

Autoreferat

1. Imię i nazwisko.

Klaudia Proniewska

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

2014 Tytuł **dr nauk technicznych w dyscyplinie Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna**, nadany uchwałą Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie z dnia 18 grudnia 2014 r. na podstawie przedstawionej rozprawy doktorskiej: *„Identyfikacja parametrów życia człowieka na podstawie sygnałów kardiologicznych i oddechowych”*

2009 Tytuł **mgr inż. fizyki, specjalizacja: fizyk medyczny**, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

2009 Dyplom, Studium Przygotowania Pedagogicznego, AGH, Wydział Humanistyczny

2008 Dyplom, Inspektor ochrony radiologicznej typu IOR-0; IOR-1, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

1.05.2022 - Zastępca Dyrektora Centrum Medycyny Cyfrowej i Robotyki
obecnie Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum, Kraków

01.03.2016 - Adiunkt, pracownik naukowo-dydaktyczny,
obecnie Zakład Bioinformatyki i Telemedycyny, Wydział Lekarski, Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Kraków

01.10.2014 - Asystent z tytułem doktora, pracownik dydaktyczno-naukowy,
29.02.2016 Katedra Biofizyki, Katedra Fizjologii, Wydział Lekarski, Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Kraków

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

Moim osiągnięciem naukowym jako podstawę postępowania habilitacyjnego jest cykl powiązanych tematycznie artykułów (prac oryginalnych) pod tytułem:

Technologie immersyjne i funkcjonalne obrazowanie w kardiologii

Wprowadzenie

Serce jest najważniejszym mięśniem w ciele człowieka. Poprzez skurcz dostarcza wszystkim narządom składników odżywczych i tlenu. Mechanicznemu skurczowi towarzyszy aktywacja elektryczna, która wspiera optymalną funkcję mechaniczną [1]. Jako, że każdy narząd w ludzkim organizmie potrzebuje dopływu krwi, mnóstwo jest mechanizmów, przez które te narządy wpływają na działanie serca, zarówno w aspekcie elektrycznym, jak i mechanicznym. Może to być zarówno przez nerwy, jak i hormony. Ze starzejącą się populacją ludzką, serce coraz częściej osiąga swój „koniec okresu użytkowania”, co sprawia, że choroby serca wciąż są jedną z najważniejszych przyczyn zgonów [2]. Aby zoptymalizować funkcjonowanie starzejącego się serca, musimy nie tylko patrzeć na zmiany tylko mechaniczne, czy tylko elektryczne, ale musimy modelować serce w jego funkcjonalnej roli w ciele człowieka, zarówno mechanicznej, jak i elektrycznej [3]. Obrazowanie funkcjonalne odnosi się do szeregu nieinwazyjnych technik, które pozwalają na wizualizację i pomiar funkcji fizjologicznych w ciele. Obrazowanie funkcjonalne w kardiologii odnosi się do zestawu technik diagnostycznych, które koncentrują się na ocenie funkcji i fizjologii serca, a nie tylko na jego strukturze [4]. Obrazowanie funkcjonalne serca oferuje systematyczne i interaktywne połączenie fizjologii i anatomii pacjenta [5]. Ta technologia jest szczególnie przydatna dla lekarzy pracujących w zespołach wielodyscyplinarnych, ponieważ pozwala im łączyć różne rodzaje danych medycznych [6], aby wizualizować, analizować, a nawet symulować różne stany medyczne i różne opcje leczenia. Obejmuje to modele anatomiczne 3D w wysokiej rozdzielczości do szczegółowych widoków anatomii pacjenta i możliwości symulacji do testowania różnych opcji leczenia [7]. Wielomodalna integracja danych anatomicznych z danymi elektrycznymi, mechanicznymi, hormonalnymi, medycznymi w kardiologii odnosi się do użycia wielu technik obrazowania, elektrokardiogramu (EKG), dźwięków (jak chrapanie w nocy czy otwieranie i zamykanie zastawek serca), mechaniki pochodzącej z MRI (obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego), CT (tomografia komputerowa) lub echokardiografia, w celu uzyskania

wszechstronnych informacji diagnostycznych na temat serca i układu krążenia [8]. To podejście pozwala na dokładniejszą diagnozę, planowanie leczenia i monitorowanie stanów serca.

Kombinacja różnych danych medycznych wymaga współpracy zespołowej, z udziałem specjalistów w dziedzinie określonego rodzaju obrazowania, przetwarzania sygnałów elektrycznych oraz zrozumienia przebiegów elektrokardiogramów, efektów i skutków ubocznych leków itp. [9]. To sprawia, że lekarz coraz bardziej polega na innych ekspertach dostarczających właściwe i dokładne dane. To właśnie w tym miejscu funkcjonalne modele serca mogą odgrywać ważną rolę, łącząc dane zebrane z różnych urządzeń medycznych w określonym czasie. Łączenie różnych modalności danych dotyczących anatomii serca wprowadza również kolejny problem, jak prawidłowo przedstawić serce 3D z funkcjonalnymi informacjami na ekranie 2D.

W moim laboratorium technologii immersyjnych na Wydziale Lekarskim Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum możemy wizualizować struktury anatomiczne w trzech wymiarach[10]. Kiedy patrzymy na obrazy z tomografii komputerowej (TK), rezonansu magnetycznego (MRI) czy echokardiografii, musimy sobie wyobrazić perspektywę 3D. Jest to trudne i wymaga wyobraźni przestrzennej, którą nie każdy ma. Model trójwymiarowy eliminuje tę dwuwymiarową płaszczyznę i nadaje jej kontekst, umieszcza ją w perspektywie 3D. Dzięki technologiom immersyjnym możemy spojrzeć na model trójwymiarowy. Użytkownicy mogą interaktywnie korzystać z tych modeli 3D za pomocą specjalistycznego sprzętu, takiego jak okulary technologii immersyjnej (HMD - Head-Mounted Displays), co pozwala im na oglądanie, manipulowanie i eksplorowanie modeli, jakby były obecne w rzeczywistym świecie[11]. Modele 3D zdają się "unosić" w powietrzu w polu widzenia użytkownika, nałożone na rzeczywiste otoczenie. Te unoszące się modele są renderowane w czasie rzeczywistym i można z nimi interaktywnie korzystać za pomocą gestów lub kontrolerek, zapewniając płynne połączenie wirtualnej i fizycznej rzeczywistości [12]. Technologie immersyjne są idealne dla medycyny spersonalizowanej, gdzie możemy połączyć dane źródłowe pacjenta (np. w formacie DICOM) w celu przygotowania modeli 3D z informacjami fizjologicznymi [13]. Możemy również wizualizować dane medyczne pacjenta w czasie i wykorzystywać je w procesie przygotowania do zabiegów chirurgicznych, a także używać ich podczas procedury w sali operacyjnej. Aby stworzyć trójwymiarowe środowisko dla sali operacyjnej, potrzebujemy interdyscyplinarnego zespołu, który umożliwi przejście od "procesu pozyskiwania danych" do "punktu widzenia lekarza" [14]. Przyszłość wizualizacji 3D wzmocnionej przez technologię immersyjną rozwija się na kilku płaszczyznach: a) w edukacji studentów medycyny i lekarzy, ucząc anatomii ludzkiej w interaktywny sposób [12]; b) zastosowanie jej w kontekście planowania przedoperacyjnego i klinicznej dyskusji nad strategią procedury w 3D [15]; c) i w końcu możemy również zastosować technologię immersyjną u pacjentów, aby pokazać im model ich ciała i wyjaśnić chorobę lub ścieżkę leczenia [16].

Dzisiejsza jakość informacji medycznych otwiera nowe drzwi dla zaawansowanych technologii, takich jak technologie immersyjne. Kluczem jest nie tylko właściwy wybór tych technologii, ale także ich efektywne wykorzystanie. Stawiamy tu na umiejętność zintegrowania nowoczesnych rozwiązań technologicznych z realnymi potrzebami, ścieżką kliniczną i dobrem pacjenta.

Moje badania koncentrują się głównie na tym, jak różne rodzaje danych medycznych mogą być użyte do poprawy jakości wizualizacji i interpretacji tych danych w perspektywie 3D przy wykorzystaniu technologii immersyjnych.

Technologie immersyjne

Technologie immersyjne odnoszą się do rozwiązań sprzętowych i programowych, które tworzą symulowane środowisko 3D w połączeniu z otaczającym światem rzeczywistym, pozwalając użytkownikom na pełne zaangażowanie się lub "zanurzenie" w doświadczeniu [17]. W kontekście badań medycznych i zastosowań, te technologie immersyjne mogą być używane do różnych celów, takich jak szkolenie, diagnostyka, leczenie czy angażowanie pacjentów. Extended Reality (XR) to ogólny termin, który obejmuje różne technologie immersyjne, w tym Wirtualną Rzeczywistość (VR, Virtual Reality), Rzeczywistość Rozszerzoną (AR, Augmented Reality) i Rzeczywistość Mieszaną (MR, Mixed Reality) [18]. Wirtualna Rzeczywistość (VR) zanurza użytkowników w całkowicie wirtualnym środowisku, izolując ich od świata rzeczywistego [19]. AR nakłada na rzeczywisty widok użytkownika cyfrowe informacje, takie jak obrazy czy dane [20]. MR łączy elementy zarówno VR, jak i AR, pozwalając użytkownikom na interakcję z rzeczywistymi i wirtualnymi obiektami w połączonym, zjednoczonym środowisku [15]. Te technologie oferują różne poziomy zanurzenia i interakcji, służąc różnorodnym zastosowaniom, od gier i rozrywki po szkolenia medyczne. Możemy podzielić typy technologii immersyjnych w środowisku medycznym: 1) Wirtualna Rzeczywistość (VR) może być używana do symulacji operacji i innych procedur medycznych w celach szkoleniowych; 2) Rzeczywistość Rozszerzona (AR) może nakładać cyfrowe informacje, takie jak parametry życiowe pacjenta, bezpośrednio na pole widzenia chirurga; 3) Rzeczywistość Mieszana (MR) łączy elementy zarówno VR, jak i AR dla bardziej złożonych symulacji i pozwala profesjonalistom medycznym na współpracę w czasie rzeczywistym, widząc ten sam obiekt 3D z różnych pozycji. Technologie immersyjne, multimodalne obrazowanie i monitorowanie zmian fizjologicznych w czasie to wszystko potencjalne podejścia w medycynie, które mają na celu poprawę opieki nad pacjentem, diagnozy i leczenia [21]. Wszystkie trzy podejścia są mocno zależne od dokładnego zbierania i interpretacji danych. Niezależnie od tego, czy chodzi o immersyjne symulacje, szczegółowe obrazowanie czy długoterminowe monitorowanie fizjologiczne, dane kliniczne są kluczowe dla podejmowania zrównoważonych decyzji medycznych. Te technologie mają na celu dostarczenie profesjonalistom służby zdrowia bardziej kompleksowych i szczegółowych informacji, co z kolei poprawia dokładność i skuteczność diagnoz i leczenia.

