

## Autoreferat

### 1. Imię i Nazwisko.

Rafał Andrzej Olszewski vel Raphael André Olszewski (ur.27.09.1971)

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

Licencié en sciences dentaires, Université catholique de Louvain, Bruksela, 1996r

Docteur en Médecine, *cum laude*, Université catholique de Louvain, Bruksela, 2001r

Diplôme d'études approfondies en sciences de la santé, orientation biomédicale, *magna cum laude*, Université catholique de Louvain, Bruksela, 2004r

Diplôme d'études spécialisées en Stomatologie, Université catholique de Louvain, Bruksela, 2006r

Doktorat (2001-2008): Docteur en sciences médicales, avec thèse (PhD):

**Olszewski R.** Three-dimensional computed tomography based craniofacial cephalometric analysis: concept, software, and experimental validations, Université catholique de Louvain, Bruksela, 2008r

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych.

Od 1996r do chwili obecnej: w Service de Stomatologie et chirurgie maxillo-faciale, Cliniques universitaires saint Luc, Université catholique de Louvain, Av. Hippocrate 10, 1200 Bruksela

1996-2001 : Post-gradué en stomatologie (brak odpowiednika w języku polskim)

2001-2007 : Assistant en Stomatologie (asystent z chirurgii stomatologicznej)

2007-2009 : Résident (brak odpowiednika w języku polskim)

2009-2015 : Chef de clinique adjoint (adiunkt)

2015- do chwili obecnej: Chef de clinique associé (profesor nadzwyczajny)

4. Wskazanie osiągnięcia\* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego,

“Trójwymiarowe drukowane modele w chirurgii szczękowo-twarzowej: aspekty badawcze i oryginalne zastosowania kliniczne”

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa)

**1. Olszewski R,** Tranduy K, Reychler H. Innovative procedure for computer-assisted genioplasty: three-dimensional cephalometry, rapid-prototyping model and surgical splint. 2010, Int J Oral Maxillofac Surg 2010; 39: 721-724 (IF 2010: 1.302)

2. **Olszewski R**, Reychler H. Three-dimensional surgical guide for frontal-nasal-ethmoid-vomer disjunction in Lefort III osteotomy. 2011, J Craniofac surg 2011; 22: 1791-1792 (IF 2011: 0.822)

3. **Olszewski R**. Surgical Engineering in Cranio-Maxillofacial Surgery: A Literature Review. 2012, Journal of Healthcare Engineering 2012; 3: 53-86 (IF 2012:0.662)

4. **Olszewski R**. Three-dimensional rapid prototyping models in cranio-maxillofacial surgery: systematic review and new clinical applications. 2013, P Belg Roy Acad Med 2013; 2: 43-77 (artykuł bez IF, opublikowanym w czasopiśmie Belgijskiej Królewskiej Akademii Medycyny; periodyk publikuje artykuły autorów, których zaprasza do opublikowania swoich prac)

5. **Olszewski R**, Szymor P, Kozakiewicz M. Accuracy of three-dimensional, paper-based models generated using a low-cost, three-dimensional printer. 2014, J Craniomaxillofac surg 2014; 42: 1847-1852 (IF 2014: 2.933)

6. Szymor P, Kozakiewicz M, **Olszewski R**. Accuracy of open-source software segmentation and paper-based printed three-dimensional models. 2015, J Craniomaxillofac Surg. 2016; 44: 202-209 (IF: 2.933)

7. Maschio F, Pandya M, **Olszewski R**. Experimental Validation of Plastic Mandible Models Produced by a "Low-Cost" 3-Dimensional Fused Deposition Modeling Printer. Med Sci Monit 2016; 22:943-957 (On line 22.03.2016) DOI: 10.12659/MSM.895656 (IF 2016: 1.433)

Sumaryczny impact factor osiągnięcia naukowego wynosi 10,085 (patrz załącznik nr 6B).

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

## Wprowadzenie

Chirurgia ortognatyczna jest jednym z działów chirurgii szczękowo-twarzowej; umożliwia ona korektę wad zgryzowo-kostnych, takich jak prognia, retrognia, czy asymetrii twarzy.

Standardowa procedura jest zwykle poprzedzona leczeniem ortodontycznym. Klasyczny przebieg operacji wykonany jest w znieczuleniu ogólnym, z podejścia wewnątrzustnego. Zabieg polega na wykonaniu osteotomii kości żuchwy dolnej i/lub górnej oraz w razie potrzeby innych regionów anatomicznych twarzy. Sposób przesunięcia kości żuchwy jest rezultatem i wypadkową:

- 1) wywiadu chorobowego pacjenta i jego oczekiwań,
- 2) badania klinicznego,
- 3) badania zgryzu, rysów twarzy i tkanek miękkich,
- 4) dwu-wymiarowej analizy cefalometrycznej wykonanej na teleradiografii z profilu,
- 5) planowania operacji poprzez użycie modeli gipsowych łuków zębowych pacjenta, uprzednio ustawionych w artykulatorze w pozycji początkowej (patologicznej).

W standardowej procedurze gipsowe modele są przecinane i ręcznie przesuwane w artykulatorze do pozycji końcowej wynikającej z etapów 1) do 4). Najpierw przesunięty jest ręcznie model żuchwy górnej potem model żuchwy dolnej. Po przesunięciu modelu

żuchwy górnej wykonuje się tak zwaną szynę „pośrednią” z termo-utwardzalnego polimeru, między zębami żuchwy górnej w pozycji końcowej a zębami żuchwy dolnej w pozycji początkowej. Szyna „pośrednia” ma za zadanie przeniesienie trójwymiarowej końcowej pozycji żuchwy górnej względem czaszki, do pola operacyjnego. Później przesuwa się model gipsowy żuchwy dolnej do pozycji końcowej przez dopasowanie zgryzu między dwoma modelami gipsowymi żuchw. W tej pozycji wykonuje się szynę „końcową”, która pozwala przenieść planowanie przed-operacyjne do pola operacyjnego dla żuchwy dolnej. Szyny są więc jedynym nośnikiem informacji trójwymiarowej między planowaniem przed-operacyjnym a salą operacyjną (*Olszewski R, Reychler H. Les limites de la chirurgie des modèles: implications théoriques et pratiques. Rev Fr Stomatol Chir Maxillofac 2004; 105: 165-169*).

Technika standardowa przedstawia wiele słabych stron, i nie pozwala sprawować pełnej kontroli nad większością czynników, które wpływają na jakość i wykonanie poprawnych szyn. Czasem nawet zdarza się, że wykonanie szyn może mieć ujemny wpływ na końcowy efekt wykonania operacji ortognatycznej (*Olszewski R, Reychler H. Les limites de la chirurgie des modèles: implications théoriques et pratiques. Rev Fr Stomatol Chir Maxillofac 2004; 105: 165-169*).

Wychodząc z tego punktu, krytycznie oceniając słabe strony przygotowania operacji chirurgii ortognatycznej skoncentrowałem się najpierw nad poprawą kontroli na etapie przed-operacyjnym, to jest nad planowaniem operacji ortognatycznej na modelach gipsowych. Z czasem doszedłem do wniosku że można usprawnić i dokonać dużo dalej idących zmian, systematycznie, naukowo sprawdzając i weryfikując tezy i metody działania na każdym poszczególnym etapie operacji.

Moje krytyczne myślenie o standardowych operacjach ortognatycznych przybrało postać projektu naukowego pod nazwą HEROL (utworzonego z akronimu nazwiska mojego promotora i mojego własnego nazwiska: HErvé Reychler-Raphael OLSzewski). Projekt ten został zrealizowany w latach 2002-2006, został finansowany dzięki Funduszowi Waléo Rządu Regionu Wallońskiego, Belgia. Budżet projektu opiewał na kwotę 798.000 euro. Tytuł projektu to: „Chirurgia ortognatyczna wspomagana komputerowo oraz poprzez robotykę”. HEROL był projektem multidyscyplinarnym; oprócz chirurgii stomatologicznej i szczękowo-twarzowej zaangażowani byli także inżynierowie z katedry inżynierii mechanicznej i robotyki oraz inżynierii telekomunikacyjnej. Do projektu włączono także informatyków oraz centrum badań przemysłowych CRIF. Ta ostatnia instytucja posiadała szerokie zaplecze drukarek trójwymiarowych i produkowała modele trójwymiarowe wyłącznie na potrzeby przemysłu. Pierwsze próby użycia modeli w medycynie były pionierskie, w 2002r technologie drukowania trójwymiarowego były bardzo kosztowne i czasochłonne.

Belgijska Królewska Akademia Medycyny doceniła projekt HEROL (ARMB, <http://www.armb.be> ) przyznając mi nagrodę i medal im. Dr Jules Deminne (Prix du Docteur Jules Deminne et de sa femme, née Anne Fabry) przyznawaną raz na cztery lata za najlepszą pracę z chirurgii stomatologicznej nadesłaną do Akademii Królewskiej w latach 2000-2003 (<http://www.armb.be/index.php?id=1420> ), (nagroda pieniężna 3500 euro).

