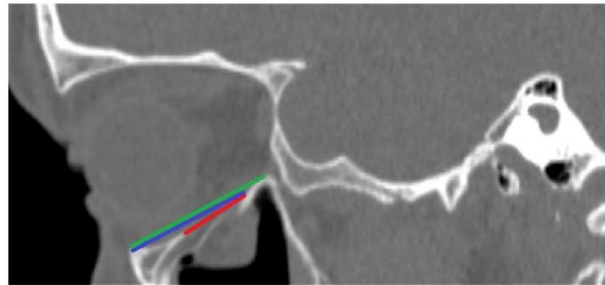


Figure 1. CT-scan. Sagittal view of a fractured orbit. Parameter I marked red, Parameter II marked blue, Parameter III marked green.

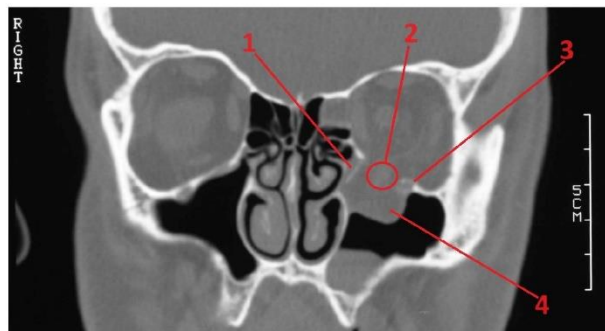


Figure 2. CT-scan. Coronal view of a fractured orbit on the left side of the patient. Following elements marked: 1—bony fragment; 2—displaced rectus inferior muscle; 3—infraorbital canal; 4—hernia in the maxillary sinus.



Figure 3. CT scan. Coronal view of a fractured orbit on the left side of the patient. Parameter VI marked red, Parameter VII marked blue.

The approximate surface of the fracture (mm^2 ; Parameter X–PX), the product of the largest length and width of the fracture divided by 2, and the distance between the end of the fracture and the end of the orbit in millimeters (Parameter XI–PXI) were calculated. The results were statistically evaluated. The significance level was set at $p < 0.05$. For details on the methodology of statistical evaluation, see Appendix B.

3. Results

A total of 8 patients included in the study were female, while 32 were male. For the patients for whom follow-up data were available, this was 6 and 24, respectively. The mean

age of the patients was 39 years (32 for females and 41 for males). The data regarding the cause of the injury can be found in Table 1.

Table 1. Cause of the injury.

Sex	Battery	Sport Injury	Traffic Accident	Fall	Other/Unknown/No Data
Male	65.6%	9.4%	0 %	15.6%	9.4%
Female	37.5%	12.5%	12.5%	25 %	12.5%
Total	60%	10 %	2.5%	17.5%	10%

At admission, 24 fractures were located on the left side, with 16 located on the right. In terms of the treatment method, 19 patients were treated conservatively, and 21 by means of surgical reconstruction of the orbital floor. In 14 cases, resorbable material had been used, with titanium being used in the remaining 7 cases. An autologous bone graft had not been used in any of the patients.

In terms of follow-up data, 17 fractures were located on the left side, and 13 on the right. A total of 12 of the patients in the follow-up had been treated conservatively, while the remaining 18 were treated surgically. In terms of the material used for the reconstruction of the orbital floor, resorbable material had been used 12 times and titanium 6 times.

A total of 26 patients reported experiencing diplopia prior to the commencement of their treatment, whereas 8 patients reported experiencing infraorbital paresis on the affected side. Additionally, among the patients, 19 individuals exhibited impaired ocular mobility, while 9 displayed asymmetric eyeball placement. It is important to note that due to various factors such as the severity of the injury or alcohol intoxication at admission, data concerning the presence of diplopia, impaired ocular mobility, and asymmetric eyeball placement prior to treatment initiation were unavailable for 2, 6, and 5 patients, respectively. Data regarding infraorbital paresis were available in all cases. For further details on this topic, see Appendix C.

Regarding follow-up data, a total of nine patients reported the persistence of diplopia after the completion of their treatment, with six cases following surgical intervention and three cases after conservative treatment. Moreover, four patients reported experiencing infraorbital paresis post-treatment, with all four cases occurring following surgical treatment. In contrast, none of the patients reported infraorbital paresis after conservative treatment. Furthermore, impaired ocular mobility persisted in two patients, and only one patient exhibited continued asymmetric eyeball placement following treatment.

Additionally, an assessment was conducted to determine whether diplopia had subsided after treatment. This evaluation was motivated by the possibility of diplopia persisting as a complication of surgical treatment, even in patients who had not reported it upon admission. It was observed that diplopia had resolved in a total of 11 patients, with 8 cases resolving after surgical treatment and 3 cases resolving after conservative treatment. On the other hand, diplopia did not subside in eight patients, with all eight cases occurring following surgical treatment and none after conservative treatment.

The results of relevant parameter measurements in relation to diplopia as well as the *p*-values of the appropriate statistical tests (see Appendix B) are presented in Table 2. The average surface of the fracture was 166 mm² for patients reporting diplopia before treatment and 205 mm² for patients who did not report diplopia before treatment, while the results were 163 mm² for patients with diplopia after treatment and 197 mm² for patients without diplopia after treatment. The mean values for patients in whom diplopia subsided after treatment and for patients without improvement in terms of diplopia after treatment were 214 mm² and 178 mm², respectively. (See Appendix D for details regarding how patients were classified regarding improvement).

Table 2. Results regarding diplopia before treatment (BT), after any kind of treatment (AT), and improvement of diplopia after treatment (IAT). The results for diplopia present are presented above the results for diplopia absent. The results for PIV and PVIII are presented as YES/NO and for PIX as A/B/C. The *p*-values for the appropriate statistical tests are presented below.

	PI	PII	PIII	PIV	PVI	PVII	PVIII	PIX	PXI
BT	21.7 mm	29.7 mm	32.8 mm	8/18	16.1 mm	9.4 mm	19/7	11/11/4	3.2 mm
	24 mm	29.9 mm	33.7 mm	6/5	16.9 mm	10.4 mm	6/5	3/6/2	3.9 mm
	0.2525	0.8444	0.4090	0.1729	0.6492	0.2529	0.2711	0.6869	0.4277
AT	19.8 mm	28.7 mm	32.2 mm	4/5	15.8 mm	10.3 mm	8/1	3/4/2	3.5 mm
	23.4 mm	29.6 mm	33.2 mm	7/13	16.1 mm	9.6 mm	12/8	9/9/2	3.6 mm
	0.0978	0.4992	0.4337	0.6277	0.8575	0.5691	0.1198	0.6451	0.9763
IAT	23.4 mm	30.5 mm	32.9 mm	3/7	17.0 mm	10.1 mm	6/4	5/4/1	2.4 mm
	22 mm	29.4 mm	32.9 mm	8/10	15.8 mm	10.0 mm	13/5	6/9/3	3.6 mm
	0.5232	0.2664	0.9736	0.4533	0.4688	0.9288	0.5070	0.6727	0.2084

The results of the measurements of the parameters (and relevant *p*-values; for details, see Appendix B) in relation to asymmetrical eyeball placement and impaired eyeball mobility and in relation to infraorbital paresis are presented in Tables 3 and 4, respectively.

Table 3. Results regarding asymmetric eyeball placement (AEP) and impaired ocular mobility (IOM) before treatment. The results for the symptom present are presented above the results for the symptom absent. The results for PIV and PVIII are presented as YES/NO and for PIX as A/B/C. The *p*-values for the appropriate statistical tests are presented below.

	PI	PII	PIII	PIV	PVI	PVII	PVIII	PIX	PX	PXI
AEP	26.2 mm	30.4 mm	35.0 mm	7/2	18.1 mm	8.3 mm	5/4	3/3/3	242 mm ²	4.6 mm
	21.3 mm	29.0 mm	32.3 mm	6/20	15.6 mm	9.9 mm	21/5	11/13/2	175 mm ²	3.3 mm
	0.0225	0.3176	0.0146	0.006	0.1670	0.1126	0.1358	0.1638	0.0439	0.2797
IOM	22.7 mm	29.9 mm	33.2 mm	7/12	15.3 mm	9.6 mm	15/4	6/10/3	181 mm ²	3.3 mm
	22.4 mm	28.6 mm	32.7 mm	6/9	17.5 mm	9.2 mm	10/5	7/6/2	203 mm ²	4.1 mm
	0.8868	0.3050	0.6266	0.8508	0.1826	0.6561	0.4203	0.6644	0.4804	0.4323

Table 4. Results regarding infraorbital paresis before treatment (BT), after any kind of treatment (AT), and improvement of infraorbital paresis after treatment (IAT). The results for the symptom present are presented above the results for the symptom absent. The results for PVIII are presented as YES/NO and for PV as A/B/C. The *p*-values for the appropriate statistical tests are presented below.

	PI	PII	PIII	PV	PVI	PVII	PVIII	PX	PXI
BT	21.9 mm	29.0 mm	32.6 mm	1/1/6	15.28 mm	9.6 mm	5/3	179 mm ²	3.6 mm
	22.4 mm	29.5 mm	33.1 mm	5/11/15	16.5 mm	9.4 mm	21/10	194 mm ²	3.6 mm
	0.8416	0.7307	0.6816	0.3711	0.5254	0.8620	0.7792	0.6602	0.9880
AT	21.4 mm	29.4 mm	33.7 mm	0/1/3	14.6 mm	10.7 mm	4/0	185 mm ²	4.3 mm
	22.7 mm	29.5 mm	32.8 mm	4/9/13	16.4 mm	9.8 mm	16/10	192 mm ²	3.3 mm
	0.6567	0.9527	0.6007	0.5718	0.4516	0.5598	0.1287	0.8825	0.5674
IAT	23.4 mm	29.8 mm	32.5 mm	1/1/1	14.9 mm	8.3 mm	2/1	183 mm ²	2.7 mm
	22.6 mm	29.5 mm	33.1 mm	3/9/14	16.5 mm	10.1 mm	17/9	195 mm ²	3.6 mm
	0.8157	0.8884	0.7500	0.5637	0.5742	0.0031	0.9647	0.9017	0.6134

The statistical evaluation proved that patients with asymmetric eyeball placement before treatment had significantly longer orbits ($p = 0.0146$), significantly longer fractures in the sagittal plane ($p = 0.0225$), and significantly larger fracture surfaces ($p = 0.0439$). Moreover, a statistically significant correlation exists between the presence of asymmetric eyeball placement before treatment and the presence of a medial wall fracture ($p = 0.00342$).

Furthermore, patients with improvement in terms of asymmetric eyeball placement ($p = 0.0037$) and in terms of infraorbital paresis ($p = 0.0031$) had significantly smaller hernias into the maxillary sinus. Additionally, there was a correlation between the presence of a medial wall fracture and improvement in terms of asymmetric eyeball placement ($p = 0.0473$).

For the other symptom/parameter combinations, no statistically significant results were found.

Further significant results have been observed in terms of the age and sex of the patients as well as the side of the fracture.