W moich badaniach przetestowałam i przedstawiłam dowody koncepcji. Używalismy okularów z technologią immersyjną (HMD - Head-Mounted Displays) [22]. Podczas badania odkryłam, że Rzeczywistość Rozszerzoną (AR), która po prostu nakłada obiekty cyfrowe na świat rzeczywisty, często ma ograniczone pole widzenia i jest bardzo zależna od rzeczywistego otoczenia, i nie można z nim interaktywnie współdziałać z wizualizowanym obiektem [23]. Natomiast Wirtualna Rzeczywistość (VR), zastępuje świat rzeczywisty całkowicie wirtualnym,

użytkownicy są izolowani od innych członków zespołu i mogą wymagać więcej przestrzeni fizycznej, co ogranicza jego wykorzystanie w pracy zespołowej. Okulary mieszanej rzeczywistości mają na celu rozwiązanie niektórych z tych ograniczeń, umożliwiając bardziej dynamiczną interakcję między rzeczywistymi i wirtualnymi obiektami oraz interakcję w czasie rzeczywistym [24]. Tworzy to bardziej dynamiczne i interaktywne doświadczenie, ponieważ użytkownicy mogą manipulować zarówno fizycznymi, jak i wirtualnymi obiektami w tej samej przestrzeni, często korzystając z naturalnych gestów lub specjalizowanych kontrolerów [25]. Po zbadaniu możliwości użyłam okularów HoloLens2 (Microsoft), jako bezprzewodowego urządzenia. Te konkretne okulary pozwalają użytkownikom na interakcję zarówno z rzeczywistymi, jak i wirtualnymi obiektami i ludźmi - w rozszerzonym środowisku. HoloLens2 oferuje wyświetlacz o wysokiej rozdzielczości z silnikiem świetlnym 2K 3:2, który zapewnia wystarczającą rozdzielczość przestrzenną do szczegółowej pracy, w tym wizualizacji danych medycznych 3D i innych fizjologicznych informacji medycznych o pacjencie w czasie. Urządzenie korzysta z optyki falowodowej do nakładania hologramów na świat rzeczywisty, co umożliwia oglądanie złożonych struktur anatomicznych i informacji medycznych w wirtualnej reprezentacji przestrzennej [24]. Jedną z wyróżniających się funkcji, której używa, jest śledzenie rąk - sterowane przez sztuczną inteligencję (AI), co pozwala użytkownikom na manipulowanie wirtualnymi obiektami za pomocą naturalnych ruchów rąk. Jest to szczególnie użyteczne w sterylnych środowiskach, takich jak sale operacyjne, gdzie interakcja bezdotykowa jest niezbędna (Rys. 1). Urządzenie obsługuje również polecenia głosowe, zapewniając dodatkową warstwę kontroli bez użycia rąk. Zaleta niekorzystania z rąk do interakcji jest szczególnie kluczowa w niektórych ustawieniach medycznych. Na przykład chirurg może manipulować obrazami medycznymi 3D lub uzyskiwać dostęp do danych pacjenta, nie dotykając żadnej powierzchni, zachowując tym samym sterylność [26]. To podejście bez użycia rąk nie tylko usprawnia przepływ pracy, ale także minimalizuje ryzyko zanieczyszczenia, co czyni je cennym narzędziem w zastosowaniach medycznych [27].



Rys. 1 Zastosowane okularów mieszanej rzeczywistości śródoperacyjnie w sterylnym środowisku [źródło własne]

Trójwymiarowa sala operacyjna

Dla niektórych zastosowań interakcja, z trójwymiarowym światem nie jest potrzebna, wystarczy tylko trójwymiarowa rekonstrukcja środowiska 3D do monitorowania pola widzenia chirurgów podczas realistycznych zadań chirurgicznych. Użyteczność i skuteczność narzędzia "wirtualnego ducha", który obserwuje salę operacyjną z perspektywy, można ocenić, korzystając z obiektywnych miar wydajności operatorów opartych na ruchach rąk i ciała, co może być przydatne w podejściu dydaktycznym. Dla takiego zastosowania przetestowaliśmy użycie kamery 3D (Azure Kinect SDK) do stworzenia wysokiej rozdzielczości, trójwymiarowego mapowania obszaru chirurgicznego [28]. Rozdzielczość przestrzenna jest kluczowa dla takich zastosowań, jak śledzenie w czasie rzeczywistym narzędzi chirurgicznych czy nakładanie rozszerzonych danych na ciało pacjenta [29]. Czujnik głębokości może z dużą dokładnością uchwycić kontury i wymiary pola chirurgicznego, umożliwiając precyzyjne dopasowanie obiektów wirtualnych i rzeczywistych [30]. Możliwości, które mogą być szczególnie przydatne dla interakcji bezdotykowych, opartych na gestach w sterylnych środowiskach, muszą być zbadane. Interdyscyplinarny zespół z udziałem bioinżynierów i lekarzy może sprawdzić predefiniowane gesty do manipulowania obrazami medycznymi 3D, dostępu do danych pacjenta, zachowując tym samym sterylne pole. To podejście oparte na rozpoznawaniu przestrzeni i gestów, stworzone przez chmurę obliczeniową, otwiera nowe możliwości dla monitorowania procedur chirurgicznych. Poprzez mapowanie przestrzeni 3D w sali operacyjnej i umieszczenie jej w środowisku immersyjnym, możemy dodać informacje związane z pacjentem, zarówno te odnoszące się do zmian fizjologicznych w czasie, jak i te związane z ich anatomią. Dodatkowo pozwala to na integrację informacji retrospektywnych o pacjencie i danych w czasie rzeczywistym, w jednej przestrzeni 3D dzięki wsparciu technologii immersyjnych. Aby ten proces był precyzyjny i dokładny, musimy zebrać i właściwie przygotować dane kliniczne pacjenta. Technologie mieszanej rzeczywistości w sali operacyjnej reprezentują kolejną fazę dla metod proktoringu („prowadzenia operatora”) lub podejść edukacyjnych [31]. Inni specjaliści mogą oglądać archiwalne nagrania procedury lub obserwować ją na żywo za pomocą odpowiedniego oprogramowania. Oferuje to pomysł na mapowanie sali operacyjnej za pomocą kamer 3D, aby wzmocnić doświadczenia z mieszaną rzeczywistością (MR). Dzięki temu rozwiązaniu użytkownicy zdalni mogą obserwować trwającą operację, jakby stali przed stołem operacyjnym, przechodząc wokół i zmieniając perspektywy, nie przeszkadzając operatorom wykonującym procedurę. Widok "wirtualnego ducha" uczestnika nie byłby na przykład ograniczony przez ręce operatora. Jest to szczególnie istotne dla systemu edukacji studentów medycyny i operatorów stażystów. To rozwiązanie zapewnia teoretycznie nieograniczoną liczbę uczestników w sali operacyjnej 3D, ponieważ rozmiar pokoju nie ma znaczenia, a operatorzy nie mogą być zakłóceni. Operację można nagrać i później przejrzeć i wykorzystać do edukacji pracowników służby zdrowia, z dodatkowymi funkcjami, takimi jak zdalne wskazywanie obiektów w przestrzeni. Może to być szczególnie przydatne w trudnych lub rzadkich przypadkach. Każda procedura może być nagrana i przedstawiona jako samouczek i wykorzystana do celów edukacyjnych. Po drugie, technologia dostarcza bardzo użyteczne narzędzie do konsultacji w czasie rzeczywistym podczas trwającej operacji. Operujący chirurg może poprosić bardziej doświadczonych operatorów zdalnie o zbadanie i konsultację w sprawie przypadku, korzystając z perspektywy

chirurga. Dodatkowo informacje kliniczne o pacjencie mogą być wyświetlane w przestrzeni mieszanej rzeczywistości.

Wielomodalne funkcjonalne obrazowanie serca

Rekonstrukcja i wyświetlanie rzeczywistego świata w 3D może być opcją na poprawę wizualizacji danych medycznych. Immersyjne technologie pozwalają również na połączenie jednocześnie kilku danych medycznych, takich jak elektryczna czy mechaniczna funkcja serca, które mogą być reprezentowane w świecie 3D [32]. Mechaniczny ruch serca można zobrazować, a wydajność serca czy inne pochodne parametry funkcjonalne mogą być pokazane w immersyjnym świecie. Możliwe jest również przedstawienie elektrycznej aktywności serca w 3D, na przykład ścieżki elektrycznej.