Dostałem też możliwość opublikowania mojej monografii w wersji skróconej w indeksowanym czasopiśmie Belgijskiej Królewskiej Akademii Medycyny (*Olszewski R. Chirurgie maxillo-faciale du futur. L'innovation interdisciplinaire au service de la médecine. Bull Mem Acad Roy Med Belg 2004; 159: 376-383*). W ramach projektu HEROL powstały trzy doktoraty, w tym również mój (*Olszewski R. Three-dimensional*

*computed tomography based craniofacial cephalometric analysis: concept, software, and experimental validations. PhD Thesis, 2008, Université catholique de Louvain).*

Tytuły dwóch pozostałych prac doktorskich to:

*Trevisan Gorski D. Design, Implementation and Evaluation for Continuous Interaction in Image-guided Surgery. PhD thesis, 2006, Université catholique de Louvain,*

*Tran Duy K. Conception et analyse d'un dispositif d'assistance à la chirurgie orthognathique. PhD thesis, 2008, Université catholique de Louvain.*

Nowo zaproponowany system polegał na:

- 1) Stworzeniu od nowa trójwymiarowej analizy cefalometrycznej na podstawie trójwymiarowej rekonstrukcji tomografii komputerowej, w miejsce analizy cefalometrycznej dwu-wymiarowej używającej teleradiografii z profilu, biorąc również pod uwagę aspekty dozymetrii i zmniejszania dawki promieniowania dla pacjentów; Zbudowanie od podstaw trójwymiarowej analizy cefalometrycznej zostało zawarte w mojej pracy doktorskiej (**Olszewski R.** *Three-dimensional computed tomography based craniofacial cephalometric analysis: concept, software, and experimental validations. PhD Thesis, 2008, UCL*) jak i w późniejszym cyklu prac badawczych na ten temat;
- 2) Stworzeniu oprogramowania pozwalającego wirtualne planowanie osteotomii i przesuwania kości pacjenta, według danych 1) wywiadu chorobowego pacjenta i jego oczekiwań, 2) badania klinicznego, 3) badania zgryzu, rysów twarzy i tkanek miękkich i 4) z trójwymiarowej analizy cefalometrycznej, w miejsce planowania operacji na modelach gipsowych (**Olszewski R, Nicolas V, Macq B, Reyhler H.** *ACRO 4D: universal analysis for four-dimensional diagnosis, 3D planning and simulation in orthognathic surgery. In Lemke HU, Vannier MW, Inamura K, Farman AG, Doi K, Reiber JHC (Eds) Computer Assisted Radiology and Surgery CARS 2003; 1235-1240*) wraz z symulacją dynamicznych ruchów stawów skroniowo-żuchwowych (**Olszewski R, Villamil MB, Trevisan DG, Nedel LP, Freitas CM, Reyhler H, Macq B.** *Towards an integrated system for planning and assisting maxillofacial orthognathic surgery. Comput Methods Programs Biomed 2008; 91: 13-21*),
- 3) Stworzeniu nowego typu artykulatora- pasywnego robota, opartego na koncepcjach mechaniki równoległej, w którym można było wykonywać szyny a który był zespolony z wirtualnym planowaniem operacji (*Tran Duy K, Olszewski R, Herman B, Reyhler H, Raucant B. Design of an assistance device for orthognathic surgery- a case study. In Lemke HU, Vannier MW, Inamura K, Farman AG, Doi K, Reiber JHC (Eds) Computer Assisted Radiology and Surgery CARS 2007; 2: 152-115;*), *Tran Duy K, Olszewski R, Herman B, Reyhler H, Raucant B. Planning and transfer in orthognathic surgery. Functional analysis and solution proposal. In Lemke HU, Vannier MW, Inamura K, Farman AG, Doi K, Reiber JHC (Eds) Computer Assisted Radiology and Surgery CARS 2007; 2: 500*),
- 4) Wykonaniu dwóch typów trójwymiarowych modeli przedstawiających anatomię pacjenta: 1) przed-operacyjnie (pozycja początkowa) i 2) po-operacyjnie (pozycja końcowa). Obydwa typy modeli trójwymiarowych były odzwierciedleniem kolejnych etapów planowania wirtualnego. Można było na tych modelach wykonać szablon chirurgiczny. Szablon ten dawał możliwość przeniesienia dwóch ważnych informacji trójwymiarowych z etapu planowania wirtualnego do rzeczywistego pola operacyjnego: 1) trójwymiarowej pozycji linii osteotomii i 2) dokładnych miejsc gdzie powinny znajdować

się otwory na śruby, które przymocowują tytanowe mini-płytki służące do osteosyntezy przeciętych i przemieszczonych fragmentów kości pacjenta.

Modele trójwymiarowe, które zostały wykonane w pozycji końcowej służyły też do wybrania najlepszej formy i rozmiaru mini-płytek tytanowych. W pozycji końcowej modelu chirurg mógł dogiąć mini-płytkę na modelu i w ten sposób oszczędzić czas w sali operacyjnej. Następnie szablon i dogięte mini-płytki mogły być sterylizowane i bezpiecznie użyte w czasie operacji.

5) Dodatkowo projekt HEROL zawierał również badania nad zastosowaniem rozszerzonej rzeczywistości w chirurgii ortognatycznej z użyciem specjalnie do tego celu dostosowanych okularów.

Rezultaty badań zostały opatentowane w 2005 r (**Olszewski R, Tran Duy K, Nicolas V, Raucent B, Reychler H. Method and equipment for the simulations of the maxillofacial surgery and the transfer of the planning to the operating room. European Patent Office n° 05447124.8 (May 2005), EP1726265A1, EP1887955A1, WO2006125652A8**)

Cel osiągnięcia naukowego

W chirurgii szczękowo-twarzowej nowe technologie trójwymiarowe, takie jak planowanie wirtualne wspomagane komputerowo, neuro-nawigacja czy wykorzystanie drukowanych modeli trójwymiarowych budzi szerokie zainteresowanie. W szerokim przekonaniu nowe technologie mają wszystko poprawić od precyzji operacyjnej, poprzez większe bezpieczeństwo dla pacjenta, zmniejszenie powikłań śród- i po-operacyjnych, aż po skrócenie czasu w sali operacyjnej, a przez to obniżenie kosztów. Jednakże żeby dobrze zastosować nowe technologie – trzeba się gruntownie zapoznać z ich oprogramowaniem.

Zastosowanie nowych technologii trójwymiarowych wymaga od chirurga szczękowo-twarzowego zdobycia nowych umiejętności, które znacznie odbiegają od klasycznej ścieżki studiów medycznych i/lub stomatologicznych i późniejszej specjalizacji klinicznej. Potrzebna wiedza do zrozumienia zachodzących procesów znajduje się raczej w polu zainteresowania informatyki, inżynierii, materiałoznawstwa czy w specjalistycznych tematach z obrazowania medycznego (takich jak segmentacja i naprawa plików STL, itp).

Dlatego mocno obciążeni pracą chirurdzy szczękowo-twarzowi szybko rezygnują z samodzielnego użycia nowych i skomplikowanych technologii trójwymiarowych oraz zakupu bardzo drogich oprogramowań (dla przykładu program „Proplan”, firmy Materialize, Leuven, Belgia, do wirtualnego planowania chirurgii ortognatycznej jest niezwykle kosztowny - licencja na każdy rok to koszt około 18.000 euro)

Użycie modeli i szablonów śród-operacyjnych jest także bardzo drogie: powstała próżnię próbują wykorzystać różne firmy, które proponują usługi planowania wirtualnego czy drukowania modeli trójwymiarowych.

Efektem tej sytuacji są:

1) monopol wysokich cen, pomimo bardzo wyraźnego spadku cen drukarek trójwymiarowych od 2010r, wynikającego z wygasania kolejnych patentów w dziedzinie drukowania trójwymiarowego,

2) brak świadomości chirurgów szczękowo-twarzowych że istnieje coraz więcej technologii trójwymiarowych łatwo dostępnych i niepłatnych,

3) stagnacja w nauce na temat zastosowania nowych technologii trójwymiarowych, a w tym także zastój dotyczący zastosowania modeli trójwymiarowych i testowania nowego typu drukarek trójwymiarowych tzw nisko-kosztowych "low-cost",

4) brak dostępu do nowych technologii dla większości kolegów na świecie jak i dla ich pacjentów owocując tak zwaną medycyną „różnych szybkości”, gdzie bogaci pacjenci i zasobne szpitale mają dostęp do najnowszych technologii; a biedni pozostają mocno w tyle:

**Nadrzędnym celem mojej pracy badawczej stało się więc propagowanie i jak najszersze udostępnienie nowych, tanich technologii trójwymiarowych, a w szczególności zastosowanie drukowania trójwymiarowego dla ogółu chirurgów szczękowo-twarzowych i ich pacjentów.**

Złożyły się na to zdobyta wiedza i doświadczenie, zarówno w czasie doktoratu i projektu HEROL, jak również w czasie zagranicznego stażu po doktoracie w USA.