To begin with, patients with a fracture located on the left side significantly more often displayed asymmetric eyeball placement ($p = 0.0131$), while if the fracture was located on the right side, the hospitalization times had been significantly longer ($p = 0.0453$). Moreover, patients presenting diplopia before treatment ($p = 0.0334$) as well as after treatment ($p = 0.0491$) were significantly younger. Additionally, there was a correlation between female sex and the presence of infraorbital paresis after treatment ($p = 0.0181$).

A controversy was observed in terms of the results regarding the correlation between impaired ocular mobility and parameter V. The result of the Chi-squared test was significant ($p = 0.0479$), while the result of Fisher's exact test was not, although barely so ($p = 0.0534$).

4. Discussion

The findings of this study contribute to the ongoing and fierce discourse that revolves around the intricate biomechanics of orbital floor fractures. Over the years, numerous studies have probed this complex topic, especially in terms of how the fracture comes into being. Some authors opt for the "blowout" mechanism; others suggest the force transfer through the infraorbital margin [5–8]. Paradoxically, despite this substantial body of research, the pathophysiology behind the diverse spectrum of symptoms that manifest in the context of orbital fractures remains a comparatively underexplored field within the scientific landscape. This absence of comprehensive studies could be attributed to the superficially apparent origins of these symptoms, thereby leading to a preconceived notion that further investigation may be superfluous. However, the results yielded from the statistical analysis performed in this study serve to challenge certain established yet empirically unsubstantiated assumptions.

To begin with, it stands to reason that the presence of a medial wall fracture demonstrates a statistically significant correlation with the presence of asymmetrical eyeball placement. The structural disruption of the medial wall probably allows for the medial movement of the eyeball, subsequently resulting in observable ocular asymmetry. The same logic can be applied to the larger fracture surfaces and larger lengths of the fractures in patients with asymmetric eyeball placement. These connections, though seemingly straightforward, curiously do not extend to other symptoms of orbital fractures—diplopia and impaired ocular mobility—as no statistically significant correlation between the aforementioned symptoms and the presence of a medial wall fracture, the fracture surface, or length of the fracture has been found. More intricately even, no statistical correlation was observed between the presence of diplopia, impaired ocular mobility, and asymmetric eyeball placement. This in itself is at least intriguing, as common sense would suggest that diplopia is the result of the two aforementioned pathologies. Furthermore, in most facial fractures, an assumption is that larger fractures have a worse prognosis and are harder to treat [14,15]. The contrasting situation in orbital floor fractures may be explained by the difficult nature of the surgical procedure. Due to narrow access and a limited field of view, larger fractures are possibly easier to reconstruct, which would thus compensate for their more significant clinical implications. (See Figure 4) Sadly, the data gathered in this study do not allow us to further explore this topic. Yet, the results demonstrate that further research is warranted.

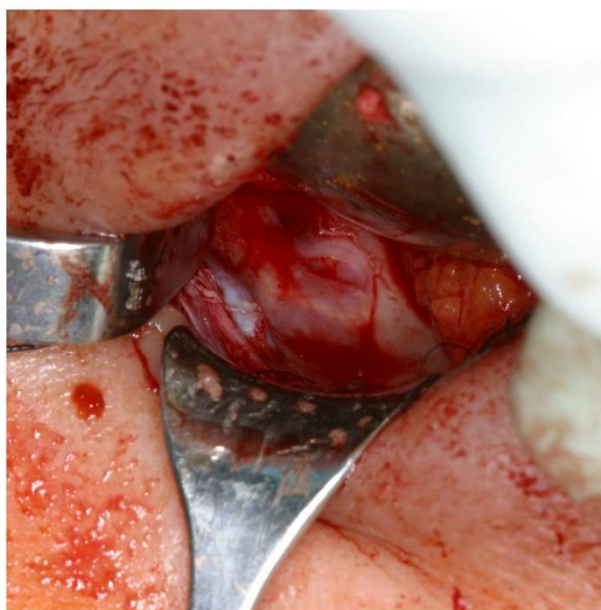


Figure 4. Transconjunctival approach to the right orbital floor. A narrow fracture line visible.

At the same time, other findings may evoke even more surprise. There were no significant results regarding the size and surface of the fracture and the presence of infraorbital paresis. Moreover, the absence of a significant correlation between the inclusion of the infraorbital canal within the fracture, as visualized through the CT scans, and the incidence of infraorbital paresis defies a simplistic explanation, rendering this an enigma. One could argue that the sample size could have been too small. At the same time, it seems more likely that the results show that the mechanism by which the infraorbital nerve is damaged due to infraorbital fractures is more complex than it might seem at first. A possible explanation, alternative to widely assumed direct damage due to a fractured infraorbital canal, would be ischemia, or possibly pressure on the nerve by damaged tissues [16]. Another possibility is subtle damage to the thin orbital floor in the region of the infraorbital canal, to a degree too minuscule to be registered by means of a standard CT scan.

Another very important point are the results regarding the size of the hernia into the maxillary sinus. The lack of significant correlations before treatment and significant results in relation to improvement after treatment suggest that a large size of the hernia could potentially be a negative prognostic factor. These findings are in a sense consistent with the current literature, as some authors have suggested the volume of the hernia as a potential indication for surgical treatment [17]. This is obviously not the same conclusion, as it is related to the choice of the treatment method and not directly to the prognosis; however, in both cases, there is a suggestion that the size of the hernia is clinically significant. (See Figure 5).

At the same time, it is important to note that no significant correlation has been observed between the distance to the end of the orbit and the symptoms. This would suggest that the proximity of the fracture to the common tendinous ring, which is the origin of the four recti muscles [18], does not increase the risk of damage to those structures.

As mentioned in the section "Results", the two statistical tests were not unanimous in terms of the correlation between the involvement of the infraorbital canal in the fracture and impaired ocular mobility, with the Chi-squared test suggesting significance and Fisher's test giving results slightly above the significance level. This could easily be dismissed as

coincidental, resulting from too small a sample. Together with the significantly larger length of the orbit in patients with asymmetric eyeball placement, this could, however, lead to the conclusion that the biomechanical attributes of the orbit, as well as the pathophysiology of symptoms manifested in the context of orbital floor fractures, are considerably more nuanced and complex than heretofore posited.

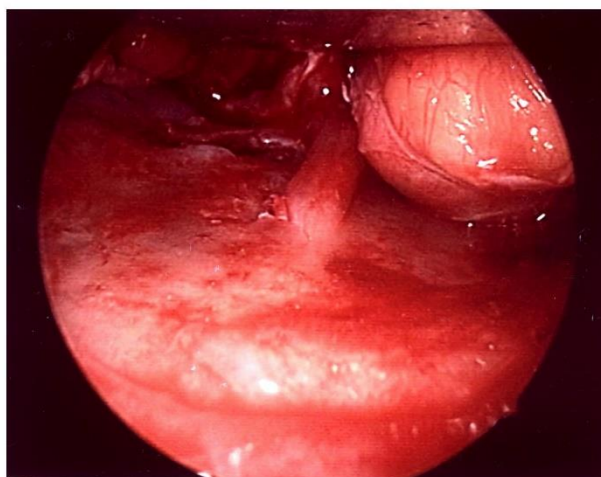


Figure 5. Endoscopic view of the left orbital floor reached by the transconjunctival approach. A wide fracture visible.

In terms of other significant results (e.g., the correlations between female sex and infraorbital paresis as well as between younger age and diplopia), it is, in most cases, hard to present logical, coherent, and evidence-based explanations. Our study does not include data needed to further dwell into those topics. The potential hypotheses would be thus based on personal bias rather than merit.

However, the highlight of this study is the complete absence of any significant results regarding the displacement of the rectus inferior muscle or the formation of a “trap door” by broken bony fragments. This finding is in stark contrast to the popular belief, widely assumed, that ocular mobility in patients with orbital fractures becomes impaired because of the displacement and entrapment of the rectus inferior muscle [3,19,20]. Notably, however, these beliefs, though widely held, are grounded more in common sense and anecdotal observation than on a foundation of empirical evidence derived from substantial research, as we have not found any comprehensive research paper that could prove them. In this context, the results of this study demonstrate that the mechanism of impaired ocular mobility in orbital floor fractures is different to what is widely claimed. Moreover, increased thickness of the rectus inferior muscle has been observed on the affected side in patients with orbital floor fractures [21]. When viewed in conjunction with our findings, this particular observation hints that the impaired ocular mobility in patients suffering from orbital floor fracture could potentially be a consequence of direct injury to the rectus inferior muscle or ischemia triggered by the swelling of surrounding tissues, rather than physical entrapment of the muscle itself.

5. Conclusions

The biomechanisms commonly assumed to cause orbital floor fracture symptoms are disproved by CT-based data. A significant correlation existed among CT-based findings, symptoms, and treatment results in patients with orbital floor fractures. A small fracture surface area may be a negative prognostic factor.

Author Contributions: Conceptualization, L.S., W.S. and Z.S.; methodology, L.S., W.S. and Z.S.; software, L.S.; validation, L.S., W.S. and Z.S.; formal analysis, L.S., W.S. and Z.S.; investigation, L.S. and W.S.; resources, Z.S.; data curation, L.S., W.S. and Z.S.; writing—original draft preparation, L.S., W.S. and Z.S.; writing—review and editing, L.S., W.S. and Z.S.; visualization, L.S., W.S. and Z.S.; supervision, L.S., W.S. and Z.S.; project administration, L.S.; funding acquisition, L.S., W.S. and Z.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki. Ethical review and approval were waived for this study due to the fact that retrospective, non-intervention studies do not require them as per the law of Poland.

Informed Consent Statement: Patient consent was waived due to the fact that patient consent is not required in retrospective, non-intervention studies, where patient data allowing for identification are not revealed as per the law of Poland.

Data Availability Statement: The detailed, anonymous data used in this study can be obtained from the first author upon reasonable request.

Acknowledgments: Special thanks to Zbysław Chraślowski.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

Abbreviations

The following abbreviations are used in this manuscript:

AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
CT	Computed tomography
BT	Before treatment
AT	After treatment
IAT	Improvement after treatment
AEP	Asymmetric eyeball placement
IOM	Impaired ocular mobility
PI	Parameter I
PII	Parameter II
PIII	Parameter III
PIV	Parameter IV
PV	Parameter V
PVI	Parameter VI
PVII	Parameter VII
PVIII	Parameter VIII
PIX	Parameter IX
PX	Parameter X
PXI	Parameter XI

Appendix A

The follow-up periods were of different lengths, depending mostly on the treatment results, as patients not reporting symptoms after treatment often had a shorter follow-up period. In contrast, patients reporting symptoms after treatment often had a longer follow-up, sometimes ending with a second operation. In case multiple follow-up examinations were available in the documentation, a symptom was regarded as present after treatment for the purpose of this study if it was reported in the last follow-up examination for which data were available, or the last follow-up examination prior to a second surgery. The average follow-up time was 43 days, with a median of 15 days.