Ścieżka elektryczna pochodząca ze standardowego elektrokardiogramu 12-odprowadzeniowego (EKG) to taki trójwymiarowy obraz funkcjonalny serca. Wizualizacja danych 3D to proces wieloetapowy, który integruje różne dane diagnostyczne i techniki obrazowania [33]. EKG ocenia aktywność elektryczną serca [34]. 12-odprowadzeniowe EKG to jedno z podstawowych narzędzi diagnostycznych w praktyce klinicznej. Jest to jedyne narzędzie do uzyskania bezpośrednich informacji o funkcjonowaniu serca. Może pomóc w identyfikacji problemów takich jak arytmie, zawały serca i wiele innych nieprawidłowości kardiologicznych. Aby wykryć choroby, standardowe 12-odprowadzeniowe EKG musi być sklasyfikowane jako normalne lub nieprawidłowe EKG przez eksperta poprzez interpretację sygnału EKG. Interpretacja sygnału EKG stała się sztuką, ponieważ zależy od wielu czynników (pozycje elektrod, budowa ciała, orientacja serca czy płeć). Jeśli sygnał EKG wykazuje nieprawidłowości, bardzo często stosuje się inne metody diagnostyczne, np. monitor Holtera może być używany do długoterminowego monitorowania aktywności elektrycznej serca [35]. W przypadku bardziej złożonych czynników wpływających na choroby serca, takich jak bezdech senny, dodatkowo można analizować dźwięki podczas snu [36] [37]. Wykrywanie zaburzeń snu jest trudne, ponieważ objawy fizjologiczne mogą się znacznie różnić. Te różnice utrudniają stworzenie skutecznych modeli wykrywania zaburzeń snu, które wspierają ekspertów ludzkich w diagnozie i monitorowaniu leczenia. W tym badaniu [38] parametry kliniczne i epidemiologiczne wykazały bardziej statystycznie znaczące różnice między pacjentami z całkowicie zablokowanymi drogami oddechowymi, a osobami chrapiącymi wśród osób nie wykazujących się zablokowanymi dróg oddechowych. W bezdechu sennym oddychanie zatrzymuje się i zaczyna się ponownie podczas snu z powodu zablokowania dróg oddechowych lub problemu z kontrolą oddychania. Zaburzenie to może występować w każdym wieku, prowadząc do dysfunkcji poznawczej z powodu zakłócenia normalnych procesów mózgu podczas snu [39]. Jest również udowodnionym czynnikiem ryzyka chorób sercowo-naczyniowych. Kompleksowe modelowanie i wizualizacja anatomii i fizjologii serca na podstawie EKG, obrazowania i symulacji komputerowych mogą prowadzić do nowych sposobów diagnozy. Techniki odwrotnego modelowania EKG mogą konwertować jednowymiarowe dane EKG na trójwymiarowe fale aktywacji elektrycznej w tkance

mięśniowej serca, dostarczając bardziej szczegółowy obraz aktywności elektrycznej serca. Dla tej wizualizacji funkcjonalnej potrzebne są obrazy medyczne z takich technik jak MRI serca lub CT, aby wyprodukować trójwymiarowe modele serca, oferujące szczegółowe spojrzenie na strukturę a w połączeniu z sygnałem EKG, funkcję [40]. Te multimodalne fuzje obrazów w 3D, dostarczają szczegółowych informacji o przepływie krwi i aktywności metabolicznej w sercu [41]. Moje badania miały na celu zintegrowanie danych z sygnału EKG i obrazowania funkcjonalnego, aby stworzyć kompleksowy spersonalizowany model 3D serca. Ten model można obracać, „kroić” i analizować na różne sposoby dla lepszej dokładności diagnostycznej. Dodatkowo w moim laboratorium technologii immersyjnych korzystamy ze środowiska mieszanej rzeczywistości dla jeszcze bardziej immersyjnej wizualizacji 3D, co może być szczególnie przydatne w planowaniu interwencji chirurgicznych [42].

Na podstawie modelu 3D i obrazowania funkcjonalnego, zabiegi takie jak angioplastyka, ablacja, przezcewnikowa wymiana zastawki, specjalistyczne procedury implantacji rozrusznika czy operacja pomostowania i inne mogą być wspierane zarówno w planowaniu, jak i wykonaniu [6]. Obrazowanie 3D i wyniki odwrotnego modelowania EKG mogą być używane do bieżącego monitorowania i dostosowywania leczenia. Ta ścieżka oferuje wielowymiarowy obraz zdrowia serca, łącząc tradycyjne i nowatorskie metody diagnostyczne z zaawansowanymi technikami wizualizacji 3D dla bardziej kompleksowego zrozumienia i planowania leczenia. Ten proces pozwala na stworzenie precyzyjnych, indywidualizowanych modeli serca 3D, które mogą być używane w diagnostyce, planowaniu leczenia, a nawet w edukacji medycznej.

Dysponując bogatym zbiorem informacji o pacjencie poprzez ich parametry fizjologiczne i anatomiczne, sztuczna inteligencja (AI) i metody uczenia maszynowego zaczynają odgrywać kluczową rolę w analizie tych danych [43] [44]. AI jest w stanie korzystać z danych wejściowych z różnych modalności. Może na przykład analizować zmienność sygnału EKG w czasie, w połączeniu z informacjami o oddychaniu, gdzie subtelne zmiany mogą wskazywać na potencjalne problemy zdrowotne. Algorytmy uczenia maszynowego mogą być również szkolone w celu dokładnego wykrywania lub prognozowania różnych schorzeń serca, takich jak arytmie, niedokrwienie czy zawały serca. AI może również automatycznie analizować duże ilości danych EKG, co jest niemożliwe dla ekspertów ludzkich w krótkim czasie. Te techniki AI mogą również pozwolić na połączenie segmentowanego modelu 3D (tworzenie modeli z surowych danych medycznych w formacie DICOM) i danych EKG w celu stworzenia funkcjonalnej, dynamicznej reprezentacji funkcji serca. Aby umożliwić połączenie danych multimodalnych, rozdzielczości czasowe i przestrzenne muszą się zgadzać. W przypadku sygnału EKG chodzi o zmiany w sygnale w czasie, a w przypadku modeli 3D o dynamikę przestrzenną serca w czasie. W każdej z dziedzin dane, modele AI muszą być walidowane i kalibrowane, aby zapewnić ich dokładność i użyteczność w praktyce klinicznej. Sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe oferują potężne narzędzia do analizy i modelowania w medycynie kardiologicznej, znacząco podnosząc poziom diagnostyki i leczenia [45].

To jest szczególnie przydatne w monitorowaniu zmian fizjologicznych w czasie i może być również zastosowane do interpretacji skomplikowanych danych obrazowych. AI może automatyzować rutynowe zadania, takie jak segmentacja obrazów w obrazowaniu multimodalnym czy zbieranie danych w monitorowaniu fizjologicznym, służyć jako narzędzie

wspomagające podejmowanie decyzji, dostarczając profesjonalistom służby zdrowia wglądów i rekomendacji na podstawie danych z technologii immersyjnych, obrazowania i sensorów fizjologicznych [46] [47] [48].

Wyzwania

W środowisku medycznym możemy znaleźć wiele wyzwań związanych z diagnozą serca, jedną z głównych wyzwań jest to, jak połączyć ogromną ilość informacji (dane kliniczne o pacjencie, obrazowanie medyczne i zmieniające się parametry fizjologiczne w czasie) w zrozumiałą, kompleksowy obraz dla lekarzy.

Rozwiązania zastosowane w mojej pracy badawczej i osiągnięciu naukowym

Artykuł 1

Proniewska Klaudia, Pregowska Agnieszka, Malinowski Krzysztof P.

Identification of Human Vital Functions Directly Relevant to the Respiratory System Based on the Cardiac and Acoustic Parameters and Random Forest.

IRBM - Innovation and Research in BioMedical engineering

2021 : Vol. 42, nr 3, s. 174-179, il., bibliogr.

W prezentowanym artykule przedstawiam osiągnięcie dotyczące wielomodalnego podejścia do analizy funkcji życiowych z wykorzystaniem uczenia maszynowego, łączące dźwięki oddechowe i sygnał EKG. W dziedzinie nauk o śnie, polisomnografia (PSG), znana również jako badanie snu, jest uważana za wzorzec jakości. Ten złożony i kosztowny test laboratoryjny, zwykle przeprowadzany w szpitalach lub specjalistycznych klinikach snu, mierzy różne czynniki, w tym aktywność mózgu, poziom tlenu we krwi, tętno, oddychanie i ruchy nóg. W moich badaniach zbadałam alternatywną metodę diagnozowania zaburzeń oddychania związanego ze snem (ang. SRBD, Sleep Related Breathing Disorders) przy użyciu specyficznych wskaźników serca i dźwięku, wraz z podejściem wykorzystującym metody uczenia maszynowego, algorytm Random Forest (RF). Badanie proponuje specjalistyczny system do rejestrowania zarówno sygnałów EKG, jak i dźwiękowych podczas snu osoby w domu. Wyniki sugerują, że modele oparte na metodach uczenia maszynowego, takie jak Random Forest, są dobrze dopasowane do oceny problemów ze snem, takich jak SRBD. Zaproponowaliśmy system dedykowany do wykrywania zaburzeń oddechowych związanych ze snem pacjenta, korzystając z dwóch komplementarnych metod, tj. jednoczesnego pozyskiwania sygnału EKG i akustycznego podczas snu w domu. Wybrane sygnały kardiologiczne i oddechowe oraz dedykowane parametry są identyfikowane w przypadku niewłaściwego funkcjonowania funkcji życiowych. Zakłócenie w funkcjonalności układu krążenia mogłoby prowadzić do chorób układu sercowo-naczyniowego. Monitorowanie kilku kluczowych parametrów kardiologicznych i oddechowych mogłoby pomóc w identyfikacji takich zakłóceń. Z chorobami układu sercowo-naczyniowego jako jedną z głównych przyczyn zgonów, ocena sygnałów bioelektrycznych jest niezbędna w dziedzinie medycznej,

dostarczając cennych informacji diagnostycznych. Za pomocą proponowanej metody uzyskaliśmy poprawną identyfikację na poziomie 89%. W ten sposób, statystyczne modele predykcyjne pozwalają na identyfikację rozważanych zdarzeń oddechowych z wysokim poziomem czułości i swoistości, dostarczając niedrogą i dokładną diagnozę, i w ten sposób mogą wspierać ekspertów ds. snu.