W 2008 roku, dzięki wsparciu Fundacji Saint Luc, na 6 m-cy zostałem wysłany do trzech amerykańskich centrów badawczych:

Harvard Medical School, Surgical Planning Lab (Prof R. Kikinis), Brigham and Women's Hospital, , Boston,

Texas Health Medical Centre, Surgical Planning Lab (Prof J. Xia), Methodist Hospital, Houston,

University of Southern California, Craniofacial virtual reality Lab (Dr J. Mah), Department of Orthodontics, Los Angeles.

Na początku zainteresowałem się udoskonaleniem modeli trójwymiarowych uprzednio wykorzystanych w projekcie HEROL i pochodzących z drukarek trójwymiarowych używających techniki warstwowego natryskiwania spoiwa („3D printing”, Z Corp Burlington , USA) (publikacja nr 1). Takie drukarki trójwymiarowe kosztowały w latach 2010-2012 około 40.000 euro, co na tamten czas wydawało się mieć względnie przystępną cenę dla belgijskiego centrum badawczego. Następną pracą (publikacja nr 2) wskazywała na możliwość wykonania bardzo tanich szablonów do wprowadzania instrumentów chirurgicznych w krytyczne miejsca anatomiczne w rzadkich operacjach czaszkowo-twarzowych.

Mimo oryginalności i istniejącego potencjału modeli trójwymiarowych (publikacje nr 1 i nr 2), opisane zastosowania były wciąż bardzo niszowe i polegały na użyciu nadal kosztownej technologii drukowania trójwymiarowego (warstwowe natryskiwanie spoiwa). To podejście nie dawało mi pełnej możliwości osiągnięcia mojego nadrzędnego celu - to jest umożliwienia szerokiego i bezpiecznego dostępu do modeli trójwymiarowych dla większości chirurgów szczękowo-twarzowych i ich pacjentów. Dlatego więc postanowiłem poszerzyć własną wiedzę poprzez metodologię systematycznego przeglądu literatury, najpierw w szerszym temacie inżynierii chirurgicznej w chirurgii szczękowo-twarzowej (publikacja nr 3), a następnie (publikacja nr 4) w bardziej specjalistycznym już temacie drukowania trójwymiarowego. W pracy tej (publikacja nr 4),

używając ścisłej metodologii systematycznie przeszukałem całą dostępną literaturę pod kątem wszystkich dostępnych typów technik drukowania trójwymiarowego, które kiedykolwiek zostały użyte w chirurgii szczękowo-twarzowej; a także wszystkie badania, publikacje i studia eksperymentalne wraz z poszczególnymi rezultatami na temat pomiaru precyzji modeli wykonanych różnymi technologiami drukowania trójwymiarowego. Publikacja nr 4 została uhonorowana coroczną nagrodą Jeanne et Marie François, przyznawaną dla najlepszej pracy monograficznej z tematu chirurgii stomatologicznej lub medycyny ogólnej w danym roku, przez Belgijską Królewską Akademię Medycyny w 2012 roku ( nagroda pieniężna 3500 euro) (<http://www.amb.be/index.php?id=1443> ). Całość tej monografii została wydana w nowym czasopiśmie open-access Belgijskiej Królewskiej Akademii Medycyny, powstałym w 2012 roku.

Przy okazji publikacji nr 4 natrafiłem na nowy typ drukarki trójwymiarowej która drukowała modele ze sklejonych i sprasowanych kartek papieru formatu A4 (Mcor technologies, Matrix 300, (<http://mcor technologies.com/doctors-in-belgium-use-mcor-paper-based-3d-printing-to-dramatically-reduce-surgical-time/> ). W publikacji nr 4 figura nr 10 ukazuje pierwszy na świecie przykład drukowanego trójwymiarowo modelu z papieru wykonanego według tomografii komputerowej jednego z naszych pacjentów.

Drukarka trójwymiarowa Mcor kosztowała około 26.000 euro. Drukuje ona modele w skali 1:1, co trzeba było potwierdzić empirycznie; modele są bardzo twarde (ze sprasowanego papieru) oraz biodegralne, co jest unikatem wśród drukarek trójwymiarowych. Większość drukarek używa jako podstawowego tworzywa plastiku typu ABS. Aby użyć tej drukarki do celów medycznych niezbędne było naukowe przetestowanie precyzji trójwymiarowych modeli z papieru. Publikacje nr 5 i nr 6 są poświęcone sprawdzeniu precyzji wydruków trójwymiarowych i ich zastosowania w przygotowaniu przedoperacyjnym.

Wspominam tutaj nominalne ceny drukarek, ponieważ wraz z gwałtownym rozwojem technik trójwymiarowych – sytuacja uległa ogromnej zmianie po 2010 roku. Jak w przypadku wielu nowoczesnych technologii pierwsze egzemplarze wchodzące na rynek osiągają bardzo wysokie ceny, a z czasem ceny te spadają do dużo bardziej dostępnego pułapu.

Po powrocie ze Stanów Zjednoczonych, zainspirowany przykładem z Harvard Medical School postanowiłem założyć laboratorium poświęcone wirtualnemu planowaniu operacji i drukowaniu trójwymiarowemu. Udało się to dzięki finansowemu wsparciu mojego promotora i mentora Profesora H. Reychler'a. W 2010 roku powstało Oral and maxillofacial surgery research Lab (OMFS Lab) - pierwsze laboratorium naukowe poświęcone badaniom nad wykorzystaniem technologii trójwymiarowych w chirurgii stomatologicznej i szczękowo-twarzowej w Belgii (<https://www.uclouvain.be/442451.html> ).

W 2012 roku otrzymałem z Funduszu „Fondation saint Luc- Fonds Hervé Reychler” grant wysokości 26.800 euro na projekt zakupu, sprawdzenia precyzji i wdrożenia modeli trójwymiarowych z papieru na cele kliniczne w chirurgii szczękowo-twarzowej.

W 2013 roku otrzymałem kolejny grant wysokości 10.000 euro na współpracę międzynarodową w temacie drukowania modeli trójwymiarowych z papieru. Moje korzenie, znajomość języka polskiego pozwoliły mi na nawiązanie kontaktów z przedstawicielami mojego zawodu z Polski. Poznałem wielu kolegów po fachu, w tym także Profesora Marcina Kozakiewicza z Uniwersytetu Medycznego w Łodzi, który

odniósł się entuzjastycznie do współpracy nad tym tematem. Tak więc powstała publikacja nr 5 i nr 6. Publikacje te są wykonane według ułożonej przeze mnie metodologii oraz według mojego protokołu badawczego, sfinansowane w całości z funduszy przyznanych mi z „Fondation saint Luc- Fonds Hervé Reyhler”, pomiary zostały wykonane w założonym przeze mnie laboratorium ( największy koszt oprócz drukarki stanowił zakup trójwymiarowego ramienia pomiarowego „Microscribe”). Własnoręcznie wykonałem i wydrukowałem wszystkie modele, które zostały użyte w publikacjach nr 5 i nr 6, uczestniczyłem też w redagowaniu wszystkich wersji tekstu artykułu.

Publikacje nr 5 i nr 6 składały się na pracę doktorską Dr P. Szymora. W ramach nawiązanej współpracy byłem zagranicznym ko-promotorem tej pracy. Doktorat Dr P. Szymora, nosił tytuł: „Zastosowanie trójwymiarowych wydruków celulozowych dla potrzeb chirurgii oczodołów”, obrona miała miejsce w czerwcu 2015 roku w Łodzi.

Mimo ekologicznych aspektów tej technologii i ciekawych eksperymentalnych rezultatów na udanych modelach trójwymiarowych, drukarka trójwymiarowa Mcor Matrix 300 spełnia się tylko w badaniach eksperymentalnych. Mcor matrix 300 przedstawia szereg problemów w codziennym użytku, cena jest nadal wygórowana (mimo że papier jest bardzo tani), trzeba długo czekać na wydrukowanie modelu (około 20 godzin dla modelu trójwymiarowego żuchwy dolnej), wydrukowany model trzeba wyczyścić ze zbędnych warstw papieru, co zajmuje kolejne kilka godzin żmudnej pracy, wynik drukowania jest niepewny ponieważ drukarka się często zacina, i trzeba zaczynać drukowanie od początku.

Moje poszukiwania nie skończyły się więc na modelach papierowych. W latach 2012-2014 byłem też promotorem doktoratu Dr C. Ernoult, z Université de Franche Comté, Besançon, Francja na temat: « Etude de faisabilité d'un processus de validation de l'impression 3D « low-cost » en chirurgie maxillo-faciale ». (<http://www.net-village.org/fablab/?p=2434>, obrona doktoratu odbyła się we Wrześniu 2014 roku. Dr Ernoult wykonał repliki kości żuchwy dolnej (wykorzystanej w publikacji nr 5) z różnego typu plastiku na przeróżnych typach drukarek trójwymiarowych bardzo niskokosztowych, do których miał dostęp poprzez inicjatywę Fab-lab we Francji (amerykański koncept otwartych laboratoriów-sklepów które dają do dyspozycji zainteresowanym osobom, możliwość używania szerokiej gamy drukarek trójwymiarowych za minimalną opłatą).