Appendix B

The Statistica computer program was used to perform the statistical evaluation (v8.0, TIBCO Software, Palo Alto, CA, USA). The first stage of the evaluation was performed

by means of descriptive statistics. For continuous variables, the distribution was tested by means of the Shapiro–Wilk test (as the sample sizes were below 50). Besides the age of the patients, all other variables were found to follow normal distribution. Since the study was performed in the hope of finding potential prognostic factors, all the parameters, I–XI, were tested for correlation with the symptoms. Moreover, tests regarding the patients' sex, age, hospitalization time, time to last control, and side of the fractures, all tested against both the parameters and the symptoms, were performed. For combinations of discrete and continuous variables, a parametric test was performed (the only exception being combinations involving the age). The ratio of variances was tested by means of the F-test. If the hypothesis was not found to be true, the Cochran–Cox test was employed; otherwise, Student's *t*-test was used. For the calculations regarding age, the nonparametric Mann–Whitney U test was selected, being the best nonparametric alternative to Student's *t*-test (with the exception of combinations with parameters V and IX, which had more than two possible results, and therefore were tested with the Kruskal–Wallis test. All combinations of two discrete variables were tested by means of the Chi-squared test, and if the result was found to be significant, additionally by means of Fisher's exact test for comparison. If not stated otherwise, the significant results presented in the article are the *p*-values from Fisher's exact test. In cases of two continuous variables, the Pearson correlation efficient and Spearman's rank correlation coefficient were performed. The significance was tested by means of Student's *t*-test.

Appendix C

As stated in the section "Results", data regarding some of the symptoms at admission could sometimes not be gathered. Possible reasons included massive swelling of the injured tissue combined with a periorbital hematoma, making a proper examination in terms of diplopia, ocular mobility, and asymmetric eyeball placement difficult, as well as alcoholic intoxication at admission, which rendered the patients' complaints of diplopia doubtful. In some of those cases, no reliable pretreatment data from a secondary examination after admission were available, e.g., when surgical treatment was performed quickly. In these situations, the symptom was regarded as neither present nor absent before treatment, and CT-based data regarding the fracture were not used in the statistical evaluation regarding this specific symptom. Please note that the same CT-based data were still used in statistical tests regarding other symptoms for which data were available.

Appendix D

For the purpose of this study, patients with a symptom before treatment but without it at last control were regarded as patients with improvement. On the other hand, patients with a symptom before and after treatment, as well as patients without the symptom before and after treatment and patients without the symptom before but with the symptom after treatment, were regarded as patients without improvement.

References

1. Kryst, L. *Chirurgia Szczękowo-Twarzowa. Podręcznik dla Studentów*, 2nd ed.; Wydawnictwo Lekarskie PZWL: Warsaw, Poland, 1993; pp. 267–274.
2. Mittermiller, P.A.; Bidwell, S.S.; Thieringer, F.M.; Cornelius, C.P.; Trickey, A.W.; Kontio, R.; Girod, S.; AO Trauma Classification Study Group. The Comprehensive AO CMF Classification System for Mandibular Fractures: A Multicenter Validation Study. *Craniofac. Trauma Reconstr.* **2019**, *12*, 254–265 [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Gómez Roselló, E.; Quiles Granada, A.M.; Artajona García, M.; Juanpere Martí, S.; Laguillo Sala, G.; Beltrán Mármol, B.; Pedraza Gutiérrez, S. Facial fractures: Classification and highlights for a useful report. *Insights Imaging* **2020**, *11*, 49. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Ahmad, F.; Kirkpatrick, N.A.; Lyne, J.; Urdang, M.; Waterhouse, N. Buckling and hydraulic mechanisms in orbital blowout fractures: Fact or fiction? *J. Craniofac. Surg.* **2006**, *17*, 438–441. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Birkenfeld, F.; Steiner, M.; Becker, M.E.; Kern, M.; Wiltfang, J.; Lucius, R.; Becker, S.T. Forces changing the orbital floor after orbital trauma. *J. Craniofac. Surg.* **2012**, *23*, 953–956. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. Patel, S.; Andrecovich, C.; Silverman, M.; Zhang, L.; Shkoukani, M. Biomechanical Factors Associated with Orbital Floor Fractures. *JAMA Facial. Plast. Surg.* **2017**, *19*, 298–302. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

7. Moura, L.B.; Jürgens, P.C.; Gabrielli, M.A.C.; Pereira Filho, V.A. Dynamic three-dimensional finite element analysis of orbital trauma. *Br. J. Oral. Maxillofac. Surg.* **2021**, *59*, 905–911. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
8. Darwich, A.; Attieh, A.; Khalil, A.; Szávai, S.; Nazha, H. Biomechanical assessment of orbital fractures using patient-specific models and clinical matching. *Stomatol. Oral. Maxillofac. Surg.* **2021**, *122*, e51–e57. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
9. Wanyura, H.; Kowalczyk, P.; Samolczyk-Wanyura, D.; Stopa, Z.; Bossak, M. Finite element analysis of external loads resulting in isolated orbital floor fractures. *Czasopismo Stomatologiczne* **2011**, *64*, 476–489.
10. Patel, S.; Shokri, T.; Ziai, K.; Lighthall, J.G. Controversies and contemporary management of orbital floor fractures. *Craniofacial Trauma Reconstr.* **2022**, *15*, 237–245. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
11. Seen, S.; Young, S.M.; Teo, S.J.; Lang, S.S.; Amrith, S.; Lim, T.C.; Sundar, G. Permanent versus bioresorbable implants in orbital floor blowout fractures. *Ophthalmic. Plast. Reconstr. Surg.* **2018**, *34*, 536–543. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
12. Ramesh, S.; Goldberg, R. Re: Permanent versus bioresorbable implants in orbital floor blowout fractures. *Ophthalmic. Plast. Reconstr. Surg.* **2019**, *35*, 202. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
13. Young, S.M.; Sundar, G. Reply Re: Permanent versus bioresorbable implants in orbital floor blowout fractures. *Ophthalmic. Plast. Reconstr. Surg.* **2019**, *35*, 202–203. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Bocchialini, G.; Castellani, A. Facial trauma: A retrospective study of 1262 patients. *Ann. Maxillofac. Surg.* **2019**, *9*, 135–139. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Lin, C.; Wu, J.; Yang, C.; Zhang, C.; Xu, B.; Zhang, Y.; Zhang, S. Classifying and standardizing panfacial trauma according to anatomic categories and Facial Injury Severity Scale: A 10-year retrospective study. *BMC Oral. Health* **2021**, *21*, 557. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
16. Seddon, H. Three types of nerve injury. *Brain* **1943**, *66*, 237–288. [[CrossRef](#)]
17. Kovar, D.; Voldrich, Z.; Voska, P.; Lestak, J.; Astl, J. Indications for repositioning of blow-out fractures of the orbital floor based on new objective criteria-tissue protrusion volumetry. *Biomed. Pap.* **2017**, *161*, 403–406. [[CrossRef](#)]
18. Zinn, J. *Descriptio Anatomica Oculi Humani Iconibus Illustrata*, Latin ed.; Goettingae: Apud viduam B. Abrahami Vandenhoeck: Electorate of Brunswick-Lüneburg, 1755.
19. Koenen, L.; Waseem, M. *Orbital Floor Fracture*; StatPearls Publishing: Tampa, FL, USA, 2022.
20. Gugliotta, Y.; Roccia, F.; Demo, P.G.; Rossi, M.B. Characteristics and surgical management of pure trapdoor fracture of the orbital floor in adults: A 15-year review. *Oral. Maxillofac. Surg.* **2022**, *16*, 1–6. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
21. Morotomi, T.; Iuchi, T.; Hashimoto, T.; Sueyoshi, Y.; Nagasao, T.; Isogai, N. Image analysis of the inferior rectus muscle in orbital floor fracture using cine mode magnetic resonance imaging. *J. Craniomaxillofac. Surg.* **2015**, *43*, 2066–2070. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.



Leczenie chirurgiczne izolowanych złamań dna oczodołu z wykorzystaniem materiałów resorbowalnych lub nieresorbowalnych – doświadczenie ośrodka

Angelina Papezczyk, Łukasz Stopa, Wojciech Stopa, Zygmunt Stopa

Surgical treatment of orbital floor fractures using resorbable and nonresorbable implants – experience of our center

Praca recenzowana

Streszczenie

Złamania izolowane dna oczodołu (ZIDO) są konsekwencją urazów twarzy i manifestują się podwójnym widzeniem, enoftalmią i zaburzeniem czucia w zakresie unerwienia przez nerw podoczodołowy. Leczenie chirurgiczne polega na uwolnieniu tkanek miękkich uwiecznionych w szczelinie złamania, odprowadzeniu przepukliny ze światła zatoki szczękowej oraz rekonstrukcji dna oczodołu z użyciem odpowiednio dobranego materiału. Istnieje przekonanie, że przy rozleglejszych zaś – materiały nieresorbowalne lub przeszczep kości. Celem niniejszego badania było porównanie wyników chirurgicznego leczenia pacjentów z ZIDO, u których do rekonstrukcji dna oczodołu zastosowano materiał resorbowalny lub nieresorbowalny. Badanie miało charakter retrospektywny. Zakwalifikowano do niego 53 pacjentów. Ocenić poddano obecność podstawowych objawów ZIDO, tj.: podwójnego widzenia, ograniczenia ruchomości gałki ocznej, asymetrycznego ustawienia gałek ocznych oraz niedoczulicy w zakresie unerwienia nerwu podoczodołowego przed leczeniem operacyjnym i podczas ostatniej kontroli pooperacyjnej. U 39 pacjentów z dostępną archiwalną tomografią komputerową (TK), oceniono dodatkowo maksymalną szerokość złamania w płaszczyźnie czołowej i maksymalną długość złamania w płaszczyźnie strzałkowej, a następnie na ich podstawie wyliczono przybliżoną powierzchnię złamania. Wyniki poddano analizie statystycznej. Spośród włączonych do badania pacjentów u 34 zastosowano materiał resorbowalny, u 17 zaś siatkę tytanową. Do rekonstrukcji oczodołów u 2 chorych zastosowano kość autogenną. Spośród pacjentów operowanych z zastosowaniem materiału resorbowalnego u 27 występowało widzenie podwójne przed leczeniem operacyjnym, u 12 zaś po leczeniu operacyjnym; z kolei asymetryczne ustawienie gałek ocznych występowało u 4 pacjentów przed leczeniem, a u 2 po leczeniu; zaburzona ruchomość gałek ocznych – u 16 przed i u 2 po, natomiast niedoczulica w zakresie unerwienia nerwu podoczodołowego – u 5 przed i u 8 po. Tymczasem dla pacjentów leczonych z użyciem siatki tytanowej było to odpowiednio: u 10 przed leczeniem operacyjnym dla dwojenia i u 2 po leczeniu, u 1 przed i 2 po dla asymetrycznego ustawienia gałek ocznych, 7 przed i 1 po dla zaburzonej ruchomości gałek ocznych oraz 5 przed i 1 po leczeniu dla niedoczulicy. Opracowanie statystyczne nie wykazało istotnych statystycznie różnic po-

między wynikami leczenia z zastosowaniem porównywanych materiałów. Pozostaje to w zgodności z danymi dostępnymi w piśmiennictwie. Wobec tego wybór materiału powinien opierać się na indywidualnej ocenie klinicznej pacjenta i doświadczeniu operatora.