Artykuł 2

Proniewska Klaudia, Khokhar Arif A., Dudek Dariusz

Advanced imaging in interventional cardiology: mixed reality to optimize preprocedural planning and intraprocedural monitoring.

Kardiologia Polska

2021 : Vol. 79, nr 3, s. 331-335, bibliogr. 7 poz.

W prezentowanym artykule przedstawiam osiągnięcie dotyczące wizualizacji anatomii 3D w rzeczywistym świecie, bazujące na technologiach immersyjnych w planowaniu procedur klinicznych i monitoringu wewnątrz proceduralnym. W przedstawionym badaniu omówiliśmy zastosowanie rzeczywistości mieszanej (MR) - zaawansowanej techniki obrazowania - w dziedzinie kardiologii interwencyjnej. Głównym celem badania było pokazanie, jak technologie immersyjne, takie jak obrazowanie w rzeczywistości mieszanej (MR) w 3D, mogą poprawić planowanie przedproceduralne i monitorowanie podczas interwencji wieńcowych i strukturalnych. Obrazowanie w rzeczywistości mieszanej polega na integracji wirtualnych modeli 3D z obrazami specyficznymi dla pacjenta, które można uzyskać za pomocą echokardiografii, tomografii komputerowej (CT) lub obrazowania rezonansu magnetycznego (MRI). Systemy obrazowania w rzeczywistości mieszanej składają się z odpowiednich okularów, kamer, wyświetlaczy i różnych czujników, które pozwalają użytkownikowi na interakcję w czasie rzeczywistym z obrazami 3D w rzeczywistości mieszanej. Prezentowana technologia umożliwia śledzenie ruchów użytkownika w odniesieniu do obiektów wirtualnych, a okulary rzeczywistości mieszanej pozwalają użytkownikom na oglądanie tych wirtualnych obiektów w świecie fizycznym. Autorzy sugerują, że użyteczność obrazowania w rzeczywistości mieszanej (MR) można zwiększyć, łącząc je z technologiami sztucznej inteligencji. To połączenie może znacząco skrócić czas potrzebny na tworzenie, przetwarzanie i wyświetlanie złożonych obrazów w rzeczywistości mieszanej w porównaniu z tradycyjnymi rekonstrukcjami 3D z echokardiografii, CT lub MRI. Ten przyspieszony proces może dostarczyć rzeczywistej, wzmocnionej wizualizacji i ilościowej informacji zwrotnej, aby kierować planowaniem przedproceduralnym i monitorować złożone interwencje podczas procedury. Wykazaliśmy jego wszechstronność w dostosowywaniu się do podstawowej anatomii i specyficznych interwencji. Nakładanie komputerowo generowanych modeli 3D na obrazy specyficzne dla pacjenta pozwala lekarzom lepiej zrozumieć złożone interakcje geometryczne między anatomią a zamierzonym urządzeniem. To lepsze zrozumienie może pomóc w przewidywaniu potencjalnego wpływu interwencji, jak również w wyborze odpowiedniego urządzenia i techniki proceduralnej. W szybko rozwijającej się dziedzinie kardiologii interwencyjnej, ze względu na postęp technologiczny, technologie obrazowania

odgrywają kluczową rolę w planowaniu i monitorowaniu złożonych interwencji. W miarę zwiększania się złożoności tych interwencji, rośnie potrzeba nowych rozwiązań obrazowania, aby sprostać nowym wyzwaniom klinicznym. Autorzy argumentują, że obrazowanie w rzeczywistości mieszanej (MR) mogłoby dostarczyć te rozwiązania, ale w uzasadnionych przypadkach. Obecne technologie obrazowania są szeroko stosowane do diagnozowania, klasyfikowania i planowania przedproceduralnego kolejnych interwencji przezskórnych i chirurgicznych. Odnoszą się one również do kluczowej roli w monitorowaniu podczas procedury interwencyjnej, prowadząc do poprawy sukcesu i bezpieczeństwa proceduralnego, a potencjalnie także do skrócenia czasu i kosztów procedury. Obrazowanie w rzeczywistości mieszanej (MR) to jedna z wielu nowych zaawansowanych technologii obrazowania, które oferują konkretne korzyści w określonych ustawieniach klinicznych. Autorzy proponują innowacyjne podejście do obrazowania, które łączy zaawansowane technologie obrazowania, takie jak rzeczywistość mieszana (MR), segmentację 3D i drukowanie 3D, w celu poprawy planowania i efektywności interwencji wieńcowych i strukturalnych. Ten koncept, choć wciąż jest technologią wschodzącą, jest włączany do protokołów planowania przedproceduralnego i monitorowania i może prowadzić do poprawy wyników pacjentów w dziedzinie kardiologii interwencyjnej.

Artykuł 3

Proniewska Klaudia, Pregowska Agnieszka, Dołęga-Dolegowski Damian, Dudek Dariusz
Immersive technologies as a solution for general data protection regulation in Europe and impact on the COVID-19 pandemic.

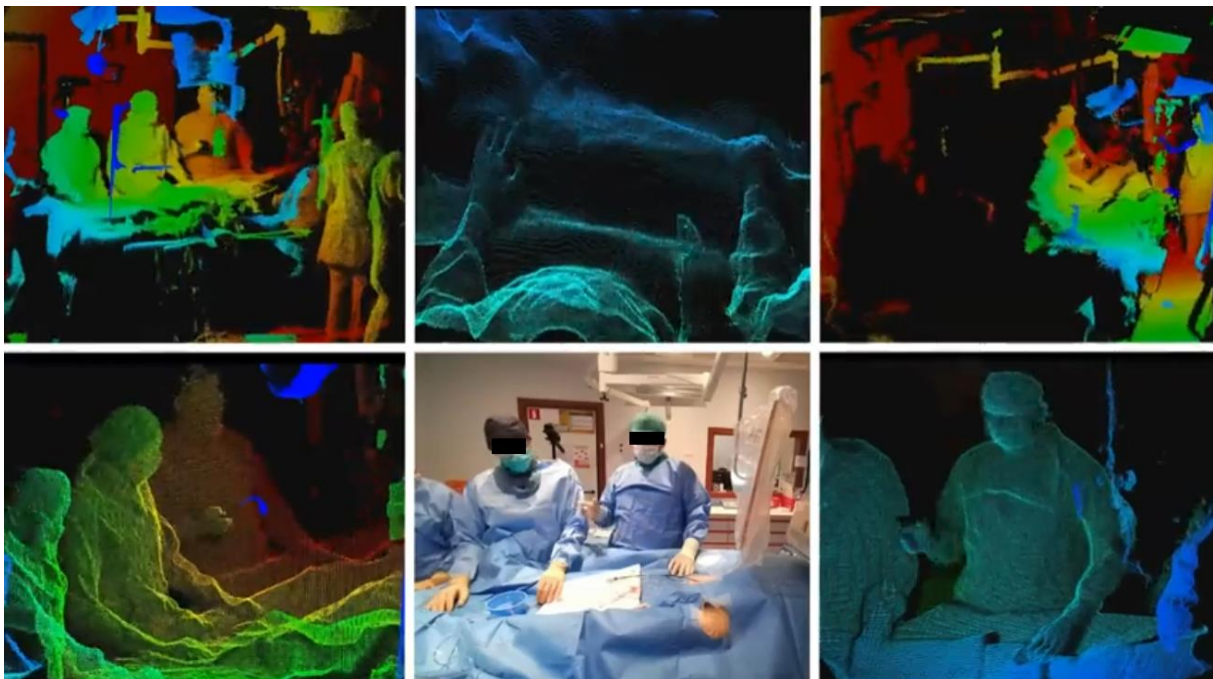
Cardiology Journal

2021 : Vol. 28, nr 1, s. 23-33, il., bibliogr. 42 poz., abstr.

W prezentowanym artykule przedstawiam osiągnięcie dotyczące wizualizacji trójwymiarowej sali operacyjnej w technologii immersyjnej. Ogólne rozporządzenie o ochronie danych (GDPR) dostarcza zasad, według których dane powinny być zarządzane i przetwarzane w sposób bezpieczny i odpowiedni dla wymagań i bezpieczeństwa pacjenta. Obecnie każdy w Europie jest objęty GDPR. Dlatego praktyka medyczna również wymaga dostępu do danych pacjenta w sposób bezpieczny. Prezentowana technologia immersyjna pozwala użytkownikom na widzenie wszystkiego, co jest widoczne na ekranie komputera, w nowy i mniej ograniczony sposób, tj. bez ograniczeń tradycyjnych komputerów i ekranów, w podejściu do rozdzielczości przestrzennej. W tym artykule zaprojektowano i wdrożono trójwymiarowego "Holograficznego Asystenta Medycznego" w sposób spełniający wymagania GDPR. Opracowaliśmy "Aplikację HoloView", która jest dostosowana do działania na okularach rzeczywistości mieszanej (Microsoft HoloLens2) i ma na celu umożliwienie wyświetlania i dostępu do danych osobowych oraz tzw. wrażliwych informacji o wszystkich indywidualnych pacjentach bez ryzyka, że zostaną one przedstawione nieuprawnionym osobom. Aby zwiększyć doświadczenie użytkownika i pozostać zgodnym z GDPR, proponuje się holograficzny stół, który pozwala na wyświetlanie danych pacjenta i wrażliwych informacji tylko przed oczami lekarza za pomocą okularów rzeczywistości mieszanej. Obecne rozwiązanie ogranicza się do wideorozmowy,