Żuchwa dolna (golden standard) jak i repliki zostały następnie zeskanowane aby otrzymać wirtualne rekonstrukcje trójwymiarowe. Rekonstrukcje trójwymiarowe replik zostały wirtualnie nałożone na rekonstrukcję trójwymiarową żuchwy dolnej dla porównania błędu objętościowego danego typu drukarki trójwymiarowej. Rezultat wykazywał, iż ogólnie drukarki trójwymiarowe niskokosztowe przetestowane w tej pracy wykazywały błąd objętościowy podobny do bardzo drogich przemysłowych drukarek trójwymiarowych. Zainteresowałem się zwłaszcza drukarką trójwymiarową Up 2 Plus (Beijing, China), która przedstawiała duży potencjał z punktu widzenia domniemanej precyzji. Cena tej drukarki wynosiła około 1300 euro.

Drukarka Up 2 plus używa filamentu z plastiku ABS i ma możliwość wykonania modelu żuchwy dolnej w 1 godzinę i 20 minut warstwami po 0.4 mm. Publikacja nr 7 opisuje dokładny proces weryfikacji precyzji modeli żuchwy dolnej wykonanej przez drukarkę trójwymiarową Up 2 plus. Na potrzeby tych badań nabyłem drukarkę Up 2 plus z funduszy własnych laboratorium. Artykuł został w pełni napisany przeze mnie, według



mojego pomysłu, mojego protokołu badawczego. Mój współpracownik Dr Maschio, wykonał pomiary trójwymiarowym ramieniem pomiarowym w moim laboratorium, a Mirali Pandya z Singapore University wykonał analizę statystyczną na swoim uniwersytecie. Publikacja nr 7 wskazuje jednoznacznie iż drukarki nisko-kosztowe są tak samo precyzyjne, jeżeli nie bardziej, jak te standardowe bardzo drogie drukarki trójwymiarowe. Można więc drukować tanie modele trójwymiarowe, które są wystarczająco precyzyjne na potrzeby planowania zabiegów szczękowo-twarzowych.

Poniżej przedstawiam detale każdej z 7 publikacji z cyklu habilitacyjnego:

Publikacja nr 1

**Olszewski R**, Tranduy K, Reychler H. Innovative procedure for computer-assisted genioplasty: three-dimensional cephalometry, rapid-prototyping model and surgical splint. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2010; 39: 721-724 (IF 2010: 1.302).

Jest to pierwszy znany przypadek opisany w literaturze światowej klinicznego użycia metody retro-symulacyjnej w chirurgii ortognatycznej bez użycia neuro-nawigacji sród-operacyjnej. 22 letni pacjent zgłosił się na konsultację do naszej kliniki aby zmienić profil twarzy bez zmiany zgryzu, po zakończonym leczeniu ortodontycznym w innej placówce. Jedyną możliwością w tym wypadku była zaproponowana pacjentowi dwu-poziomowa genioplastyka brody. Trójwymiarowa analiza cefalometryczna pacjenta wykazała gdzie powinna idealnie znajdować się broda w trzech wymiarach przestrzeni względem dolnej części twarzy i strzałkowej płaszczyzny pośrodkowej twarzo-czaszki. Artykuł ten opisywał koncept modelu trójwymiarowego dwu-pozycyjnego, który odzwierciedlał fizycznie to co pokazywał wirtualny plan na ekranie komputera. Model mógł być przesunięty z pozycji początkowej do pozycji końcowej i z powrotem. Modele były wykonane techniką warstwowego natryskiwania spoiwa (Zcorp, Burlington, USA) gdzie model powstaje warstwowo, poprzez sklejanie cząsteczek proszku, i jest w skali 1:1. Model w pozycji końcowej dawał możliwość doginania standardowych mini-płytek tytanowych i oznaczenia na modelu miejsc, gdzie mają być wywiercone otwory na śruby utrzymujące wcześniej przygotowane mini-płytki na kości pacjenta. Następnie model ustawiano w pozycji początkowej. Moment przejścia z pozycji końcowej do pozycji początkowej nosi obecnie nazwę retro-symulacji w literaturze specjalistycznej. Wynalazek, opisany w projekcie HEROL, polegał na fakcie, iż pozycja w przestrzeni otworów na śruby zmienia się z pozycji końcowej do pozycji początkowej. W pozycji początkowej można więc było wykonać szablon chirurgiczny który zawierał dwie informacje trójwymiarowe: 1) pozycje linii osteotomii, i 2) pozycje otworów na śruby w ich pozycji końcowej. Szablon jak i przygotowane mini-płytki zostały następnie wysterylizowane. Linie osteotomii zostały przeniesione na kość poprzez narysowanie linii osteotomii zwykłym grafitowym ołówkiem (również wysterylizowanym) używając szablonu chirurgicznego. W pierwszym etapie operacji zostały wywiercone otwory pod śruby poprzez otwory w szablonie. Następnie linie osteotomii zostały zaznaczone ołówkiem poprzez rowki w szablonie chirurgicznym. Następnie kość została przecięta piłą wzdłuż narysowanych linii osteotomii. Jest to odwrotna procedura niż ta która była dotychczasowo stosowana w światowej chirurgii ortognatycznej. Pozycja otworów na śruby nie została zdefiniowana przy użyciu neuro-nawigacji jak to zostało uprzednio opisane w przypadku dwóch innych wcześniejszych publikacji naukowych (Xia JJ, Gateno J, Teichgraeber JF. A new paradigm for complex midface reconstruction: a reversed approach. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009;67:693-703 i Klug C, Schicho K, Ploder O, Yerit K, Watzinger F, Ewers R, Baumann A, Wagner A. Point-to-point computer-assisted navigation for precise transfer of planned zygoma osteotomies from the

*stereolithographic model into reality. J Oral Maxillofac Surg. 2006 Mar;64(3):550-559*) ale dzięki taniemu szablowni wykonanemu na specyficznych drukowanych modelach trójwymiarowych. Metoda ta jest prostsza i bardziej przystępna, niż neuro-nawigacja. Pomysł z wysterylizowanym ołówkiem w sali operacyjnej został zaczerpnięty z literatury fachowej. Jest to kolejna próba rozniecenia dyskusji na temat kosztów i dostępności technologii w chirurgii szczękowo – twarzowej.

#### Publikacja nr 2

**Olszewski R, Reyhler H.** Three-dimensional surgical guide for frontal-nasal-ethmoid-vomer disjunction in Lefort III osteotomy. *J Craniofac surg* 2011; 22: 1791-1792 (IF: 0.822)

Publikacja nr 2 opisuje kolejne zastosowanie kliniczne modeli trójwymiarowych w postaci wykonania prostego i niedrogo szablona (wykonanego z cementu ortopedycznego, Polimetylmetakrylat, PMMA) dla wprowadzenia osteotomu w rejon szwu czołowo-nosowo-sitowego, w przypadku operacji Lefort III u siedmioletniego pacjenta z syndromem Apert'a. Do przygotowania szablona użyłem drukowanego modelu trójwymiarowego czaszki wykonanej techniką warstwowego natryskiwania spoiwa (Z corp, Burlington, USA). Operacje typu Lefort III w syndromie Apert'a mają na celu przesunięcie do przodu środkowej części twarzy; zakładając obustronne dystraktory, jak miało to miejsce w tym przypadku. Ostatnim gestem chirurga w tego typu zabiegach jest osteotomia wykonywana w rejonie szwu czołowo-nosowo-sitowego. Mimo dużego doświadczenia osoby wykonującej tego typu zabieg, istnieje ryzyko wystąpienia poważnych powikłań (krwawienie, wejście do podstawy czaszki, nie wystarczające złamanie kości podniebienia, itp) zwłaszcza u pacjentów syndromicznych z zaburzeniami anatomicznymi. Aby zmniejszyć ryzyko tego gestu do minimum, osteotom został wprowadzony najpierw w drukowany model trójwymiarowy pacjenta w taki sposób w jaki miał być później wprowadzony w sali operacyjnej. Długość między wejściem w rejonie szwu czołowo-nosowo-sitowego a wyjściem w rejonie lemiesza została zmierzona na modelu trójwymiarowym. Szablon został wykonany z materiału termoplastycznego zawierającego dodatkowo antybiotyk. Materiał ten może być poddawany sterylizacji. Szablon dawał możliwość zablokowania odchylenia osteotomu na boki i w kierunku przednio-tylnym. Głębokość na którą miał wejść osteotom została przeniesiona z modelu trójwymiarowego na osteotom i zaznaczona na osteotomie czarnym wysterylizowanym pisakiem. Szablon był także wykonany na modelu trójwymiarowym i był dopasowany do kości nosowych tak że nie było problemu aby odnaleźć pozycję szablona względem kości nosowych w czasie operacji. W sposób prosty i nie wymagający większych nakładów finansowych udało się rozwiązać jeden z poważniejszych problemów technicznych związanych z operacją Lefort III u pacjentów syndromicznych.