Abstract

Orbital floor fractures result from facial trauma. Their symptoms include diplopia, enophthalmia and infraorbital nerve paresis. Surgical treatment involves the reconstruction of the floor of the orbit with an appropriate material. It is widely believed that in smaller fractures resorbable materials should be used, while larger ones would require non resorbable materials or bone transplants. The study was conducted retrospectively. It included 53 patients. The presence of typical orbital floor fracture symptoms, that is diplopia, impaired eyeball mobility, asymmetric eyeball placement and infraorbital paresis, has been assessed before and after surgical treatment. In 39 patients for whom a CT scan was available, additionally the largest diameters of the fracture in the sagittal and coronal planes have been measured and the approximate surface of the fracture calculated. The results have been statistically evaluated. In 34 of the patients included in the study a resorbable material had been used for the orbital floor reconstruction and in 17 a titanium mesh. In 2 patients the surgeons had used an autogenous bone. In 27 of the patients treated using resorbable materials diplopia was present before surgery and in 12 of them afterwards. Asymmetric eyeball placement was present in 4 before and 2 after treatment, impaired eyeball movement in 16 before and 2 afterwards and infraorbital paresis in 5 patients before surgery and in 8 after. On the other hand, in 10 of the patients treated using a titanium mesh diplopia was present before surgery and in 2 of them afterwards. Moreover, asymmetric eyeball placement was present in 1 patient before and none after treatment, impaired eyeball movement in 7 before and 1 afterwards and infraorbital paresis in 5 patients before surgery and in 1 after. The statistical evaluation has failed to prove any significant differences in the outcome of treatment in patients treated using resorbable materials and those treated using a titanium mesh. This result stays in line with available literature. In the light of that, the material used for reconstruction in orbital floor fractures should be based on individual assessment of the patient and the experience of the surgeon.

Hasła indeksowe: złamanie oczodołu, leczenie, leczenie operacyjne, materiały

Key words: orbital fractures, treatment, surgical treatment, implants

Wstęp

Złamania izolowane dna oczodołu (ZIDO) są konsekwencją urazów twarzy i manifestują się podwójnym widzeniem, enoftalmią i zaburzeniem czucia w zakresie unerwienia przez nerw podoczodołowy. Dochodzi w nich do wyłamania dolnej ściany oczodołu bez uszkodzenia brzegu podoczodołowego (1). Istnieją dwie teorie próbujące wyjaśnić patomechanizm tak nieintuicyjnego złamania, obejmującego jedynie strukturę położoną w głębi oczodołu. Zgodnie z pierwszą z nich uraz padający na gałkę oczną powoduje wzrost ciśnienia w oczodole, co skutkuje wyłamaniem jego dna. Druga teoria zakłada uraz padający na brzeg podoczodołowy i poprzez przeniesienie naprężeń wyłamania dna oczodołu (1, 2). Najczęstszą przyczyną ZIDO są pobięcia i wypadki komunikacyjne (3, 4), a w dalszej kolejności wypadki sportowe (ryc. 1).

Wskazania do leczenia chirurgicznego mimo licznych publikacji na ten temat nadal nie są bezspornie zdefiniowane (5). W praktyce często decyzja o rewizji dna oczodołu oparta jest na indywidualnej ocenie klinicznej oraz doświadczeniu operatora. Zabieg polega na uwolnieniu tkanek miękkich uwięzionych w szczelinie złamania, odprowadzeniu przepukliny ze światła zatoki szczękowej oraz rekonstrukcji dna oczodołu odpowiednio dobranym materiałem (6, 7). Istnieje przekonanie, że przy mniej rozległych złamaniach winno się stosować materiały resorbowalne, przy rozleglejszych zaś – materiały nieresorbowalne lub przeszczep kości.

Cel pracy

Celem badania było porównanie wyników chirurgicznego leczenia pacjentów z ZIDO, u których do rekonstrukcji dna oczodołu zasto-

sowano materiał resorbowalny lub nieresorbowalny.

Materiały i metody

Badanie miało charakter retrospektywny. Zakwalifikowano do niego 53 pacjentów leczonych chirurgicznie z powodu ZIDO w Klinice Chirurgii Czaszkowo-Szczękowej, Chirurgii Jamy Usznej i Implantologii Uniwersyteckiego Centrum Klinicznego Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego w latach 2017-2021. Kryteriami wyłączenia z badania były: niepełna dokumentacja medyczna, niemożliwość pozyskania wymaganych danych, stan po operacji z powodu ZIDO oraz obecność dodatkowych, innych niż ZIDO, złamań górnego masywu twarzy.

Ocenie poddano obecność podstawowych objawów ZIDO, tj.:

- podwójnego widzenia,
- ograniczenia ruchomości gałki ocznej,

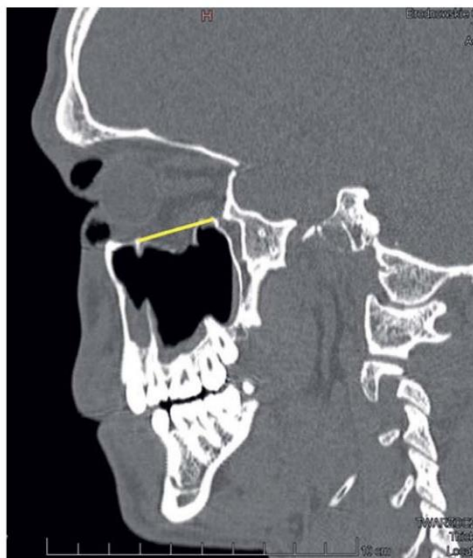
Zabieg polega na uwolnieniu tkanek miękkich uwięzionych w szczelinie złamania, odprowadzeniu przepukliny ze światła zatoki szczękowej oraz rekonstrukcji dna oczodołu odpowiednio dobranym materiałem (6, 7). Istnieje przekonanie, że przy mniej rozległych złamaniach winno się stosować materiały resorbowalne, przy rozleglejszych zaś – materiały nieresorbowalne lub przeszczep kości.



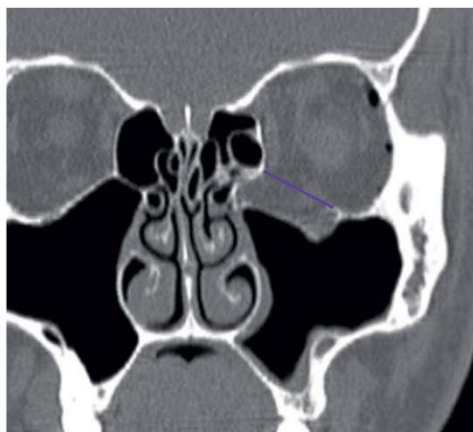
Ryc. 1. Typowa prezentacja kliniczna ZIDO.

- asymetrycznego ustawienia gałek ocznych,
- niedoczulicy w zakresie unerwienia nerwu podoczodołowego przed leczeniem operacyjnym.

Dany objaw przyjmowano za obecny, jeżeli został stwierdzony w którymkolwiek momencie od zakwalifikowania pacjenta do operacji do ostatniej kontroli pooperacyjnej – najwcześniejsze miały miejsce po 1 tygodniu, a najpóźniejsze po 6 miesiącach od operacji. Pozyskano również informacje na temat materiału zastosowanego do rekonstrukcji dna oczodołu. U 39 pacjentów, z dostępną archiwalną tomografią komputerową (TK) dodatkowo oceniono maksymalną szerokość złamania w płaszczyźnie czołowej i maksymalną długość złamania w płaszczyźnie strzałkowej, a następnie na ich podstawie wyliczono przybliżoną powierzchnię złamania. Przyjęto, że złamanie można potraktować jako figurę przypominającą kształtem deltoid, gdzie szerokość i długość to jego przekątne, i w konsekwencji użyto wzoru w postaci: szerokość pomnożona przez długość, podzielone przez 2. Wyniki poddano analizie statystycznej, wykorzystując metody statystyki opisowej, testy Manna-Whitneya oraz testy Fishera. Za poziom istotności statystycznej przyjęto $p < 0,05$ (ryc. 2, 3).



Ryc. 2. Największa długość złamania mierzona w płaszczyźnie strzałkowej.



Ryc. 3. Największa szerokość złamania mierzona w płaszczyźnie czołowej.

Wyniki

Spośród włączonych do badania pacjentów u 34 zastosowano materiał resorbowalny, u 17 zaś siatkę tytanową. Do rekonstrukcji oczodołów u 2 chorych zastosowano kość autogenną. Ze względu na marginalną liczebność tej grupy, uniemożliwiająca wiarygodną ocenę statystyczną, ich danych nie poddawano dalszej analizie.

Spośród pacjentów operowanych z zastosowaniem materiału resorbowalnego u 27 występowało widzenie podwójne przed leczeniem chirurgicznym, u 12 zaś po leczeniu chirurgicznym. Tymczasem u pacjentów leczonych z użyciem siatki tytanowej występowało ono odpowiednio: u 10 przed leczeniem chirurgicznym i u 2 po leczeniu. Dane dotyczące występowania pozostałych ocenianych objawów przedstawiono zbiorczo w tabeli I.

Analiza nie wykazała istotnych statystycznie różnic w częstości występowania poszczególnych objawów pomiędzy grupą pacjentów leczonych z użyciem materiału resorbowalnego oraz pacjentów leczonych z użyciem siatki tytanowej. Dokładne wyniki testów sta-

Do dziś nie istnieją jasne, jednoznaczne kryteria pozwalające na kwalifikację chorych do leczenia zabiegowego bądź zachowawczego ani bezsprzeczne wytyczne w kwestii wyboru materiału do rekonstrukcji. Przyjmuje się powszechnie, że materiały resorbowalne powinny być raczej stosowane przy złamaniach mniejszych, siatki tytanowe zaś – przy złamaniach bardziej rozległych.

tystycznych przedstawiono w tabeli II.

Średnia powierzchnia złamania chorych leczonych z użyciem materiału resorbowalnego wyniosła 188 mm², u chorych zaś leczonych z użyciem siatki tytanowej – 214 mm². Test Manna-Whitneya nie wykazał istotnej statystycznie różnicy w powierzchni złamań pomiędzy obiema grupami pacjentów ($p = 16354$)

Dyskusja

Niniejszy artykuł wpisuje się w szerszą debatę dotyczącą metod leczenia ZIDO. Mimo licznych publikacji pozostaje to temat kontrowersyjny (5, 8, 9, 10). Do dziś nie istnieją jasne, jednoznaczne kryteria pozwalające na kwalifikację chorych do leczenia zabiegowego bądź zachowawczego ani bezsprzeczne wytyczne w kwestii wyboru materiału do rekonstrukcji.