podczas której specjalista próbuje instruować lekarza w konkretnych działaniach. Wizualizacja danych pacjenta w przygotowanym środowisku rzeczywistości mieszanej 3D wspiera codzienne procesy w pracy lekarza, od obchodów i uzupełniania dokumentacji po telemedycynę i interaktywne szkolenia dla pracowników służby medycznej. Może również służyć jako duża baza edukacyjna. Prezentowane podejście do Zdrowotnych Cyfrowych Bliźniaków (ang. HDT, Health Digital Twins) jako narzędzi dla medycyny precyzyjnej obejmuje rozwój immersyjnego asystenta medycznego (Holograficznego Asystenta Medycznego) opartego na reprezentacji fizjologii i anatomii pacjenta za pomocą zaawansowanych urządzeń technologicznych, takich jak przestrzenne kamery Azure Kinect DK Microsoft i okulary Microsoft HoloLens2 (Rys. 2). To jest wyjątkowo korzystne w środowiskach wymagających sterylności, jak na przykład w salach operacyjnych, gdzie możliwość sterowania bez fizycznego kontaktu jest kluczowa. Możliwość interakcji bez użycia rąk jest szczególnie ważna w pewnych kontekstach medycznych. Na przykład, chirurg może zarządzać trójwymiarowymi obrazami medycznymi czy przeglądać dane pacjenta bez konieczności dotykania jakiegokolwiek powierzchni, co pomaga w utrzymaniu sterylności. Taka forma bezdotykowej interakcji nie tylko usprawnia pracę, ale również zmniejsza ryzyko kontaminacji, co sprawia, że jest to wartościowe narzędzie w medycynie. Ogólne rozporządzenie o ochronie danych pozwala na poszerzenie poufności pacjenta i ochrony danych medycznych. Główną zaletą proponowanej "Aplikacji HoloView" jest to, że wyświetlane dane są widoczne tylko dla osoby noszącej okulary HoloLens. Dzięki temu zyskuje się dodatkowe zaufanie, ponieważ nikt inny nie może zobaczyć ograniczonych danych.

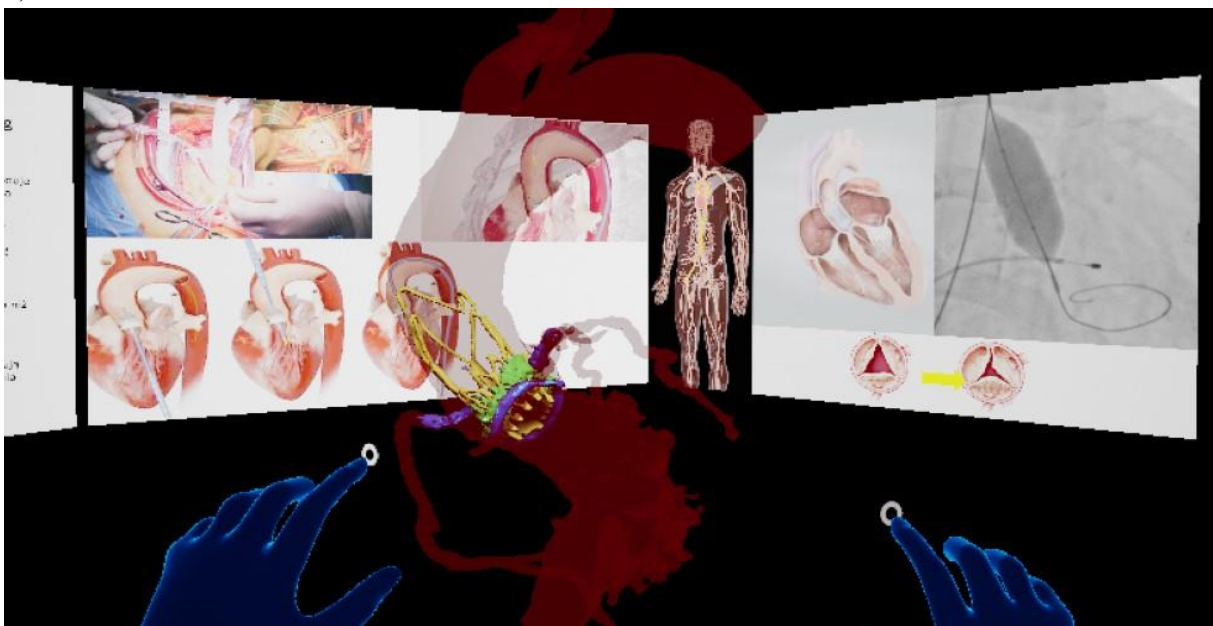
a)



b)



c)



Rys. 2 Holograficzny asystent medyczny a) widok trójwymiarowej sali operacyjnej w technologii immersyjnej b) śródoperacyjny monitoring przy wykorzystaniu gogli w technologii immersyjnej c) widok aplikacji HoloView z poziomu operatora gogli w technologii immersyjnej [źródło własne]

Artykuł 4

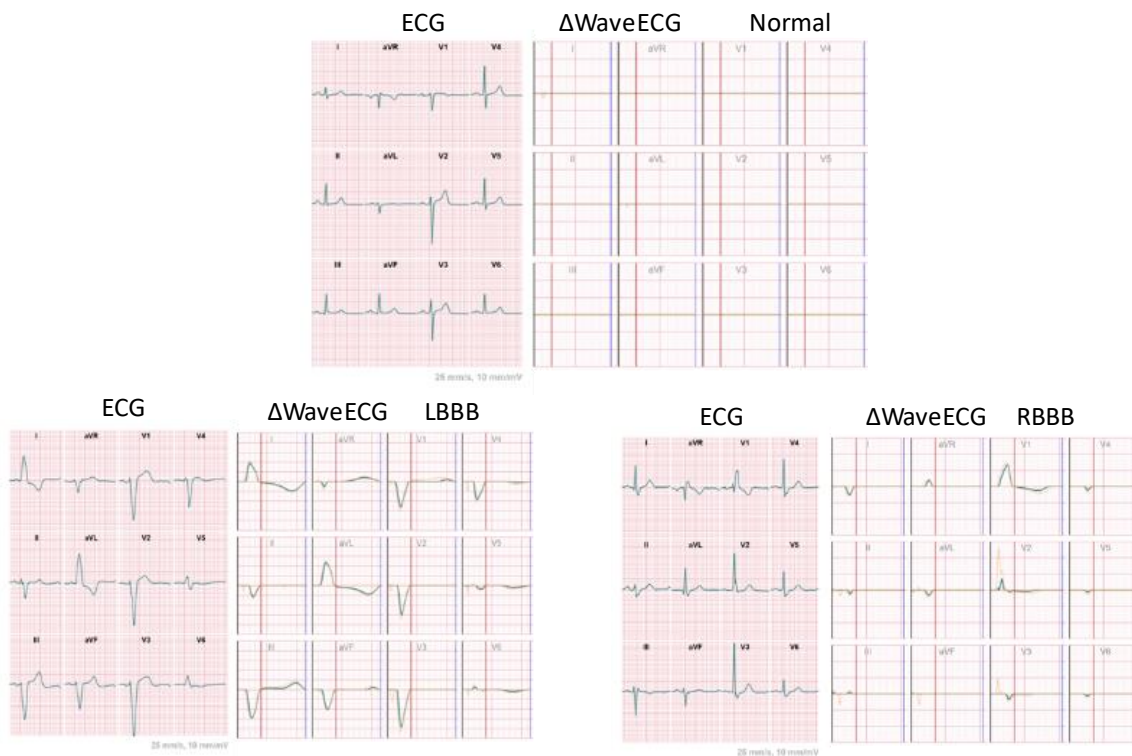
Proniewska Klaudia K., Abacherli Roger, van Dam Peter M..

The Δ WaveECG : the differences to the normal 12-lead ECG amplitudes

Journal of Electrocardiology

2023 : Vol. 76, s. 45-54, il., bibliogr., abstr.