#### Publikacja nr 3

**Olszewski R.** Surgical Engineering in Cranio-Maxillofacial Surgery: A Literature Review. *J Healthcare Eng* 2012; 3: 53-86 (IF 2012:0.66)

Zostałem zaproszony do napisania pracy poglądowej, której tematem jest systematyczny przegląd literatury na temat zastosowań inżynierskich w chirurgii czaszkowo-szczękowo-twarzowej. W tej pracy przejrzałem 1721 artykułów opublikowanych między 1999 r a 2011 r. Po uwzględnieniu kryteriów wykluczających i włączających zostało odrzuconych 1428 artykułów. 292 wyselekcjonowanych artykułów dzieliło się na kategorie: 1) metoda elementu skończonego (18 artykułów), 2) chirurgia wspomaganą

komputerowo (111 artykułów), 3) szybkie warstwowe wykonywanie prototypów i modele trójwymiarowe (41 artykułów), 4) symulatory do operacji chirurgicznych (4 artykuły), 5) szablony chirurgiczne (23 artykuły), 6) nawigacja śród-operacyjna (58 artykułów), 7) rozszerzona rzeczywistość (2 artykuły), 8) wideo rejestracje (1 artykuł), 9) dystraktory (19 artykułów), 10) robotyka (8 artykułów), 11) chirurgia minimalnie inwazyjna (7 artykułów). Rezultaty ukazują ważną rolę którą odgrywa inżynieria chirurgiczna w rozwoju i polepszaniu instrumentów przydatnych do operacji chirurgii szczękowo-twarzowej. Kilka technologii takich jak chirurgia wspomaganą komputerowo, szybkie warstwowe wykonywanie prototypów i modele trójwymiarowe, jak też nawigacja śród-operacyjna są w pełni rozwinięte i dają możliwości wielu zastosowań klinicznych. Natomiast takie technologie jak rozszerzona rzeczywistość, robotyka czy endoskopia w chirurgii szczękowo-twarzowej potrzebują dalszych udoskonaleń. Ta publikacja ukazuje również następną nową propozycję użycia szablonów, otworów na śruby i dogiętej siatki tytanowej w przypadku późnej rekonstrukcji złamania oczodołu i korekty enoftalmii. Zarówno dogięcie siatki tytanowej zastępującej dno oczodołu jak i szablonu wykonanego z termoplastycznej żywicy dentystycznej, zostało wykonane w oparciu o model trójwymiarowy złamanego oczodołu wykonanego techniką warstwowego natryskiwania spoiwa (3DP-3D printing)(Z corp, Burlington, USA). W czasie operacji, w momencie włożenia dogiętej siatki tytanowej na dno oczodołu i pomimo precyzyjnego dogięcia siatki tytanowej na dnie i na dolnej krawędzi oczodołu na modelu trójwymiarowym, istnieje zawsze możliwość ruchu „kołyskowego” z bocznym przesunięciem całej płaszczyzny siatki tytanowej opartej na dolnej krawędzi oczodołu. Zastosowanie szablonu zapobiega tej częstej sytuacji ponieważ przenosi on z modelu trójwymiarowego na pacjenta informacje o pozycji otworów na śruby, które będą blokować siatkę tytanową w jedynej zaplanowanej pozycji. Użycie tego typu szablonu eliminuje ryzyko złego trójwymiarowego ustawienia dogiętej siatki tytanowej w czasie operacji.

Publikacja nr 4

**Olszewski R.** Three-dimensional rapid prototyping models in cranio-maxillofacial surgery: systematic review and new clinical applications. P Belg Roy Acad Med 2013; 2: 43-77 (bez IF)

Publikacja nr 4 jest kontynuacją publikacji nr 3 i wykorzystuje również metodologię systematycznego przeglądu literatury tym razem zawężając się do tematu klinicznego użycia modeli trójwymiarowych w chirurgii szczękowo-twarzowej. Oprócz wykazania i opisanie wcześniejszych własnych prac autorskich w tym temacie, skoncentrowałem się na systematycznym przeglądzie literatury opartej na bazie danych Pubmed. Kryteriami selekcji artykułów były pojęcia-klucze: „medyczne szybkie prototypowanie”, „modele trójwymiarowe”, „stereolitografia”, „laserowe spiekanie proszków”, „modelowanie warstwowe przez wtlaczanie”, „warstwowe natryskiwanie spoiw”, „natryskiwanie kropelkowe”, „szczękowo-twarzowy”, „czaszkowo-twarzowy”, „kranioplastia”, „implantologia”. 96 z 573 znalezionych artykułów zostało zaakceptowanych do systematycznego przeglądu literatury. Cztery najpopularniejsze metody warstwowego powstawania modeli trójwymiarowych były: 1) stereolitografia, 2) laserowe spiekanie proszków, 3) warstwowe natryskiwanie spoiw, i 4) modelowanie warstwowe przez wtlaczanie. Modele trójwymiarowe zostały dotychczasowo użyte w większości działów chirurgii szczękowo-twarzowej takich jak 1) chirurgia rekonstrukcyjna, 2) ortognatyczna, 3) stawów skroniowo-żuchwowych, 4) malformacji i syndromów czaszkowo-twarzowych, 5) kranioplastii i implantologii. Zdecydowana większość artykułów posiadała słaby poziom wiedzy zbudowanej na faktach (evidence-based medicine) (poziom 4, prace kazuistyczne). Problemy związane z: 1) kosztem modeli i drukarek trójwymiarowych

używających powyższych metod drukowania, 2) toksycznością użytych materiałów, oraz 3) niezbędne zaplecze inżyniersko-informatyczne potrzebne do sterowania tymi przemysłowymi drukarkami powodowały iż ta technologia mogła być użyta przez nieliczne uniwersytety i centra badawcze na świecie i że liczba wyprodukowanych modeli często nie przekraczała jednego egzemplarza na dany artykuł. We wnioskach końcowych tej pracy podkreśliłem rolę, którą mogą odegrać w przyszłości drukarki trójwymiarowe nisko-kosztowe („low-cost”), aby modele trójwymiarowe mogły stać się w przyszłości bardziej dostępne dla ogółu chirurgów szczękowo-twarzowych i ich pacjentów. Ostatnia figura nr 10 ukazuje pierwszy na świecie trójwymiarowy model medyczny, zamowiony przeze mnie i wykonany przez trójwymiarową drukarkę Matrix 300 (Mcor technologies, Cork, Irlandia), której technologia oparta jest na warstwowym zlepianiu kartek papieru wraz z ich prasowaniem. Jest to metoda ekologiczna ponieważ używa biodegradalnego materiału-papieru i dająca możliwość wykonania bardzo tanich modeli trójwymiarowych względem, jak na rok 2011, modeli trójwymiarowych z czterech postawowych technologii trójwymiarowego drukowania na rynku.

Publikacja nr 5

**Olszewski R**, Szymor P, Kozakiewicz M. Accuracy of three-dimensional, paper-based models generated using a low-cost, three-dimensional printer. *J Cranio-maxillofac surg* 2014; 42: 1847-1852 (IF 2014: 2.933)

Publikacja nr 5 jest kontynuacją publikacji nr 4 ponieważ chciałem naukowo sprawdzić jak precyzyjnie są wykonane trójwymiarowe modele z papieru i czy istnieje możliwość ich realnego użycia w medycynie a zwłaszcza w chirurgii szczękowo-twarzowej? Porównaliśmy jedną żuchwę dolną (wraz z uzębieniem) z kolekcji anatomii Uniwersytetu Hasselt, Belgia (Prof I. Lambrecht) z jej repliką wykonaną w skali 1:1 przez drukarkę 3D Mcor Matrix 300. Replika została wykonana na podstawie tomografii komputerowej żuchwy dolnej. Dane zostały przesłane do programu Maxilim (Medicim, Mechelen Belgia) celem automatycznej segmentacji kości, i przekształcenia w plik formatu STL. Plik STL był następnie analizowany, naprawiany w programie Netfabb (Netfabb, Parsberg, Niemcy) i przygotowany pod drukowanie trójwymiarowe. Replika była wydrukowana za pomocą drukarki 3D Mcor Matrix 300 techniką warstwowego selektywnego zlepiania kartek papieru wraz z ich prasowaniem. Wybrano 26 punktów anatomicznych na żuchwie i na jej replice z papieru. Położenie punktów (x, y, z) zostało pomierzone 20 razy przez jednego obserwatora trójwymiarowym ramieniem pomiarowym MicroScribe G2X. Dystanse między wszystkimi wybranymi punktami zostały obliczone i porównane. Tylko punkty anatomiczne których „nieprecyzyjność punktowa” była mniejsza niż 30% zostały użyte do następnych analiz. Absolutna średnia różnica dla 2016 wybranych pomiarów wynosiła  $0.36 \pm 0.29$  mm. Średnia relatywna różnica wynosiła  $1.87 \pm 3.14\%$  jednak długość wybranych dystansów miała znaczący wpływ na relatywną różnicę pomiarów. Praca ta wykazała, iż precyzja modeli trójwymiarowych wykonanych z papieru metodą warstwowego selektywnego zlepiania kartek papieru wraz z ich prasowaniem jest na poziomie akceptowalności klinicznej. Średni błąd dla modeli trójwymiarowych z papieru nie był większy niż doniesienia literatury na temat czterech najpopularniejszych metod warstwowego powstawania modeli. Średnia relatywna różnica nie powinna być używana przy porównywaniu badań z zakresu drukowania modeli trójwymiarowych. Zaproponowana metoda „nieprecyzyjności punktowej” może być pomocna w innych badaniach na temat pomiaru precyzji modeli z drukarek trójwymiarowych.