TABELA I. Występowanie poszczególnych objawów przed i po leczeniu

	ASYMETRIA PRZED LECZENIEM		ASYMETRIA PO LECZENIU	
	TAK	NIE	TAK	NIE
MATERIAŁ RESORBOWALNY	4	29	2	24
MATERIAŁ NIERESORBOWALNY	1	15	0	11
	ZABURZONA RUCHOMOŚĆ PRZED LECZENIEM		ZABURZONA RUCHOMOŚĆ PO LECZENIU	
	TAK	NIE	TAK	NIE
MATERIAŁ RESORBOWALNY	16	18	3	23
MATERIAŁ NIERESORBOWALNY	7	9	1	10
	NIEDOCZULICA PRZED LECZENIEM		NIEDOCZULICA PO LECZENIU	
	TAK	NIE	TAK	NIE
MATERIAŁ RESORBOWALNY	5	29	8	18
MATERIAŁ NIERESORBOWALNY	5	12	1	10

TABELA II. Wyniki testu Fishera dla poszczególnych objawów w zależności od zastosowanego materiału

	DWOJENIE		ASYMETRIA	
	PRZED	PO	PRZED	PO
p	0.3006	0.2545	0.6567	1
	ZABURZONA RUCHOMOŚĆ		NIEDOCZULICA	
	PRZED	PO	PRZED	PO
p	1	1	0.27	0.2293

Przyjmuje się powszechnie, że materiały resorbowalne powinny być raczej stosowane przy złamaniach mniejszych, siatki tytanowe zaś – przy złamaniach bardziej rozległych. Ostatecznie jednak decydującą rolę odgrywają indywidualna ocena kliniczna danego pacjenta oraz doświadczenie chirurga i ośrodka. Interesujący w tym kontekście wydaje się fakt, że w niniejszym badaniu nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic ani w powierzchniach złamań, ani wyjściowych objawach klinicznych pacjentów leczonych z użyciem materiału resorbowalnego oraz tych, u których zastosowano siatkę tytanową. Nie tylko potwierdza to fakt, że wybór metody leczenia jest w dużej mierze kwestią subiektywnej oceny, ale również pozwala porównać obydwa materiały, jako że wyjściowe grupy chorych nie różnią się od siebie w sposób statystycznie istotny w zakresie ocenianych w badaniu parametrów.

W odniesieniu do zaprezentowanych wyżej wyników porówna-

nie to należy sprowadzić do zasadniczego stwierdzenia, że nie ma pomiędzy nimi istotnych różnic w kwestii klinicznych efektów leczenia, a materiały resorbowalne mogą być z dobrymi wynikami stosowane w ZIDO. Stwierdzenie to pozostaje w zgodzie z danymi dostępnymi w piśmiennictwie (7, 8). Bardzo zbliżone wyniki przedstawiono szczególnie w opracowaniu autorstwa Seen i wsp. (8). Uzyskano w nim z pozoru wyraźnie lepsze rezultaty leczenia zarówno przy zastosowaniu materiałów resorbowalnych, jak i nieresorbowalnych. Należy jednak zaznaczyć, że kontrolnych ocen w badaniu autorstwa Seen i wsp. dokonywano po 1,5 roku, w niniejszej pracy zaś – jak opisano w sekcji *Materiały i metody* – po okresie dużo wcześniejszym. Jak powszechnie wiadomo, objawy typowe dla ZIDO często ulegają samoczynnej poprawie wraz z upływem czasu. Różnica czasu obserwacji wynika w dużej mierze ze specyfiki grupy pacjentów objętych badaniem. W Polsce ty-

Nie ma istotnych różnic w wynikach leczenia chirurgicznego ZIDO przy zastosowaniu materiałów resorbowalnych i nieresorbowalnych. Wybór materiału powinien opierać się na indywidualnej ocenie klinicznej pacjenta i doświadczeniu operatora.

pową przyczyną ZIDO są pobicia, często pod wpływem alkoholu. Pacjenci bywają niechętnie nastawieni do powtarzanych wizyt kontrolnych i w konsekwencji szybko wypadają z obserwacji.

Wnioski

Nie ma istotnych różnic w wynikach leczenia chirurgicznego ZIDO przy zastosowaniu materiałów resorbowalnych i nieresorbowalnych. Wybór materiału powinien opierać się na indywidualnej ocenie klinicznej pacjenta i doświadczeniu operatora.

Angelina Papeczyc

Lek., Oddział Okulistyki, Centralny Szpital Kliniczny MSWiA

Łukasz Stopa

Lek., Zakład Anatomii Prawidłowej i Klinicznej Centrum Biostruktury Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

Wojciech Stopa

Student, SKN Le Fort przy Klinice Chirurgii Czaszkowo-Szczękowo-Twarzowej, Warszawski Uniwersytet Medyczny

Zygmunt Stopa

Dr n. med., Klinika Chirurgii Czaszkowo-Szczękowo-Twarzowej, Chirurgii Jamy Ustnej i Implantologii Uniwersyteckiego Centrum Klinicznego Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

■ Kierownik Kliniki: dr hab. n. med. Paweł Zawadzki

Piśmiennictwo

1. Złamanie oczodołu. W: Kryst L (red. nauk.). Chirurgia szczękowo-twarzowa. Podręcznik dla studentów. Wyd. 2 unowocześnione. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL; 1993: 267-274.
2. Ahmad F, Kirkpatrick NA, Lyne J i wsp. Buckling and hydraulic mechanisms in orbital blowout fractures: fact or fiction? *J Craniofac Surg.* 2006; 17(3): 438-441.
3. Manolidis S, Weeks BH, Kirby M i wsp. Classification and surgical management of orbital fractures. Experience with 111 orbital reconstructions. *J Craniofac Surg.* 2002; 13(6): 726-737.
4. Miller AF, Elman DM, Aronson PL i wsp. Epidemiology and predictors of orbital fractures in children. *Pediatr Emerg Care.* 2018; 34(1): 21-24.
5. Patel S, Shokri T, Ziai K i wsp. Controversies and contemporary management of orbital floor fractures. *Craniofac Trauma Reconstr.* 2022; 15(3): 237-245.
6. Harris GJ. Orbital blow-out fractures. Surgical timing and technique. *Eye (Lond).* 2006; 20(10): 1207-1212.
7. Young SM, Sundar G, Lim TC i wsp. Use of bioresorbable implants for orbital fracture reconstruction. *Br J Ophthalmol.* 2017; 101(8): 1080-1085.
8. Seen S, Young SM, Teo SJ i wsp. Permanent versus bioresorbable implants in orbital floor blowout fractures. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg.* 2018; 34(6): 536-543.
9. Ramesh S, Goldberg R. Re: "Permanent versus bioresorbable implants in orbital floor blowout fractures". *Ophthalmic Plast Reconstr Surg.* 2019; 35(2): 202.
10. Young SM, Sundar G. Reply re: "Permanent versus bioresorbable implants in orbital floor blowout fractures". *Ophthalmic Plast Reconstr Surg.* 2019; 35(2): 202-203.

Use of 3D-printed model to plan the surgical management of a patient with isolated orbital floor fracture: a case report

Lukasz Stopa¹^, Angelina Papezczyk², Zygmunt Stopa³, Kamil Abed³

¹Department of Descriptive and Clinical Anatomy, Medical University of Warsaw, Warsaw, Poland; ²Department of Ophthalmology, Central Clinical Hospital of the Ministry of Interior and Administration in Warsaw, Warsaw, Poland; ³Department of Cranio-Maxillofacial Surgery, Oral Surgery and Implantology, Medical University of Warsaw, Warsaw, Poland

Contributions: (I) Conception and design: All authors; (II) Administrative support: All authors; (III) Provision of study materials or patients: Z Stopa, K Abed; (IV) Collection and assembly of data: Z Stopa, K Abed; (V) Data analysis and interpretation: All authors; (VI) Manuscript writing: All authors; (VII) Final approval of manuscript: All authors.

Correspondence to: Lukasz Stopa, MD. Department of Descriptive and Clinical Anatomy, Medical University of Warsaw, Chahubińskiego 5, 02-004 Warsaw, Poland. Email: med.olsto@gmail.com.

Background: Orbital floor fractures typically manifest as eyeball mobility disorders with double vision (diplopia), enophthalmia, and infraorbital paresis. Surgical treatment of these fractures involves orbital floor reconstruction. The procedure involves freeing the trapped tissues from the lumen of the maxillary sinus and rebuilding the orbital floor. Technological progress in the field of three-dimensional (3D) printing allows physical prototyping of the implants to be used during the procedure.

Case Description: A 43-year-old female patient presented to the hospital with diplopia, which first occurred after a fall from own height. Examinations, including a computed tomography (CT) confirmed the diagnosis of an orbital floor fracture. 3D printing was used to plan the surgical treatment of the patient. Based on preoperative CT, a 1:1 scale model was prepared by means of 3D printing to demonstrate the fractured orbital area. It was later used to pre-cut a Codubix prosthesis, which was subsequently used to reconstruct the fractured bone. The patient's postoperative course was uneventful. Instant improvement in diplopia was noted. A CT scan was performed on the 3rd day after surgery. No herniation into the maxillary sinus was observed.

Conclusions: 3D printing seems to be a useful method that allows more thorough preparation for the surgery and also could potentially shorten its duration.

Keywords: Orbital fracture; treatment; three-dimensional printing (3D printing); case report

Received: 06 April 2024; Accepted: 26 July 2024.

doi: 10.21037/acr-24-73

View this article at: <https://dx.doi.org/10.21037/acr-24-73>

Introduction

Physical assault and traffic accidents has been reported to be the most common cause of orbital fractures (1,2). Two theories have been put forward to explain the pathomechanism of orbital floor fractures. The first theory postulates that blunt trauma to the soft tissues of the orbit

results in increased orbital pressure and causes fracture of the floor. According to the second theory, the walls of the orbit bend and then break in response to the posterior movement of the infraorbital rim (3,4).

An orbital floor fracture is typically manifested as eyeball mobility disorders with double vision (diplopia), enophthalmia, and hypoesthesia in the area innervated by

^ ORCID: 0009-0007-8497-6973.

the infraorbital nerve (3).

The indications for surgical treatment of orbital floor fractures remain controversial (5,6). Traditionally, these include persistent diplopia and severe enophthalmia. The procedure involves freeing the trapped tissues from the lumen of the maxillary sinus and rebuilding the orbital floor (7,8). It is assumed that non-resorbable materials or autogenous bone should be used in extensive fractures, while resorbable materials would find usage in smaller fractures. The choice of material however remains a topic of ongoing debate (9).

Technological progress in three-dimensional (3D) printing allows physical prototyping of implants. Creating a model that faithfully reproduces a given patient's anatomical conditions facilitates accurate planning of the surgical procedure (10). The requisite for obtaining faithful 3D models is high-quality image acquisition. We present this case in accordance with the CARE reporting checklist (available at <https://acr.amegroups.com/article/view/10.21037/acr-24-73/rc>).