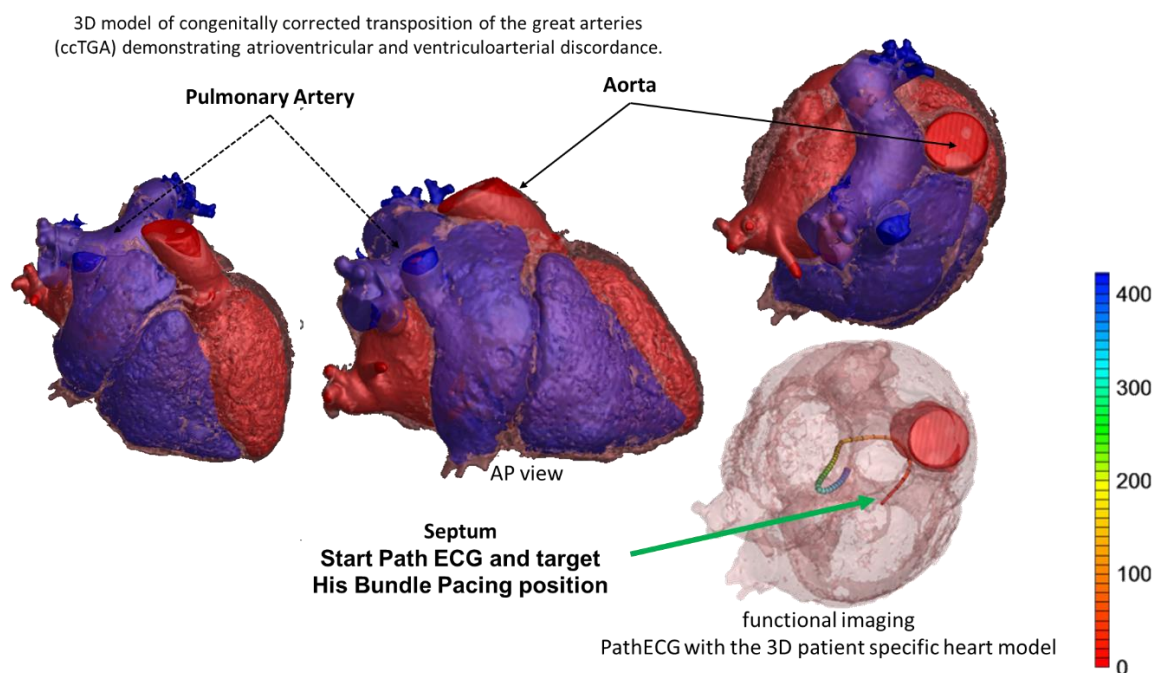
W prezentowanym artykule przedstawiam osiągnięcie dotyczące rozkładu amplitud w 12-odprowadzeniowym EKG w czasie dla zdrowych osób. W tym artykule proponujemy nową ilościową metodę rozróżniania normalnych i nieprawidłowych przebiegów sygnałów EKG. W tym celu stworzono normalny wzorzec rozkładu amplitud EKG na podstawie EKG komorowych sklasyfikowanych jako normalne. Zakładamy, że zamiast porównywania pewnych charakterystycznych wartości EKG, cały przebieg fali powinien być brany pod uwagę przy decydowaniu, czy przebieg jest normalny. W tym celu skonstruowano normalny rozkład amplitud we wszystkich standardowych 12-odprowadzeniach EKG. EKG spoza tego normalnego rozkładu amplitud, tzw. Δ WaveECG, wskazuje więc na odchylenie od normy. Konstrukcja normalnego rozkładu amplitud EKG jest testowana na kilku przykładach nieprawidłowych EKG, aby pokazać możliwości Δ WaveECG. Zbieranie danych pacjentów: użyliśmy 6515 (3681 kobiet, zakresy międzykwartyłowe wieku, mediana i zakres [40-53 - 66] 18-93 lat; 2834 mężczyzn, zakresy międzykwartyłowe wieku, mediana i zakres [39-52 - 63], 18-93 lat) EKG oznaczonych jako zdrowe kontrole, zawartych w bazie danych diagnostycznych EKG Physionet PTB XL (<http://www.physionet.org/content/ptbdb/1.0.0/>). Każde spoczynkowe EKG zostało przypisane do grupy męskiej lub żeńskiej. Z każdego standardowego 12-odprowadzeniowego spoczynkowego EKG automatycznie skonstruowano medianę uderzenia za pomocą algorytmu Bravo (AMPS-LCC). Dla każdego uderzenia medianowego automatycznie określono punkty charakterystyczne początku QRS, końca QRS i końca fali T, a następnie wizualnie je sprawdzono za pomocą dedykowanego oprogramowania, aby dostosować czasowanie tych punktów charakterystycznych (początek QRS, koniec i koniec T), konstrukcja Δ WaveECG. W tym badaniu wywodziliśmy rozkład amplitudy z normalnego zestawu danych, ale można go również wywieść z zestawu EKG pacjentów z określoną chorobą, na przykład z zespołem Brugady, pacjentów z zawałem mięśnia sercowego czy pacjentów z konkretnymi zaburzeniami przewodzenia. Gdy EKG mieści się w rozkładzie amplitudy takiej konkretnej grupy, pacjent może być skierowany do dalszych badań przez specjalistę elektrofizjologa. W ten sposób mapy Δ WaveECG mogą być używane do ograniczenia identyfikacji zmienności sygnału EKG, tj. amplitudy EKG mieszczą się w normalnym zestawie referencyjnym lub w zestawie referencyjnym specyficznym dla choroby (Rys. 3).



Rys. 3 Mapy Δ WaveECG mogą być używane do identyfikacji zmienności sygnału EKG dla sygnału normalnego oraz np. LBBB (Blok lewej odnogi pęczka Hisa) czy RBBB (Blok prawej odnogi pęczka Hisa) [źródło własne]

Przyszłe plany: Obrazowanie elektroanatomiczne serca w 3D wspierane technologiami immersyjnymi

Z rosnącą jakością i rozdzielczością w obrazowaniu medycznym 3D, rekonstrukcja organów staje się dostępna w praktyce klinicznej i edukacyjnej. Obrazowanie medyczne dostarcza wiele dwuwymiarowych (DICOM) widoków na serce w 3D, pozostawiając interpretację 3D ekspertom medycznym. Wyniki pracy na podstawie danych pacjenta z trwałym migotaniem przedsionków i wrodzoną skorygowaną transpozycją wielkich tętnic, kwalifikującego się do terapii stymulacji pęczka Hisa, szczegółowy model anatomiczny w połączeniu z elektryczną aktywacją komór, Trójwymiarowa (3D) rekonstrukcja serca pacjenta z odniesieniem do EKG, reprezentującego średnią pozycję aktywności elektrycznej serca w czasie w ramach zrekonstruowanej anatomii serca pacjenta na podstawie danych źródłowych z obrazowania. Na podstawie funkcjonalnego obrazowania 3D obserwujemy, iż aktywność elektryczna zaczyna się w pobliżu podstawy przegrody, początkowo poruszając się w dół w kierunku lewego wierzchołka i lewej wolnej ściany. Zaimplementowałam nową metodę optymalizacji modeli 3D, oraz wyświetliłam model 3D w okularach mieszanej rzeczywistości (Rys. 4). Zastosowaliśmy podejście i narzędzia prezentowane w moim osiągnięciu naukowym na potrzeby planowania przedproceduralnego.



Rys. 4 Funkcjonalne obrazowanie wsparte technologią immersyjną na przykładzie pacjenta z trwałym migotaniem przedsionków i wrodzoną skorygowaną transpozycją wielkich tętnic Ref. (<https://cinc.org/2023/Program/accepted/250.html>) [źródło własne]

W kontekście przyszłości funkcjonalnego obrazowania, można podkreślić znaczący postęp w technologiach 3D i rzeczywistości immersyjnej w medycynie. Autorzy zaimplementowali nowe metody optymalizacji i rekonstrukcji 3D. Dzięki zastosowaniu zaawansowanych technologii, takich jak mieszana rzeczywistość i Hololens2, możliwe jest teraz dokładne i szczegółowe przedstawienie anatomii pacjenta w trakcie różnych procedur z uwzględnieniem zmieniających się parametrów filologicznych w czasie, co z kolei zwiększa bezpieczeństwo i efektywność tych działań.

W dalszej perspektywie, planuję rozszerzyć swoje badania, wdrażając te nowatorskie metody w praktyce klinicznej na większą skalę. Planuję również połączyć potencjalne zastosowania technologii immersyjnych w połączeniu z innymi technologiami, takimi jak sztuczna inteligencja, co może jeszcze bardziej zrewolucjonizować pole funkcjonalnego obrazowania. Wszystko to wskazuje na obiecującą przyszłość w dziedzinie diagnostyki i leczenia chorób serca, a także innych schorzeń wymagających zaawansowanego obrazowania i oceny parametrów fizjologicznych w czasie.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Ośrodki zagraniczne:

UMC Utrecht, Department of Cardiology, Holandia, od 2023

Zakres współpracy: Mieszana Rzeczywistość wspierająca zaawansowane kształcenie medyczne - edukacja polegająca na nauczaniu poprzez doświadczenie kliniczne w połączeniu z wykorzystaniem innych aktywizujących metod dydaktycznych. Współpraca zaowocowała uzyskaniem nowego grantu edukacyjnego: Interactive TEaching of Medical 3D cardiac anatomy supported by Mixed Reality (iTeam 3D-MR) w ramach funduszy Erasmus + KA220-HED.

Współpraca z: Peter Loh, PhD, Cardiologist, Electrophysiologist

Radboud UMC, Nijmegen, 3D LAB. Holandia, od 2020

Zakres współpracy: Opracowanie badania pt. *Obciążenie poznawcze i nauka anatomii w mieszanej rzeczywistości z możliwością rozdzielczości przestrzennej w nauczaniu anatomii, transeuropejskie wielośrodkowe RCT*. Realizacja grantu edukacyjnego: MRAME – Mixed Reality support Advanced Medical Education – new methods of teaching medical skills [12]

Współpraca z:

Marc Vorstenbosch, PhD, Profesor nadzwyczajny anatomii obrazowej

Thomas Maal, professor of 3D Technology in Healthcare, Dyrektor 3D Lab w Nijmegen

Thoraxcentre – Centre for the Diagnosis and Treatment of Cardiovascular Diseases Erasmus MC Rotterdam, Holandia, 2013

Zakres współpracy: Uczestnictwo w projekcie badawczym dotyczącym oceny nowych rusztowań bioresorbowalnych przy pomocy techniki obrazowania wewnątrznaczyniowego (IVUS i OCT). Trójwymiarowa wizualizacja serca, wykorzystująca fuzję obrazu MSCT oraz parametrów elektrycznych serca m.in. sygnału EKG. Walidacja oprogramowania komputerowego do ilościowej analizy diagnostycznych obrazów typu IVUS i OCT. Przygotowanie rozdziału książki dotyczącego detekcji blaszek miażdżycowych w tętnicach wieńcowych przy pomocy tomografii komputerowej (MSCT) z podejściem 3D, analiza obrazów wewnątrznaczyniowej ultrasonografii (IVUS) dla stenów wykonanych z materiałów bioresorbowalnych [49].

Realizacja grantu edukacyjnego: MRAME – Mixed Reality support Advanced Medical Education – new methods of teaching medical skills [12].

Współpraca z:

Nico Bruining, PhD, Head Department of Digital Cardiology bij ErasmusMC and Editor-in-Chief of the European Heart Journal - Digital Health

Institute of Dentistry and Oral Sciences, Faculty of Medicine and Dentistry, Palacký University Olomouc, Czech Republic, od 2020

Zakres współpracy: Zastosowanie technologii opartej na holografii i rozszerzonej rzeczywistości do wizualizacji wewnętrznej struktury korzenia zęba [50].

Współpraca z:

Piotr Fudalej, prof. dr hab. n. med.