## Publikacja nr 6

Szymor P, Kozakiewicz M, **Olszewski R**. Accuracy of open-source software segmentation and paper-based printed three-dimensional models. *J Craniomaxillofac Surg*. 2016; 44: 202-209 (IF 2016: 2.933)

Publikacja nr 6 jest kontynuacją publikacji nr 5. W tej pracy chcieliśmy sprawdzić precyzyjność modeli trójwymiarowych wydrukowanych na drukarce Mcor 3D Matrix 300, które każde z nich były drukowane w trzech częściach a następnie sklejjane ze sobą (tak aby zminimalizować ryzyko zacięcia maszyny dla skomplikowanych modeli trójwymiarowych wyższych niż 20 mm (około 200 kartek papieru A4), i które były generowane przy użyciu programu o otwartym kodzie źródłowym 3D Slicer 3.6.3 (Surgical Planning Lab, Harvard Medical School, Harvard University, Boston, MA, USA). Do tego celu pomierzylismy precyzyjność wydruków papierowych dla ścian prawego oczodołu jednej czaszki ludzkiej z kolekcji anatomii Université catholique de Louvain (Prof B. Langéle). Tomografia stożkowa czaszki została wykonana według protokołu: pixel 0.25 mm wraz z grubością warstwy rekonstrukcji 0.5mm. Pliki DICOM zostały następnie przesłane do programu z otwartym kodem źródłowym 3D Slicer 3.6.3 (Surgical Planning Lab, Harvard Medical School, Harvard University, Boston, MA, USA) aby można było wykonać segmentację kości czaszki i prawego oczodołu. Wygenerowany plik STL był importowany do programu Netfabb studio professional 4.9.5 aby przygotować ostateczną wersję pliku do drukowania trójwymiarowego. Trzy różne wirtualne modele trójwymiarowe zostały przygotowane z tego samego pliku STL. Każdy z modeli został wirtualnie pocięty na trzy części około 20 mm grubości. Dla każdego z modeli cięcia były wykonane według tego samego przekroju: strzałkowego, lub wieńcowego lub osiowego. Każda część każdego z trzech modeli (strzałkowego, wieńcowego i osiowego) została wydrukowana na drukarce Mcor 3D Matrix 300 za pomocą techniki selektywnego zlepiania kartek papieru formatu A4 wraz z ich prasowaniem. Każda część modelu trójwymiarowego (strzałkowego, wieńcowego i osiowego) została drukowana tak iż plan według którego został pocięty cały model (strzałkowy, wieńcowy i osiowy) był równoległy do planu według którego powstawała drukowana część modelu trójwymiarowego (strzałkowego, wieńcowego i osiowego). Każda część modelu trójwymiarowego (strzałkowego, wieńcowego i osiowego) miała grubość około 20mm (200 kartek papieru o grubości 0.1mm). Następnie sklejjano trzy części każdego z modeli trójwymiarowych (strzałkowego, wieńcowego i osiowego) tak aby osiągnąć trzy skończone modele trójwymiarowe prawego oczodołu. Następnie czaszka jak i trzy końcowe modele trójwymiarowe zostały zeskanowane trójwymiarowym skanerem optycznym (Breuckmann smart SCAN) i pliki STL tych skanowań zostały przesłane do dalszej analizy. Porównanie ścian oczodołów czaszki z trzema końcowymi modelami trójwymiarowymi tego samego oczodołu zostało wykonane poprzez nałożenie plików STL czaszki z plikami STL kolejno trzech końcowych modeli trójwymiarowych używając programu GOM Inspect 7.5SR1. Odchylenia pomierzone między analizowanymi końcowymi modelami trójwymiarowymi zostały przedstawione za pomocą kolorowych map i pokrytych siatką punktów udostępnionych przez program GOM. Średnio  $804.43 \pm 19.39$  punktów zostało uzyskanych dla każdego pomiaru. Różnice zmierzone w każdym punkcie zostały eksportowane w pliku .csv. Analiza statystyczna została wykonana przez program Statistica 10, ze stopniem istotności  $p < 0.05$ . Między 94% a 99% pomierzonych bezwzględnych odchyień znajdowało się poniżej 1mm. Średnie bezwzględne odchylenie między czaszką a wirtualnym końcowym modelem wynosiło  $0.15 \pm 0.11$ mm, między wirtualnym końcowym modelem a końcowym wydrukowanym modelem trójwymiarowym wynosiło  $0.15 \pm 0.12$ mm, a między czaszką a końcowym wydrukowanym modelem

trójwymiarowym wynosiło  $0.24 \pm 0.21\text{mm}$ . Użycie skanera optycznego jak i specjalistycznego oprogramowania dla pomierzenia precyzji modeli trójwymiarowych jest wskazane ponieważ daje nie tylko możliwość pomiarów dwu-wymiarowych między wybranymi punktami anatomicznymi lecz także pozwala na wykonanie porównania całych płaszczyzn. Segmentacja manualna ścian oczodołu programem 3D Slicer jest precyzyjna i może być stosowana do trójwymiarowej rekonstrukcji oczodołów. Precyzja modeli trójwymiarowych z drukarki Mcor Matrix 300 jest porównywalna z innymi modelami trójwymiarowymi wykonanymi najbardziej popularnymi technologiami druku trójwymiarowego. Trójwymiarowych modeli papierowych można używać do celów klinicznych. Rozkładanie modeli trójwymiarowych na pomniejsze części i ich późniejsze sklejenie wydaje się być dosyć precyzyjne ale wskazane jest wykonywać małe i solidne modele trójwymiarowe aby pomniejszyć ryzyko przesunięcia między poszczególnymi częściami większego modelu w momencie ich sklejenia w całość.

Publikacja nr 7

Maschio F, Pandya M, **Olszewski R**. Experimental validation of plastic mandible models produced by a "low-cost" 3-Dimensional Fused Deposition modeling printer. Med Sci Monit 2016; 22:943-957 (On line 22.03.2016) DOI: 10.12659/MSM.895656 (IF 2016: 1.43)

Celem tej pracy było zbadanie precyzji trójwymiarowych plastikowych modeli z ABS'u wydrukowanych techniką modelowania warstwowego przez włączanie. Materiał/Metody: wykonano tomografie stożkowa (Accuitomo) dwóch ludzkich żuchw dolnych wraz z uzębieniem. Rekonstrukcja trójwymiarowa została wykonana w programie Maxilim, eksportowana w pliku STL do programu Netfabb gdzie plik STL był naprawiany. Następnie dane zostały użyte do trójwymiarowego drukowania nisko-kosztową drukarką Up 2 plus® techniką modelowania warstwowego przez włączanie. Dwóch niezależnych obserwatorów zidentyfikowało 26 anatomicznych punktów na 4 żuchwach dolnych (2 żuchwy ludzkie i 2 repliki z plastiku) używając trójwymiarowego ramienia pomiarowego. Każdy obserwator powtórzył identyfikację punktów 20 razy. Porównanie między żuchwą ludzką a plastikową repliką zostało wykonane w oparciu o 13 odległości: 8 odległości mniejszych niż 12mm i 5 odległości większych niż 12mm. Rezultaty: Średnia bezwzględna różnica pomiarów wynosiła 0.37mm a średni przestrzenny błąd wynosił 3.76%. Średni przestrzenny błąd spadł do 0.93% używając tylko odległości większych niż 12mm. Wnioski: plastikowe modele wydrukowane nisko-kosztową trójwymiarową drukarką UPplus2® posiadają precyzję przestrzenną porównywalną do standardowych technologii drukowania trójwymiarowego. Eksperymentalnie zweryfikowane nisko-kosztowe drukarki trójwymiarowe mogą prowadzić do większej dostępności technologii szybkiego prototypowania w medycynie.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.

Pozostałe moje publikacje naukowe można podzielić na trzy równoległe cykle:

- Cykl prac o trójwymiarowej analizie cefalometrycznej, który został zapoczątkowany praca doktorską
- Cykl prac o chirurgii ortognatycznej
- Cykl prac o obrazowaniu trójwymiarowym i zastosowaniach klinicznych

## 5.1 Cykl prac o trójwymiarowej analizie cefalometrycznej, który został zapoczątkowany pracą doktorską

Początkowy pomysł i potrzeba stworzenia trójwymiarowej analizy cefalometrycznej wyłonił się w czasie tworzenia projektu HEROL, w latach 1998-2002. W rzeczywistości projekt HEROL miał wiele wersji. Końcowa wersja projektu HEROL zawierała pomysł podmienienia kolejnych elementów klasycznego planowania chirurgii ortognatycznej:

- 1) analiza cefalometryczna dwu-wymiarowa
- 2) artykulator,
- 3) modele gipsowe,
- 4) szyny.