Case presentation

A 43-year-old female patient presented to the hospital with diplopia, which first occurred immediately after she fell from her own height. Her medical history included arterial hypertension, without any additional accompanying disease. Physical examination revealed edema of the left infraorbital

region, left-sided infraorbital paresis, and diplopia while looking up or down. The pupils were wide, symmetrical, and reacted correctly to light.

Computed tomography (CT) revealed a fracture of the floor of the left orbit. The bone was fragmented, and the bony fragments were displaced into the maxillary sinus. The fracture involved the infraorbital canal. Displacement of the inferior rectus and intraorbital fat tissue into the maxillary sinus was observed. Air bubbles were visible in the soft tissues surrounding the orbit (*Figure 1*).

The patient qualified for surgical treatment. Due to the size and type of tissue damage, a stereolithographic anatomical model was prepared using 3D printing. The patient underwent a CT scan of the orbits with layers 0.75 mm in size using a standard soft tissue filter (512x512 pixels matrix). The data were saved in a standard Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) file. A high signal-to-noise ratio (SNR), adequate soft tissue contrast, and good spatial resolution with thinner voxels (0.25 to 1.25 mm) allowed the gathering of required information for 3D reconstruction of the orbital floor.

Using the open-source software "InVesalius" (3.1.1, Brazil), segmentation based on a threshold in grey scale was performed and a region of interest (ROI) was selected, which allowed the generation of a 3D volumetric reconstruction of the skull (*Figure 2*).

The data prepared in this manner were exported in the form of a stereolithography (STL) file. The correctness of the generated 3D model was checked using the "Autodesk Meshmixer" program (11.0.544). The final data were sent to the printer using the "Pre-Form" program (1.2.9, Formlabs). To produce the model, a low-force stereolithography system (LFS) (Form 3, Formlabs) and BioMed Clear resin (ISO 13485) were used. The printing temperature was set to 210 °C. The layer thickness was set at 50 µm. The final models were sterilized in an autoclave and used to prepare the prosthesis during surgery.

A polypropylene prosthesis "Codubix Oczodół" (Tricomed, Poland) was used in the surgical treatment. The procedure was performed on the 5th day after trauma under general anesthesia using the transconjunctival approach. The prosthesis was intraoperatively adapted and pre-cut *ex vivo* using the 3D-printed model of the fractured orbit first, and then inserted into the orbit to reconstruct the orbital floor (*Figures 3-7*).

No complications were observed during the postoperative course. Instant improvement in diplopia was noted. A CT scan was performed on the 3rd day after surgery. No

Highlight box

Key findings

- A three-dimensional (3D) printed model was successfully used to plan the surgical treatment of a patient with an orbital floor fracture, as well as to pre-cut a Codubix prosthesis, which was subsequently used to reconstruct the fractured bone.

What is known and what is new?

- Orbital floor fractures typically manifest as eyeball mobility disorders with double vision (diplopia), enophthalmia, and infraorbital paresis. Surgical treatment of these fractures involves orbital floor reconstruction, which requires great precision.
- 3D printing seems to be a useful method that allows more thorough preparation for the surgery and also could potentially shorten its duration.

What is the implication, and what should change now?

- 3D-printed models can be prepared based on pre-operative computed tomography (CT) scans and used to thoroughly prepare for the surgery in patients with orbital floor fractures.

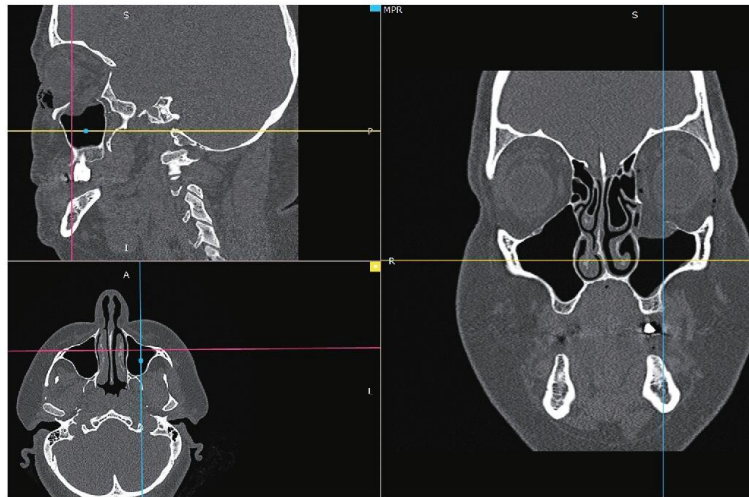


Figure 1 Pre-surgery computed tomography scan showing fracture of the left orbital floor. The lines and dots indicate the relation of the shown slices. MPR, multiplanar reconstruction; A, anterior; P, posterior; R, right; L, left; S, superior; I, inferior.

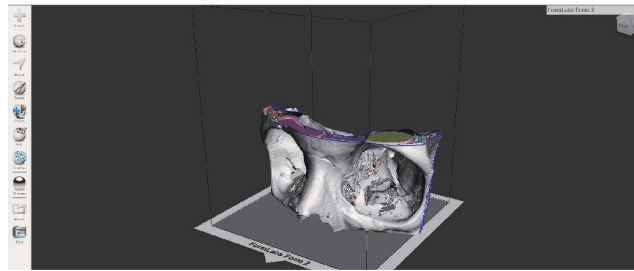


Figure 2 The three-dimensional skull model being prepared for printing.



Figure 3 The material "Codubix Oezodól" used for reconstruction.



Figure 4 The three-dimensional skull model of the patient.



Figure 5 The process of cutting and adjusting a “Codubix Oczodól” material *ex-vivo* using a 3D-printed model (please note that this would normally take place during surgery in a sterile environment—this image has been taken to better illustrate the process).

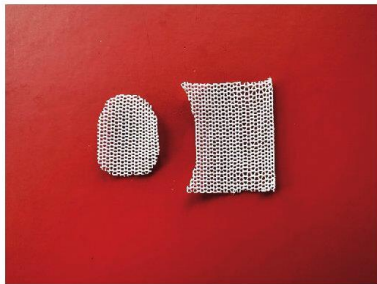


Figure 6 Pre-cut and adjusted “Codubix Oczodól” material (please note that this would normally take place during surgery in a sterile environment—this image has been taken to better illustrate the process).

herniation into the maxillary sinus was observed (*Figure 8*).

All procedures performed in this study were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee(s) and with the Helsinki Declaration (as revised in 2013). Written informed consent for publication of this case report and accompanying images was not obtained from the patient or the relatives after all possible attempts were made.

Discussion

It is a well-known fact that proper manual training and



Figure 7 Example of a three dimensional-printed skull model. Photo taken during a surgery.

thorough anatomical knowledge are needed to perform surgical procedures efficiently and appropriately. However, even the most detailed anatomical education does not include the individual characteristics of the operated patient. Therefore, surgeons have always been interested in methods that allow more thorough and individualized surgery planning. This possibility is partially supported by the standard radiological techniques. However, the information acquired via radiology is limited, and it is an arduous task to predict the conditions that could be found inside the patient based solely on them (11). Therefore, numerous ideas for use of modern technologies such as virtual or augmented reality, computer modelling, and 3D printing have been developed.

The first attempts to produce 3D-printed models to resemble human anatomy can be traced back to the 1990s (12). Less than a decade later, attempts to use such models in surgery planning and intraoperative navigation have been undertaken (13,14). It is important to note that these attempts were undertaken *inter alia* in the field of head and neck surgery (12). Nowadays 3D printing is widely used in medicine for the production of personalized implants as well as in manufacturing precise physical models of patient anatomy, as in this study. Such a model can be used by the surgeon to get acquainted with the individual anatomy of the patient. Moreover, it also offers a unique possibility to touch, which is not possible using virtual or augmented reality. This allows adjustment of the prosthesis used for an *ex vivo* surgery, which in theory should shorten the duration of the surgery, which is one of the commonly known factors contributing to the risk of complications (15,16). It also seems to be technically easier. In addition,

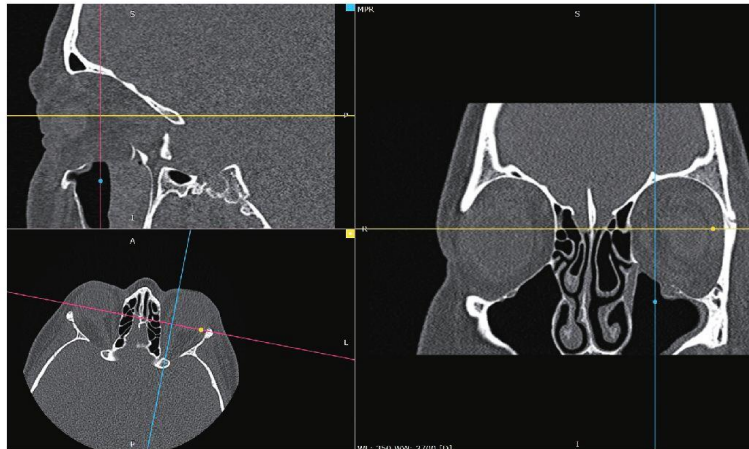


Figure 8 Post-surgery computed tomography scan of the patient. The lines and dots indicate the relation of the shown slices. MPR, multiplanar reconstruction; A, anterior; P, posterior; R, right; L, left; S, superior; I, inferior.

proper adjustment of the prosthesis *ex vivo* is possible due to better visibility and lack of interference from soft tissues of the patient. Sterility of the procedure is ensured through sterilization of the prosthesis after contact with the 3D-printed models. If the material cannot undergo sterilization due to technical reasons, sterilization or sterile draping of the model itself can be done and the prosthesis can be adjusted in the operating room. In comparison during a standard operative treatment of an orbital floor fracture the fracture itself is assessed preoperatively only basing on CT-images and clinical presentation. The proper assessment of the shape and size of the fracture can therefore commence only intraoperatively. At this point the material used for the reconstruction is repeatedly put into the orbit and adjusted until it reaches the proper form. To assist this procedure, special templates can be used.

A potential disadvantage of the 3D-model assisted method described in this study could be the increased duration of time required for preparation of surgery, which could be problematic in patients with orbital floor fractures as the available literature indicates that early intervention is a positive prognostic factor (17). However, from our experience, we conclude that a skilled person can prepare the data from the CT scans within 2–3 hours. Furthermore, the 3D printing procedure itself can take somewhere between a few to a dozen hours. Therefore, it can be assumed that this

technique could be used in the time available for standard preoperative preparations. The method is also relatively cost-efficient, in our experience adding only about 100 USD to the whole treatment process of a single patient.

Conclusions

3D printing seems to be a useful method that allows more thorough preparation for the surgery and also could potentially shorten its duration.

Acknowledgments

Funding: None.