Ivana Dubovska, MD, PhD

Cleveland Clinic, USA, BrainX Community, od 2019

Zakres współpracy: Wykorzystanie sztucznej inteligencji do wizualizacji danych medycznych za pomocą mieszanej rzeczywistości oraz okularów HoloLens. [51]

Współpraca z:

Piyush Mathur MD,FCCM is a Staff Anesthesiologist and Critical Care physician at Cleveland Clinic, Ohio

Jacek B. Cywinski, MD, FASA is an anesthesiologist, researcher and holds an academic appointment as a Professor of Anesthesiology at the Cleveland Clinic Lerner College of Medicine.

Lucerne University of Applied Sciences and Arts, HSLU, Lucerne, Switzerland, od 2022

Zakres współpracy: Różnice w stosunku do normalnych amplitud w 12-odprowadzeniowym EKG [52].

Współpraca z:

Abächerli Roger, PhD

Case Western Reserve University (CWRU), Interactive Commons, Ilumis - HoloAnatomy® Software Suite, Cleveland Clinic, Ohio, USA, od 2022

Zakres współpracy: Współpraca w procesie wdrażania do edukacji i w obszarze nauk klinicznych możliwości technologii rzeczywistości rozszerzonej za pomocą gogli HoloLens. HoloAnatomy® Software Suite, opracowany przez Case Western University i Cleveland Clinic, to program oparty na mieszanej rzeczywistości (MR) działający w urządzeniu HoloLens 2. Przeprowadzałam transfer wiedzy, gdzie program HoloAnatomy® został wdrożony w ramach autorskich lekcji anatomii w 3D, jako jedno z zadań w ramach realizacji europejskiego grantu ERASMUS + „MRAME – Mixed Reality support Advanced Medical Education – new methods of teaching medical skills”, którego jestem kierownikiem. Współpraca realizowana z Katedrą Anatomii UJCM [53],[10].

Współpraca z:

Nancy Farrow, HoloAnatomy® Software Suite

The University of California, Los Angeles (UCLA), 2020

Zakres współpracy: Wizualizacja propagacji fali elektrycznej w sercu na specyficznych modelach 3D serca. Efektem tej współpracy jest wdrożenie oprogramowania ECGSim w edukacji studentów medycyny.

Współpraca z:

Sławomir Łobodziński Professor of University of California

Ośrodki polskie:

I Katedra Chirurgii Ogólnej UJCM

Zakres współpracy: Wizualizacja 3D struktur patologicznych za pomocą okularów rozszerzonej rzeczywistości HoloLens2, wykorzystanie Sztucznej Inteligencji AI na etapie planowania przed zabiegowego. Projekt realizowany we współpracy z Katedrą Radiologii UJCM [54].

Współpraca z: *Prof. dr hab. Piotr Richter, dr hab. Jakub Kenig*

Katedra Radiologii UJCM

Zakres współpracy: Opracowanie protokołu segmentacji danych źródłowych tomografii komputerowej jamy brzusznej dla potrzeb wizualizacji 3D w mieszanej rzeczywistości oraz przygotowania tych danych w pracy z algorytmami Sztucznej Inteligencji oraz automatyzacji procesów segmentacji. Projekt realizowany we współpracy z I Katedra Chirurgii Ogólnej UJCM[54].

Współpraca z: Prof. dr hab. Tadeusz Popiela, dr Anna Grochowska

Katedra Chirurgii Czaszkowo-Szczękowo-Twarzowej

Zakres współpracy: Opracowanie metodologii przygotowania i wykorzystanie mieszanej rzeczywistości w zakresie wizualizacji obrazowych danych trójwymiarowych na potrzeby planowania przedoperacyjnego przeszczepu kości udowej do żuchwy. Przygotowanie test case i sprawdzenie możliwości technologii w sali operacyjnej.

Współpraca z: Prof. dr hab. Jan Zapala, Dr hab., prof. UJ Grażyna Wyszynska-Pawelec

Instytut Stomatologii UJCM

Zakres współpracy: 1. Ocena położenia krytycznych struktur anatomicznych podczas planowania zabiegów chirurgicznych w jamie ustnej przy użyciu gogli HoloLens 2 z technologią mieszanej rzeczywistości randomizowane badanie kliniczne [50].

2. Zastosowanie rozszerzonej rzeczywistości opartej na HoloLens i trójwymiarowych wydrukowanych modeli referencyjnych zębów w edukacji stomatologicznej [55].

Współpraca z: Dr Justyna Hajto-Bryk, Piotr Grad

Katedra Anatomii UJCM

Zakres współpracy: 1) Pilotaż lekcji Anatomii w 3D – HoloAnatomy® [56] [12]

2) Wirtualne modele 3D narządów poddanych mikrotomografii komputerowej oraz ich ewaluacja w dziedzinie anatomii człowieka [57]

Współpraca z: Prof. dr hab. Jerzy Walocha

Instytut psychiatrii UJCM

Zakres współpracy: Zastosowanie filmów wirtualnej rzeczywistości o 360 stopniach w ocenie paranoi u pacjentów ze schizofrenią: badanie pilotażowe [58].

Współpraca z: Dawid Kruk

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa

Zakres współpracy: w obszarze analizy sygnałów biomedycznych, w szczególności EKG, rozwiązań telemedycznych i wykorzystania rzeczywistości immersyjnej jako wsparcia dla lekarzy oraz zastosowania Sztucznej Inteligencji na potrzeby automatycznej analizy danych medycznych [59-61].

Współpraca z: prof. Janusz Szczepański i dr hab. inż. Agnieszka Pręgowska

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Osiągnięcia dydaktyczne

Autorski program edukacji medycznej w 3D

Opis autorskich programów:

a) Anatomia w 3D

Innowacyjne podejście do edukacji to wykorzystanie okularów HoloLens2 i mieszanej rzeczywistości (MR) do pomocy studentom medycyny, pierwszego roku, w dokładnym zrozumieniu anatomii człowieka. Tradycyjnie studenci polegali na atlasach książkowych, które oferują uproszczony widok struktur anatomicznych. Poprzez analizę licznych obrazów 2D, studenci mają za zadanie łączyć informacje i wizualizować przestrzenny układ systemów narządów. Aby zniwelować różnice w rozumieniu przestrzennym i przetwarzaniu wiedzy, w latach 2022/2023, uruchomiono pilotażowy program z wykorzystaniem programu HoloAnatomy® Software Suite w ramach zajęć dodatkowych na UJCM.

Opracowany przez Case Western University i Cleveland Clinic, HoloAnatomy® Software Suite, to nowoczesny program nauki anatomii w technologii immersyjnej. Program został zakupiony w ramach europejskiego grantu ERASMUS+ "MRAME - Mixed Reality support Advanced Medical Education - nowe metody nauczania umiejętności medycznych" i wdrożony w UJCM [12].

HoloAnatomy® Software Suite wykorzystuje zaawansowane technologie, oferując studentom rewolucyjny sposób nauki anatomii. Prezentuje atlas 3D zawierający do 9 000 struktur anatomicznych. W ramach programu pilotażowego, którego idei jestem autorem, został przygotowany we współpracy z Katedrą Anatomii UJCM pod przewodnictwem Profesora Jerzego Walochy. Rdzeń doświadczenia z nauki w 3D stanowi holograficzny pokaz slajdów, przedstawiający precyzyjne trójwymiarowe modele korespondujące z omawianym układem anatomicznym omawianym na zajęciach. Modele te są starannie dobrane, aby uniknąć nadmiaru informacji, a struktury są podświetlone kolorem, co ułatwia zapamiętywanie, oraz są przezroczyste, co pozwala zrozumieć układ organów. Okulary umożliwiają użytkownikom oglądanie, obracanie, powiększanie i interakcję z hologramami z każdej strony, w tym zarówno męskie, jak i żeńskie układy, a nawet porównywanie dwóch modeli jednocześnie.

Wartość tych lekcji została wzbogacona o wkład studentów medycyny i członków Koła Naukowego Medycyny Cyfrowej i Robotyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, pod moim nadzorem. Wspierani przez zespół anatomów z Katedry Anatomii Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego, ta interdyscyplinarna współpraca zapewniła, że pilotaż nauki 3D był zgodny z bieżącymi zajęciami z sekcji i teorii (Rys. 5).

Po każdych zajęciach, przeprowadzano oceny krytyczne, w tym ankiety dotyczące wcześniejszej wiedzy na temat technologii 3D, wrażeń z korzystania z MR i jej wpływu na istniejącą wiedzę. Przeprowadzono również psychologiczną ocenę korzystania z MR - pod kierunkiem dr. Piotra Waleckiego, psychologa, członka zespołu MRAME. Wyniki badań zostaną wkrótce opublikowane na stronie internetowej projektu: <https://mrame.cm-uj.krakow.pl>.

Podsumowując, HoloAnatomy® Software Suite okazał się cennym narzędziem w rozszerzaniu wiedzy anatomicznej zdobytej podczas tradycyjnych zajęć. Oferuje studentom kompleksowy widok topografii ludzkiej, niezbędny do budowania teoretycznych podstaw klinicznego zastosowania anatomii.