Innowacja w projekcie polegała na wdrożeniu nowych rozwiązań trójwymiarowych:

- 1) analiza cefalometryczna trójwymiarowa,
- 2) artykulator-robot,
- 3) planowanie wirtualne wspomagane komputerowo,
- 4) drukowane modele trójwymiarowe wraz z możliwością przygotowania szablonów do osteotomii i do otworów na śruby i dogiętych przed-operacyjnie tytanowych mini-płytek.

Trójwymiarowa analiza cefalometryczna powstała w oparciu o dwu-wymiarową analizę cefalometryczną Profesora Delaire'a, która była używana do planowania chirurgii ortognatycznej w naszej katedrze od około 20 lat. Analizy cefalometryczne dwu-wymiarowe przedstawiają szereg problemów i błędów zarówno wynikających z samej techniki co z trudności w interpretacji teleradiografii z profilu. W ortodoncji zaczyna się mówić o zarzuceniu tego typu badań do diagnozowania pacjentów (Durão AR, Pittayapat P, Rockenbach MI, **Olszewski R**, Ng S, Ferreira AP, Jacobs R. Validity of 2D lateral cephalometry in orthodontics: a systematic review. *Prog Orthod* 2013; 14: 31. doi: 10.1186/2196-1042-14-31. Review. (IF 2013: 0.00)). Podwaliny trójwymiarowej analizy cefalometrycznej opisałem w artykułach *princeps*: 1) **Olszewski R**, Cosnard G, Macq B, Mahy P, Reychler H. 3D CT based cephalometric analysis: 3D cephalometric concept and software. *Neuroradiology* 2006; 48: 853-862 (IF 2006: 1.625) i 2) **Olszewski R**, Zech F, Cosnard G, Nicolas V, Macq B, Reychler H. 3D CT cephalometric craniofacial analysis: Experimental validation in vitro. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2007; 36: 828-833 (IF 2007:1.225). Przejście z drugiego do trzeciego wymiaru spowodowało iż zacząłem używać tomografii komputerowej i rekonstrukcji trójwymiarowych w miejsce teleradiografii z profilu. Ta modyfikacja powodowała 1) iż trzeba było znaleźć optymalny protokół radiologiczny dla pacjenta tak aby z jednej strony przestrzegać zasadę ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) a z drugiej strony otrzymać rekonstrukcję trójwymiarową wystarczającej jakości aby móc rozpoznać znaczące detale anatomiczne i nanieść na nią trójwymiarowe punkty cefalometryczne. Praca nad przejściem z protokołu klasycznej tomografii komputerowej do tomografii komputerowej nisko-dawkowej jednocześnie nie obniżając precyzji identyfikacji punktów cefalometrycznych została opisana w pracy **Olszewski R**, Reychler H, Cosnard G, Denis JM, Vynckier S, Zech F. Accuracy of three-dimensional (3D) craniofacial cephalometric landmarks on a low-dose 3D computed tomograph. *Dentomaxillofac Radiol* 2008; 37: 261-267 (IF 2008: 1.173). Następnie dowiedziałem, iż istnieje możliwość użycia tomografii stożkowej w miejsce tomografii komputerowej nisko-dawkowej bez znaczącego obniżenia poziomu precyzji identyfikacji trójwymiarowych punktów cefalometrycznych: **Olszewski R**, Frison L, Wisniewski M, Denis JM, Vynckier S, Zech F, Reychler H. Reproducibility of three-dimensional cephalometric landmarks in cone-beam and low-dose computed tomography. *Clin Oral Invest* 2013; 17: 285-292 (IF 2013: 2.285). Przejście z drugiego do trzeciego wymiaru było też wyzwaniem w sensie nowego zdefiniowania punktów cefalometrycznych nieużywanych uprzednio w klasycznej

cefalometrii dwu-wymiarowej. Metodologia tego zagadnienia jak i nowe zasady zostały opisane przeze mnie w artykule: **Olszewski R**, Tanésy O, Cosnard G, Zech F, Reyhler H. Reproducibility of osseous reference landmarks used for computed tomography based three dimensional cephalometric analyses. *J Cranio-Maxillofac Surg* 2010; 38: 214-221 (IF 2010: 1.54).

Doktorat z nauk medycznych obroniony na Université catholique de Louvain (**Olszewski R**. Three-dimensional computed tomography based craniofacial cephalometric analysis: concept, software, and experimental validations. PhD Thesis, 2008, UCL (monografia wydana własnym kosztem, 100 egzemplarzy)) przedstawiał, według wymogów komisji doktoranckiej naszej uczelni, cztery jednotematyczne prace naukowe, gdzie doktorant musiał być pierwszym autorem i które musiały być zaakceptowane przed obroną doktoratu w czasopismach z tzw "listy filadelfijskiej" z impact factorem, który musiał przekraczać 5 punktów dla całego doktoratu: 1) **Olszewski R**, Tran Duy K, Raucent B, Hebda A, Reyhler H. Communicating a clinical problem to the engineers: towards a common methodology. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2008; 37: 269-274 (IF 2008: 1.487), 2) **Olszewski R**, Cosnard G, Macq B, Mahy P, Reyhler H. 3D CT based cephalometric analysis: 3D cephalometric concept and software. *Neuroradiology* 2006; 48: 853-862 (IF 2006: 1.625), 3) **Olszewski R**, Zech F, Cosnard G, Nicolas V, Macq B, Reyhler H. 3D CT cephalometric craniofacial analysis: Experimental validation in vitro. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2007; 36: 828-833 (IF 2007:1.225), i 4) **Olszewski R**, Reyhler H, Cosnard G, Denis JM, Vynckier S, Zech F. Accuracy of three-dimensional (3D) craniofacial cephalometric landmarks on a low-dose 3D computed tomograph. *Dentomaxillofac Radiol* 2008; 37: 261-267 (IF 2008: 1.173). Sumaryczny impact factor doktoratu to  $1.487 + 1.625 + 1.225 + 1.173 = 5.51$ .

Po doktoracie nadal pracuję nad tematem trójwymiarowej analizy cefalometrycznej poprzez współpracę z innymi naukowcami i z czasem uniezależniam się od ścisłej transkrypcji analizy Delaire'a z drugiego do trzeciego wymiaru. Tak więc zaproponowałem trójwymiarową analizę cefalometryczną dla oczodołów, która została użyta w analizie zdeformowanych czaszek z Peru, znajdujących się obecnie w kolekcji Muzeum Człowieka- Musée de l'Homme, w Paryżu (Khonsari RH, Friess M, Nysjö J, Odri G, Malmberg F, Nyström I, Messo E, Hirsch JM, Cabanis EA, Kunzelmann KH, Salagnac JM, Corre P, Ohazama A, Sharpe PT, Charlier P, **Olszewski R**. Shape and volume of craniofacial cavities in intentional skull deformations. *Am J Phys Anthropol* 2013; 151: 110-119 (IF 2013: 2.514)

Byłem też ko-promotorem doktoratu P. Pittayapat, obronionym na Katholieke Universiteit Leuven, Belgia, w 2014 roku, pod tytułem: „The use of 2D and 3D imaging modalities and its influence on diagnosis and treatment planning in orthodontics” (Promotor Prof R. Jacobs, ko-promotor Prof G. Willems, ko-promotor Prof R. Olszewski). Między innymi doktorat ten polegał na rozwinięciu trójwymiarowych analiz cefalometrycznych nowego typu (Pittayapat P, Jacobs R, Bornstein MM, Odri GA, Kwon MS, Lambrechts I, Willems G, Politis C, **Olszewski R**. A new mandible-specific landmark reference system for three-dimensional cephalometry using cone-beam computed tomography. *Eur J Orthod* 2015 Dec 17. pii: cjv088. [Epub ahead of print] (IF 2015: 1.48)) jak i pomiarów precyzji dla nie ewidentnych punktów cefalometrycznych w trzecim wymiarze takich jak punkt „sella” (Pittayapat P, Jacobs R, Odri GA, Vasconcelos Kde F, Willems G, **Olszewski R**. Reproducibility of the sella turcica landmark in three dimensions using a sella turcica-specific reference system. *Imaging Sci Dent* 2015; 45: 15-22 (IF 2015: 0.00)).

Chciałem też dowiedzieć się poprzez systematyczny przegląd literatury (Smektala T, Jedrzejewski M, Szyndel J, Sporniak-Tutak K, **Olszewski R**. Experimental and clinical assessment of three-dimensional cephalometry: systematic review. *J Cranio-maxillofac surg* 2014; 42: 1795-1801 (IF 2014: 2.933)) jakie aspekty trójwymiarowej analizy



cefalometrycznej zostały już wystarczająco pogłębione a jakie aspekty muszą być jeszcze dopracowane tak aby dalej kontynuować cykl tych badań w dobrym kierunku.