Footnote

Reporting Checklist: The authors have completed the CARE reporting checklist. Available at <https://acr.amegroups.com/article/view/10.21037/acr-24-73/rc>

Peer Review File: Available at <https://acr.amegroups.com/article/view/10.21037/acr-24-73/prf>

Conflicts of Interest: All authors have completed the ICMJE uniform disclosure form (available at <https://acr.amegroups.com>).

com/article/view/10.21037/acr-24-73/coif). The authors have no conflicts of interest to declare.

Ethical Statement: The authors are accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved. All procedures performed in this study were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee(s) and with the Helsinki Declaration (as revised in 2013). Written informed consent for publication of this case report and accompanying images was not obtained from the patient or the relatives after all possible attempts were made.

Open Access Statement: This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.0 International License (CC BY-NC-ND 4.0), which permits the non-commercial replication and distribution of the article with the strict proviso that no changes or edits are made and the original work is properly cited (including links to both the formal publication through the relevant DOI and the license). See: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

References

1. Cruz AA, Eichenberger GC. Epidemiology and management of orbital fractures. *Curr Opin Ophthalmol* 2004;15:416-21.
2. Manolidis S, Weeks BH, Kirby M, et al. Classification and surgical management of orbital fractures: experience with 111 orbital reconstructions. *J Craniofac Surg* 2002;13:726-37; discussion 738.
3. Kryst L. Chirurgia szczękowo-twarzowa podręcznik dla studentów, Wydanie II Unowocześnione. PZWL Warszawa 1993 [Chapter]. Złamanie Oczodołu, Page:267-274.
4. Ahmad F, Kirkpatrick NA, Lyne J, et al. Buckling and hydraulic mechanisms in orbital blowout fractures: fact or fiction? *J Craniofac Surg* 2006;17:438-41.
5. Patel S, Shokri T, Ziai K, et al. Controversies and Contemporary Management of Orbital Floor Fractures. *Craniofacial Trauma Reconstr* 2022;15:237-45.
6. Basta MN, Rao V, Roussel LO, et al. Refining Indications for Orbital Floor Fracture Reconstruction: A Risk-Stratification Tool Predicting Symptom Development and Need for Surgery. *Plast Reconstr Surg* 2021;148:606-15.
7. Harris GJ. Orbital blow-out fractures: surgical timing and technique. *Eye (Lond)* 2006;20:1207-12.
8. Young SM, Sundar G, Lim TC, et al. Use of bioresorbable implants for orbital fracture reconstruction. *Br J Ophthalmol* 2017;101:1080-5.
9. Taxis J, Ungerboeck L, Motel C, et al. Thin PDS Foils Represent an Equally Favorable Restorative Material for Orbital Floor Fractures Compared to Titanium Meshes. *Tomography* 2023;9:1515-25.
10. Bernhard B, Illi J, Gloeckler M, et al. Imaging-Based, Patient-Specific Three-Dimensional Printing to Plan, Train, and Guide Cardiovascular Interventions: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Heart Lung Circ* 2022;31:1203-18.
11. Taxis J, Ungerboeck L, Gehrking MR, et al. Two-Dimensional Post-Traumatic Measurements of Orbital Floor Blowout Fractures Underestimate Defect Sizes Compared to Three-Dimensional Approaches. *Tomography* 2023;9:579-88.
12. Barker TM, Earwaker WJ, Frost N, et al. Integration of 3-D medical imaging and rapid prototyping to create stereolithographic models. *Australas Phys Eng Sci Med* 1993;16:79-85.
13. Sodian R, Schmauss D, Markert M, et al. Three-dimensional printing creates models for surgical planning of aortic valve replacement after previous coronary bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2008;85:2105-8.
14. Winder J, Bibb R. Medical rapid prototyping technologies: state of the art and current limitations for application in oral and maxillofacial surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 2005;63:1006-15.
15. Sigron GR, Rüedi N, Chammartin F, et al. Three-Dimensional Analysis of Isolated Orbital Floor Fractures Pre- and Post-Reconstruction with Standard Titanium Meshes and "Hybrid" Patient-Specific Implants. *J Clin Med* 2020;9:1579.
16. Cheng H, Clymer JW, Po-Han Chen B, et al. Prolonged operative duration is associated with complications: a systematic review and meta-analysis. *J Surg Res* 2018;229:134-44.
17. Damgaard OE, Larsen CG, Felding UA, et al. Surgical Timing of the Orbital "Blowout" Fracture: A Systematic Review and Meta-analysis. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2016;155:387-90.

doi: 10.21037/acr-24-73

Cite this article as: Stopa L, Papezyc A, Stopa Z, Abed K. Use of 3D-printed model to plan the surgical management of a patient with isolated orbital floor fracture: a case report. *AME Case Rep* 2024.

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie zaprezentowanych wyników badań zaznaczyć należy przed wszystkim, że złamanie oczodołu są zagadnieniem niezwykle skomplikowanym, wciąż, mimo bardzo licznych publikacji pełnym pytań bez jasnej odpowiedzi, zarówno w zakresie patomechanizmu, jak i leczenia. Przedstawione dowody pozwalają przy tym podważyć szeroko przyjęte, ale nieoparte danymi empirycznymi twierdzenia w tym zakresie. Przede wszystkim stawiają w wątpliwość tezę, jakoby uwięźnięcie mięśnia prostego dolnego było zasadniczą przyczyną zaburzeń ruchomości gałki ocznej oraz diplopii u pacjentów cierpiących na złamanie izolowane dna oczodołu. Co więcej wskazują na rozmiar przepukliny w zatoce szczękowej jako potencjalny czynnik rokowniczy.

W zakresie zastosowanego do operacyjnej rekonstrukcji dna oczodołu materiału nie znaleziono istotnych różnic w wynikach leczenia przy zastosowaniu materiałów resorbowalnych i nieresorbowalnych. Wskazuje to, że wybór materiału powinien opierać się na indywidualnej ocenie klinicznej pacjenta i doświadczeniu operatora.

Stereolitografia jawi się jako przydatne narzędzie pozwalające na dokładniejsze przygotowanie się do technicznie skomplikowanego, leczenia operacyjnego złamań dna oczodołu.

Piśmiennictwo

- I/1. Kryst, L. Chirurgia Szczękowo-Twarzowa. Podręcznik dla Studentów, 2nd ed.; Wydawnictwo Lekarskie PZWL: Warsaw, Poland, 1993; pp. 267–274.
- I/2. Mittermiller, P.A.; Bidwell, S.S.; Thieringer, F.M.; Cornelius, C.P.; Trickey, A.W.; Kontio, R.; Girod, S.; AO Trauma Classification Study Group. The Comprehensive AO CMF Classification System for Mandibular Fractures: A Multicenter Validation Study. *Craniofac. Trauma Reconstr.* 2019, 12, 254–265
- I/3. Gómez Roselló, E.; Quiles Granado, A.M.; Artajona Garcia, M.; Juanpere Martí, S.; Laguillo Sala, G.; Beltrán Mármol, B.; Pedraza Gutiérrez, S. Facial fractures: Classification and highlights for a useful report. *Insights Imaging* 2020, 11, 49.
- I/4. Ahmad, F.; Kirkpatrick, N.A.; Lyne, J.; Urdang, M.; Waterhouse, N. Buckling and hydraulic mechanisms in orbital blowout fractures: Fact or fiction? *J. Craniofac. Surg.* 2006, 17, 438–441.
- I/5. Birkenfeld, F.; Steiner, M.; Becker, M.E.; Kern, M.; Wiltfang, J.; Lucius, R.; Becker, S.T. Forces changing the orbital floor after orbital trauma. *J. Craniofac. Surg.* 2012, 23, 953–956.
- I/6. Patel, S.; Andreovich, C.; Silverman, M.; Zhang, L.; Shkoukani, M. Biomechanical Factors Associated with Orbital Floor Fractures. *JAMA Facial. Plast. Surg.* 2017, 19, 298–302.
- I/7. Moura, L.B.; Jürgens, P.C.; Gabrielli, M.A.C.; Pereira Filho, V.A. Dynamic three-dimensional finite element analysis of orbital trauma. *Br. J. Oral. Maxillofac. Surg.* 2021, 59, 905–911.
- I/8. Darwich, A.; Attieh, A.; Khalil, A.; Szávai, S.; Nazha, H. Biomechanical assessment of orbital fractures using patient-specific models and clinical matching. *Stomatol. Oral. Maxillofac. Surg.* 2021, 122, e51–e57.
- I/9. Wanyura, H.; Kowalczyk, P.; Samolczyk-Wanyura, D.; Stopa, Z.; Bossak, M. Finite element analysis of external loads resulting in isolated orbital floor fractures. *Czasopismo Stomatologiczne* 2011, 64, 476–489.
- I/10. Patel, S.; Shokri, T.; Ziai, K.; Lighthall, J.G. Controversies and contemporary management of orbital floor fractures. *Craniofac. Trauma Reconstr.* 2022, 15, 237–245.
- I/11. Seen, S.; Young, S.M.; Teo, S.J.; Lang, S.S.; Amrith, S.; Lim, T.C.; Sundar, G. Permanent versus bioresorbable implants in orbital floor blowout fractures. *Ophthalmic. Plast. Reconstr. Surg.* 2018, 34, 536–543.
- I/12. Ramesh, S.; Goldberg, R. Re: Permanent versus bioresorbable implants in orbital floor blowout fractures. *Ophthalmic. Plast. Reconstr. Surg.* 2019, 35, 202.

- I/13. Young, S.M.; Sundar, G. Reply Re: Permanent versus bioresorbable implants in orbital floor blowout fractures. *Ophthalmic. Plast. Reconstr. Surg.* 2019, 35, 202–203.
- I/14. Bocchialini, G.; Castellani, A. Facial trauma: A retrospective study of 1262 patients. *Ann. Maxillofac. Surg.* 2019, 9, 135–139.
- I/15. Lin, C.; Wu, J.; Yang, C.; Zhang, C.; Xu, B.; Zhang, Y.; Zhang, S. Classifying and standardizing panfacial trauma according to anatomic categories and Facial Injury Severity Scale: A 10-year retrospective study. *BMC Oral. Health* 2021, 21, 557.
- I/16. Seddon, H. Three types of nerve injury. *Brain* 1943, 66, 237–288.
- I/17. Kovar, D.; Voldrich, Z.; Voska, P.; Lestak, J.; Astl, J. Indications for repositioning of blow-out fractures of the orbital floor based on new objective criteria-tissue protrusion volumetry. *Biomed. Pap.* 2017, 161, 403–406.
- I/18. Zinn, J. *Descriptio Anatomica Oculi Humani Iconibus Illustrata*, Latin ed.; Goettingae: Apud viduam B. Abrahami Vandenhoeck: Electorate of Brunswick-Lüneburg, 1755.
- I/19. Koenen, L.; Waseem, M. *Orbital Floor Fracture*; StatPearls Publishing: Tampa, FL, USA, 2022.
- I/20. Gugliotta, Y.; Rocchia, F.; Demo, P.G.; Rossi, M.B. Characteristics and surgical management of pure trapdoor fracture of the orbital floor in adults: A 15-year review. *Oral. Maxillofac. Surg.* 2022, 16, 1–6.
- I/21. Morotomi, T.; Iuchi, T.; Hashimoto, T.; Sueyoshi, Y.; Nagasao, T.; Isogai, N. Image analysis of the inferior rectus muscle in orbital floor fracture using cine mode magnetic resonance imaging. *J. Craniomaxillofac. Surg.* 2015, 43, 2066–2070.
- II/1. Złamanie oczodołu. W: Kryst L (red. nauk.). *Chirurgia szczękowo-twarzowa. Podręcznik dla studentów. Wyd. 2 unowocześnione.* Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL; 1993: 267-274.
- II/2. Ahmad F, Kirkpatrick NA, Lyne J i wsp. Buckling and hydraulic mechanisms in orbital blowout fractures: fact or fiction? *J Craniofac Surg.* 2006; 17(3): 438-441.
- II/3. Manolidis S, Weeks BH, Kirby M i wsp. Classification and surgical management of orbital fractures. Experience with 111 orbital reconstructions. *J Craniofac Surg.* 2002; 13(6): 726-737.
- II/4. Miller AF, Elman DM, Aronson PL i wsp. Epidemiology and predictors of orbital fractures in children. *Pediatr Emerg Care.* 2018; 34(1): 21-24.
- II/5. Patel S, Shokri T, Ziai K i wsp. Controversies and contemporary management of orbital floor fractures. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr.* 2022; 15(3): 237-245.
- II/6. Harris GJ. Orbital blow-out fractures. Surgical timing and technique. *Eye (Lond).* 2006; 20(10): 1207-1212.

- II/7. Young SM, Sundar G, Lim TC i wsp. Use of bioresorbable implants for orbital fracture reconstruction. *Br J Ophthalmol*. 2017; 101(8): 1080-1085.
- II/8. Seen S, Young SM, Teo SJ i wsp. Permanent versus bioresorbable implants in orbital floor blowout fractures. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg*. 2018; 34(6): 536-543.
- II/9. Ramesh S, Goldberg R. Re: “Permanent versus bioresorbable implants in orbital floor blowout fractures”. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg*. 2019; 35(2): 202.
- II/10. Young SM, Sundar G. Reply re: “Permanent versus bioresorbable implants in orbital floor blowout fractures”. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg*. 2019; 35(2): 202-203.
- III/1. Cruz AA, Eichenberger GC. Epidemiology and management of orbital fractures. *Curr Opin Ophthalmol* 2004;15:416-21.
- III/2. Manolidis S, Weeks BH, Kirby M, et al. Classification and surgical management of orbital fractures: experience with 111 orbital reconstructions. *J Craniofac Surg* 2002;13:726-37; discussion 738.
- III/3. Kryst L. Chirurgia szczękowo-twarzowa podręcznik dla studentów, Wydanie II Unowocześnione. PZWL Warszawa 1993 [Chapter]. Złamanie Oczodołu, Page:267-274. 3
- III/4. Ahmad F, Kirkpatrick NA, Lyne J, et al. Buckling and hydraulic mechanisms in orbital blowout fractures: fact or fiction? *J Craniofac Surg* 2006;17:438-41.
- III/5. Patel S, Shokri T, Ziai K, et al. Controversies and Contemporary Management of Orbital Floor Fractures. *Craniofac Trauma Reconstr* 2022;15:237-45.
- III/6. Basta MN, Rao V, Roussel LO, et al. Refining Indications for Orbital Floor Fracture Reconstruction: A Risk-Stratification Tool Predicting Symptom Development and Need for Surgery. *Plast Reconstr Surg* 2021;148:606-15.
- III/7. Harris GJ. Orbital blow-out fractures: surgical timing and technique. *Eye (Lond)* 2006;20:1207-12.
- III/8. Young SM, Sundar G, Lim TC, et al. Use of bioresorbable implants for orbital fracture reconstruction. *Br J Ophthalmol* 2017;101:1080-5.
- III/9. Taxis J, Ungerboeck L, Motel C, et al. Thin PDS Foils Represent an Equally Favorable Restorative Material for Orbital Floor Fractures Compared to Titanium Meshes. *Tomography* 2023;9:1515-25.
- III/10. Bernhard B, Illi J, Gloeckler M, et al. Imaging-Based, Patient-Specific Three-Dimensional Printing to Plan, Train, and Guide Cardiovascular Interventions: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Heart Lung Circ* 2022;31:1203-18.

- III/11. Taxis J, Ungerboeck L, Gehrking MR, et al. TwoDimensional Post-Traumatic Measurements of Orbital Floor Blowout Fractures Underestimate Defect Sizes Compared to Three-Dimensional Approaches. *Tomography* 2023;9:579-88.
- III/12. Barker TM, Earwaker WJ, Frost N, et al. Integration of 3-D medical imaging and rapid prototyping to create stereolithographic models. *Australas Phys Eng Sci Med* 1993;16:79-85.
- III/13. Sodian R, Schmauss D, Markert M, et al. Threedimensional printing creates models for surgical planning of aortic valve replacement after previous coronary bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2008;85:2105-8.
- III/14. Winder J, Bibb R. Medical rapid prototyping technologies: state of the art and current limitations for application in oral and maxillofacial surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 2005;63:1006-15.
- III/15. Sigron GR, Rüedi N, Chammartin F, et al. Three-Dimensional Analysis of Isolated Orbital Floor Fractures Pre- and Post-Reconstruction with Standard Titanium Meshes and "Hybrid" Patient-Specific Implants. *J Clin Med* 2020;9:1579.
- III/16. Cheng H, Clymer JW, Po-Han Chen B, et al. Prolonged operative duration is associated with complications: a systematic review and meta-analysis. *J Surg Res* 2018;229:134-44.
- III/17. Damgaard OE, Larsen CG, Felding UA, et al. Surgical Timing of the Orbital "Blowout" Fracture: A Systematic Review and Meta-analysis. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2016;155:387-90.

Warszawa, 9.08.2024
(miejsowość, data)

Wojciech Stopa.....
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Correlation between Tomography Scan Findings and Clinical Presentation and Treatment Outcomes in Patients with Orbital Floor Fractures*.....

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

..... udział w..... przygotowaniu..... metodyki, koncepcji, wykonaniu.....
badań i interpretacji wyników.....

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 45..... %.

Wkład *Łukasza Stopa*..... w powstanie publikacji określam jako 45..... %,
(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on:..... udział w..... przygotowaniu..... koncepcji, metodyki,.....
..... interpretacji badań i ich wyników oraz wykonaniu badań.....
(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej

lek/mer *Łukasza Stopa*
(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

Wojciech Stopa
(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Wrocław, 4.03.24
(miejscowość, data)

Zygmunt Stopa
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Correlation between Tomography Scan Findings and Clinical Presentation and Treatment Outcomes in Patients with Orbital Floor Fractures*

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

udział w przygotowaniu koncepcji, metodyki i interpretacji wyników

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako *10* %.

Wkład *Złazna Stopa* w powstawanie publikacji określam jako *45* %, (imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: *udział w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań i interpretacji wyników*

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej

lek/mgr *Złazna Stopa* (imię i nazwisko kandydata do stopnia)

Zygmunt Stopa
(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 9.09.2024
(miejsowość, data)

Wojciech Stopa
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. Leźnienie chirurgiczne izodonu
z tamami dna osłodu z wykorzystaniem materiałów
resorbowalnych oraz nieresorbowalnych - doświadczalnie osiedla
oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i
opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

udział w wykonaniu badań

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 10 %.

Wkład Edgara Stopa w powstawanie publikacji określam jako 40 %.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: udział w przygotowaniu koncepcji, metodyki,
wykonaniu badań i interpretacji wyników

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej

lek/mgr Edgara Stopa

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

Wojciech Stopa
(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Wzmawa, 9.09.2024
(miejsowość, data)

Angelina Paperyc
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. Lezenie chirurgiczne izdowanych
21amcaí dna onodotv z wykorzystaniem materiałów
resorbowalnych lub nie resorbowalnych - doświadczenie ośrodku
oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i
opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

udział w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań
i interpretacji wyników

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 40 %.

Wkład Zuzasza Stopa w powstawanie publikacji określam jako 40 %,
(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: udział w przygotowaniu koncepcji, metodyki,
wykonaniu badań i interpretacji wyników

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej

lek/mgr Zuzasza Stopa

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

Angelina Paperyc

(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 7.09.2024
(miejscowość, data)

Zygmunt Stopa
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. Leżenie chirurgiczne izdowanych
2. Tamami dwa aradoi 2. wykonywaniem matematów
rehabowalnych lub niesrebowalnych - doświadzenie ośwodka
oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i
opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:
udział w przygotowaniu koncepcji, metodyki i interpretacji
wyników

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 10 %.

Wkład Zuzanna Stopa w powstawanie publikacji określam jako 40 %,
(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: udział w przygotowaniu koncepcji, metodyki,
wykonywaniu badań i interpretacji wyników.
(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej
lek/mgr Zuzanna Stopa
(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

Zygmunt Stopa
(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 7.08.2024
(miejscowość, data)

Zygmunt Stopa
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Use of 3D-printed model to plan the surgical management of a patient with isolated orbital floor fracture: a case report*

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

udział w przygotowaniu metodyki i koncepcji oraz wykonaniu badań i interpretacji wyników

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 10%.

Wkład *Łukasza Stopy* w powstawanie publikacji określam jako 60%.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: *udział w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań i interpretacji wyników*

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej

lek/mgr *Łukasza Stopy*

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

Zygmunt Stopa
(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 9.09.2024
(miejsowość, data)

Angelina Paperczyk
(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Use of 3D-printed model to plan the surgical management of a patient with isolated orbital floor fracture: a case report*

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

udział w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań i interpretacji wyników

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako *40* %.

Wkład *Łukasza Stopa* w powstawanie publikacji określam jako *40* %, (imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: *udział w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań i interpretacji wyników*

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej

lek/mgr *Łukasza Stopa*

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

Angelina Paperczyk

(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników

Warszawa, 7.09.2024
(miejsowość, data)

Kamil Abed

(imię i nazwisko)

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. Use of 3D-printed model to plan the surgical management of a patient with isolated orbital floor fracture: a case report.

oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji stanowi:

udział w przygotowaniu koncepcji, metodyki i wykonaniu badań.

Mój udział procentowy w przygotowaniu publikacji określam jako 10 %.

Wkład Lukasza Stopa w powstawanie publikacji określam jako 40 %.

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

obejmował on: udział w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników.

(merytoryczny opis wkładu kandydata do stopnia w powstanie publikacji)*

Jednocześnie wyrażam zgodę na wykorzystanie w/w pracy jako część rozprawy doktorskiej

lek/mgr. Lukasza Stopa

(imię i nazwisko kandydata do stopnia)

Kamil Abed

(podpis oświadczającego)

*w szczególności udziału w przygotowaniu koncepcji, metodyki, wykonaniu badań, interpretacji wyników