## 5.2 Cykl prac o chirurgii ortognatycznej

Ten cykl wpisuje się w prace w temacie projektu HEROL. Po pierwsze są to wczesne artykuły opisujące popełniane błędy w czasie chirurgii na modelach gipsowych, która była wówczas jedynym narzędziem do planowania operacji ortognatycznych (**Olszewski R**, Reyhler H. Les limites de la chirurgie des modèles: implications théoriques et pratiques. Rev Fr Stomatol Chir Maxillofac 2004; 105: 165-169 (IF 2004: 0.00). Początkowe rezultaty projektu HEROL zostały zawarte w monografii, za którą dostałem moją pierwszą nagrodę w Belgijskiej Królewskiej Akademii Medycyny (**Olszewski R**. Chirurgie maxillo-faciale du futur. L'innovation interdisciplinaire au service de la médecine. Bull Mem Acad Roy Med Belg 2004; 159: 376-383 (IF 2004: 0.00). Całość pomysłów została opisana we wniosku patentowym złożonym przez nasz uniwersytet w imieniu wynalazców w 2005 roku (**Olszewski R**, Tran Duy K, Nicolas V, Raucet B, Reyhler H. Method and equipment for the simulations of the maxillofacial surgery and the transfer of the planning to the operating room. European Patent Office n° 05447124.8, Maj 2005). Ścisła inter-dyscyplinarna współpraca z inżynierami jak i tok myśleniowy który nas doprowadził do praktycznych rozwiązań w projekcie HEROL został opisany z punktu widzenia inżynierskiego w artykule Tran Duy K, **Olszewski R**, Herman B, Reyhler H, Raucet B. Design of an assistance device for orthognathic surgery - a case study. Int J Comput Assist Radiol Surg 2007; 2: 152-154. (IF: 0.00). Możliwość połączenia projektu HEROL z rozszerzoną rzeczywistością i dynamiką żuchwy dolnej została opisana w **Olszewski R**, Villamil MB, Trevisan DG, Nedel LP, Freitas CM, Reyhler H, Macq B. Towards an integrated system for planning and assisting maxillofacial orthognathic surgery. Comput Methods Programs Biomed 2008; 91: 13-21 (IF 2008: 1.22). Codzienna praca z inżynierami dała możliwość głębszej refleksji nad komunikacją inter-dyscyplinarną i nad różnorodnymi celami przyświecającymi inżynierom i lekarzom w czasie współpracy naukowej (**Olszewski R**, Tran Duy K, Raucet B, Hebda A, Reyhler H. Communicating a clinical problem to the engineers: towards a common methodology. Int J Oral Maxillofac Surg 2008; 37: 269-274 (IF 2008: 1.487)).

Dzięki mojej współpracy międzynarodowej z ośrodkiem w Szczecinie powstał także systematyczny przegląd literatury o komplikacjach w chirurgii ortognatycznej (Jędrzejewski M, Smektała T, Sporniak-Tutak K, **Olszewski R**. Preoperative, intraoperative, and postoperative complications in orthognathic surgery: a systematic review. Clin Oral Investig 2015; 19: 969-977 (IF 2015: 2.35)); Celem tego artykułu było ukazanie nadal istniejących zagrożeń w praktyce chirurgii ortognatycznej która wydaje się być procedurą standardową. Systematyczne przeglądy literatury pozwalają na odkrycie jeszcze słabo zbadanych aspektów danej kwestii i na możliwość budowania nowych rozwiązań.

## 5.3 Cykl prac o obrazowaniu trójwymiarowym i zastosowaniach klinicznych

Trojwymiarowy obraz radiologiczny (rezonans magnetyczny, tomografia komputerowa, tomografia stożkowa, itp) można przeglądać na dwa sposoby:

1) używając trzech podstawowych płaszczyzn (strzałkowej, wieńcowej i osiowej), nosi to nazwę „2,5 wymiaru”

lub

2) używając rekonstrukcji trójwymiarowej całej bryły (np czaszki).

W jedynej pracy kazuistycznej którą opublikowałem (Reychler H, **Olszewski R**. Intracerebral penetration of a zygomatic dental implant and consequent therapeutic dilemmas: case report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2010; 25: 416-418 (IF 2010: 1.681) użyliśmy techniki „2,5 wymiaru” aby ukazać jatrogenne wejście implantu do podstawy czaszki i opisać możliwe przyczyny takiego powikłania jak i rozwiązania a raczej brak rozwiązań w tym szczególnym bardzo niebezpiecznym przypadku.

Drugi typ obrazowania, to jest trójwymiarową rekonstrukcję, użyliśmy dla potrzeb wirtualnego komputerowego planowania wstawiania implantów w przegrody zatok szczękowych jako alternatywny sposób względem podnoszenia dna zatoki („sinus lift”) w leczeniu atrofii kości żuchwy górnej (Dragan E, Guillaume OA, Haba D, **Olszewski R**. Three-Dimensional Evaluation of Implant Positioning in the Maxillary Sinus Septum: A Retrospective Study. *Med Sci Monit* 2015; 21: 2666-2671 (IF 2015: 1.43)).

Z trójwymiarowego obrazu radiologicznego można też wydzielić pewną część informacji trójwymiarowej za pomocą segmentacji obrazu. Segmentacja może być ręczna-manualna i najbardziej pracochłonna („gold standard”), pół-automatyczna czy też automatyczna-najszybsza. Ręczną segmentację zastosowaliśmy aby ukazać formę i obliczyć objętość zębów (korony i korzeni) pochodzących z tomografii stożkowej (Liu Y, **Olszewski R**, Alexandroni ES, Enciso R, Xu T, Mah JK. The validation of in vivo tooth volume determinations from cone-beam computer tomography. *Angle Orthod* 2010; 80: 160-166 (IF 2010: 1.00)). Ta praca, wykonana w czasie mojego pobytu w Stanach Zjednoczonych, na University of Southern California, dzięki Fondation saint Luc, jest rozpoznawana w literaturze jako artykuł *princeps* segmentacji zębów z tomografii stożkowej. Pierwszym celem tej pracy było obliczenie błędu w pomiarach objętościowych zębów uzyskanych za pomocą tomografii stożkowej. Objętość była obliczana poprzez segmentację zębów na tomografii stożkowej przed ekstrakcją. Następnie objętość usuniętych zębów była mierzona według prawa Archimedesesa (wyporność wody). Drugim celem było wykonanie precyzyjnej segmentacji i rekonstrukcji indywidualnych zębów która mogła posłużyć potem do badań klinicznych w ortodoncji, protetyce czy w chirurgii stomatologicznej (Khalil W, EzEldeen M, Van De Castele E, Shaheen E, Sun Y, Shahbazian M, **Olszewski R**, Politis C, Jacobs R. Validation of cone beam computed tomography-based tooth printing using different three-dimensional printing technologies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2016; 121: 307-315 (IF 2016: 1.46)).

Segmentacji ręcznej zastosowałem też w trójwymiarowej rekonstrukcji mięśni twarzy używając rezonansu magnetycznego izotropowego o mocy 3 Tesla (**Olszewski R**, Liu Y, Duprez T, Xu TM, Reychler H. Three-dimensional appearance of the lips muscles with three-dimensional isotropic MRI: in vivo study. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2009; 4: 349-352 (IF 2009: 0.00)). Jest to pierwszy raz w literaturze gdzie wykazano iż segmentacja i trójwymiarowa rekonstrukcja mięśni twarzy jest możliwa do osiągnięcia używając rezonansu magnetycznego. Wykonałem to żmudne zadanie ponieważ miałem kilku pacjentów zawodowo grających na trąbce i mających naderwany mięsień *orbicularis oris*. Tym pacjentom nie chciał nikt pomóc ponieważ, do czasu tego artykułu, nikt nie wiedział w jaki sposób można by radiologicznie zoobrazować i zdiagnozować ich patologię.

Ostatnio, użyliśmy też pół-automatycznej segmentacji zespolonej z systemem haptycznym aby pomierzyć objętość oczodołów i gałek ocznych przed- i po operacji typu Lefort III i dystrykcji średniego piętra twarzy (Smektala T, Nysjö J, Thor A, Homik A, Sporniak-Tutak K, Safranow K, Dowgierd K, **Olszewski R**. Three-Dimensional Eyeball and Orbit Volume Modification After LeFort III Midface Distraction. *J Craniofac Surg* 2015; 26: 1652-1655 (IF 2015: 0.678)). Odkryliśmy i naukowo sprawdziliśmy iż w tego

typu operacjach zachodzą znaczące zmiany formy gałki ocznej co nie zostało dotychczas opisane w literaturze specjalistycznej.

Tak więc obrazowanie trójwymiarowe może być bardzo przydatne klinicznie jeżeli chodzi o bardzo specyficzne i niszowe tematy i kiedy cel badawczy jest doprecyzowany.

Łączna punktacja impact factor całego dorobku naukowego wynosi:  
 $35,977+1,707+1.444=39,128$

Współczynnik Hirscha: **9**

Liczba cytowań według Web of science wynosi: **232 cytowania** (05.04.2016) (patrz załącznik nr 6A i 6B, analiza bibliograficzna przygotowana przez Bibliotekę Medyczną Uniwersytetu Jagiellońskiego, Collegium Medicum)

Raphael Olszewski *plm*  
12/4/2016