Rys. 5 Zajęcia z Anatomii w 3D przy wykorzystaniu technologii immersyjnej w UJCM [źródło własne]

b) Spersonalizowana anatomia w 3D bazująca na przypadkach klinicznych

W ramach realizowanego przeze mnie autorskiego kursu: „**Metody wizualizacji danych medycznych przy wykorzystaniu technologii mieszanej rzeczywistości**”, w ramach programu **Doskonały Uniwersytet** [62] przygotowałam, wraz ze specjalistami z UJCM, 20 studiów przypadków klinicznych wysokiej wierności. Każdy przypadek opierał się na danych obrazowych pacjentów. Podstawą było wskazanie, przez lekarza specjalistę, aspektów ważnych w diagnostyce klinicznej i planowaniu przedoperacyjnym. Następnie zajmowałam się przetworzeniem danych obrazowych (w procesie segmentacji) do modelu 3D, dostosowując model do potrzeb wskazanych przez specjalistów. Tak przygotowany model był importowany do gogli, wyświetlany jako hologram w projekcji 3D w okularach mieszanej rzeczywistości

Hololens2. Modelowi 3D towarzyszyły z tyłu slajdy, z opisem przypadku, wynikami badań biochemicznych, postępowaniem. Edukatorem danego przypadku był operator zabiegowy, przez co studenci otrzymywali realistyczne doświadczenie. Przedstawiony przykład zastosowania pokazuje, że nadrzędną wartością była interdyscyplinarna współpraca lekarzy specjalistów i mnie jako inżyniera biomedycznego zajmującego się obróbką danych medycznych. Takie podejście zapewnia kompleksowe nauczanie - połączenie edukacji studentów ostatnich lat kierunków medycznych, z praktycznym zastosowaniem wskazanej technologii w diagnostyce klinicznej i zabiegach. W taki sposób zostają zrównane luki edukacyjne jednostek i poziom wiedzy teoretycznej zdobywanej przez pierwsze lata kierunków medycznych. Innym aspektem jest wykorzystanie danych prawdziwych pacjentów. Jest to kwestia spersonalizowanej medycyny i podejścia indywidualnego do pacjenta. Każdy człowiek, nawet w minimalnym stopniu różni się budową od innych. Te różnice mają wpływ na decyzyjność i podejmowane działania przez młodych, niedoświadczonych lekarzy. Nauka na podstawie prawdziwych przypadków, pozwala na zdobycie doświadczenia przez studenta nie pracującego jeszcze w szpitalu (Rys. 6).



Rys. 6 Zajęcia ze spersonalizowanej anatomii 3D na przypadkach klinicznych w technologii immersyjnej w UJCM [źródło własne]

Osiągnięcia organizacyjne

Decyzją Rektora Uniwersytetu Jagiellońskiego z dnia 9 marca 2022 roku zostało utworzone Centrum Medycyny Cyfrowej i Robotyki Collegium Medicum, gdzie pełnię funkcję Zastępcy Dyrektora [63]. Celem działania Centrum jest zapewnienie nauczycielom akademickim, studentom na kierunkach medycznych, lekarzom – uczestnikom studiów podyplomowych oraz innym osobom, zatrudnionym w obszarze badawczym, wiedzy w zakresie zaawansowanych technologii

informatycznych stosowanych w diagnostyce i leczeniu klinicznym, w szczególności:

technologii obrazowania immersyjnego, holografii, druku 3D oraz metod sztucznej inteligencji. Ponadto, celem Centrum jest nawiązywanie współpracy z podmiotami systemu szkolnictwa wyższego i nauki, w tym uczelniami oraz podmiotami zewnętrznymi, w tym podmiotami leczniczymi, w celu rozwoju i wdrażania nowych technologii oraz innowacyjnych rozwiązań w kształceniu klinicznym. W ramach tych działań nawiązałam współpracę naukową, która przełożyła się na rozwój jednostki, poprzez bezpośrednią pracę na rzecz Centrum, m.in.:

- współpraca z Wizytujący Profesorem w Centrum Medycyny Cyfrowej i Robotyki UJJCM - Peter van Dam, specjalista od modelowania serca, obecnie pracuje nad poprawą wartości klinicznej 12-odprowadzeniowego EKG, poprzez zastosowanie metody odwrotnej modelowanie serca w połączeniu z technologiami cyfrowymi. Wynalazca szeregu opatentowanych technologii usprawniających zarówno cechy kliniczne i ekonomiczne 12-odprowadzeniowego EKG. Międzynarodowe doświadczenie akademickie i badawcze m.in.: UT Twente - stanowisko dydaktyczne w zakresie modelowania serca; UMC Utrecht, Holandia – Stanowisko badawcze dotyczące modelowania serca; UCLA, Los Angeles, USA — stanowisko badawcze w grupie zaburzeń rytmu serca skupiającej się na poprawie zarówno inwazyjnej, jak i nieinwazyjnego mapowania zaburzeń rytmu serca. We współpracy z Profesorem rozwijamy możliwości narzędzi edukacyjnych tj. ecgsim.org, circadapt.org i peacs.nl

- MHD Jafar Mortada - stażysta z Ancony w ramach CampusWorld – 1.04. – 30.09 2023- magister inżynierii biomedycznej na Politechnice Marche we Włoszech, licencjat na Uniwersytecie w Damaszku w Syrii oraz rok stażu ERASMUS w Instituto Superior Técnico w Portugalii. Jego doświadczenie w segmentacji obrazów medycznych przy użyciu sztucznej inteligencji staje się bardzo istotne dla rozwoju zespołu CMCR UJCM. Współpraca będzie kontynuowana w ramach rozwoju algorytmów sztucznej inteligencji w automatycznej detekcji struktur anatomicznych.

- AGH – współpraca z laboratorium druku 3D AGH pod przewodnictwem Pana Dziekana, Profesora Marka Dudka, Dr inż. Dariusza Sali oraz Dr inż. Rafała Rumina - w ramach współpracy powstała praca magisterska pt. „Kontrola Jakości Procesu Fotogrametrii dla Układu Sercowo-Naczyniowego, przy Wykorzystaniu Wydrukowanego Modelu 3D”, (Quality Control of the Photogrammetry Process for the Cardiovascular System Using a Printed 3D Model).

- AGH – współpraca z laboratorium micro tomografii komputerowej, pod kierownictwem Dr hab. inż. prof. AGH Jacek Tarasiuk, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH, Katedra Fizyki Materii Skondensowanej oraz Prof. dr hab. n. med. Jerzy Walocha, Katedra i Zakład Anatomii UJ CM oraz Prof. dr hab. n. med. Marek Sanak, Katedra Medycyny Sądowej UJ CM, II Katedra Chorób Wewnętrznych: Zakład Biologii Molekularnej i Genetyki Klinicznej UJ CM w ramach projektu: „Wirtualne modele 3D narządów poddanych mikrotomografii komputerowej oraz ich ewaluacja w dziedzinie anatomii człowieka”. W ramach współpracy został przygotowany wniosek grantowy w ramach konkursu: ”Studenckie koła naukowe tworzą innowacje”, tytuł projektu **„Wirtualne modele 3D narządów poddanych mikrotomografii komputerowej oraz ich ewaluacja w dziedzinie anatomii człowieka”**. Wniosek uzyskał pozytywną opinie i został zakwalifikowany do finansowania.

- University of Manchester, współpraca z Profesorem Haliną Dobrzyńską – wizualizacja struktur anatomicznych serca na bazie micro tomografii komputerowej. Przygotowano wniosek grantowy w ramach funduszy oferowanych w Wielkiej Brytanii.

- podpisanie umowy o współpracy z Universidad de Murcia, Hiszpania w ramach której zostaną przeprowadzone, przez grupę badawczą, szkolenia dotyczące iniekcji naczyniowej tętnic wieńcowych w sercach świń dla naszego pracownika centrum.

Osiągnięcia popularyzujące naukę

Poniżej przedstawiam działania popularyzujące naukę i wiedzę w, obszarze zastosowania analizy danych źródłowych, technologii immersyjnych oraz sztucznej inteligencji w medycynie.

Obecnie jestem opiekunem koła naukowego SKN Medycyny Cyfrowej i Robotyki UJCM. W ramach działalności koła, prowadzonych jest szereg aktywności popularyzujących naukę, którym mam zaszyć przewodzić.

W ramach działalności koła naukowego, prowadzimy wykłady otwarte na temat nowości technologicznych w medycynie, m.in.:

- 28 marca 2023, wykład Prof. Sławomir (Suave) Łobodziński, University of California, Los Angeles, **Przyszłość Elektrokardiologii - jak sztuczna inteligencja rewolucjonizuje analizę i interpretację EKG**, wykład zorganizowany przez członków STN Medycyny Cyfrowej i Robotyki na rzecz społeczności akademickiej UJCM.

- 6 lutego 2023, dr Peter van Dam, wykład na temat wartości klinicznej 12-odprowadzeniowego EKG poprzez zastosowanie odwróconego modelowania serca w połączeniu z technologiami cyfrowymi.

- 14 stycznia, 2023 - Kamila Undas oraz Michał Piotrowski przeprowadzili sesje warsztatowe z Mieszanej Rzeczywistości HoloLens2 na MTW 2023 pod moim przewodnictwem – Konferencja Ogólnopolska Studentów Uczelni Medycznych. Dzięki temu, uczestnicy mogli „zanurzyć się” w anatomie topograficzną serca i struktur klatki piersiowej.

- 7-9 grudnia 2022 - pokaz programu HoloAnatomy Software Suite, w odniesieniu do anatomii prawidłowej aparatu zastawkowego serca na sesji Digital Anatomy NFIC 2022 „**Structural Cardiac Anatomy by #HoloAnatomy Software Suite in 3D – Mixed Reality experience – New Frontiers in Interventional Cardiology workshop (NFIC)**”. Studenci koła naukowego przeprowadzili warsztaty hands-on z mieszanej rzeczywistości pod moim przewodnictwem (Rys. 7).

- w okresie działalności koła naukowego STN Medycyny Cyfrowej i Robotyki można wyróżnić podjęte aktywności wpływające na rozpowszechnianie wiedzy w tym obszarze:

- cykliczne szkolenia z segmentacji 3D danych medycznych dla studentów UJCM,
- cyklicznie warsztaty z wykorzystaniem technologii immersyjnych, w tym Mieszanej Rzeczywistości, przy wykorzystaniu urządzeń HoloLens 2 Microsoft,

- warsztaty i wizyty studyjne w centrach medycznych m.in. z wykorzystania robotów operacyjnych,
- cykliczne kursy szkoleniowe z publikacji naukowych dla studentów UJCM,
- cykliczne warsztaty z druku 3D z partnerskimi kołami AGH Transspeed oraz SKN Nowych Technologii,

Rozpowszechnianie wyników projektów badawczych i edukacyjnych, m.in.:

- 13 stycznia, 2023 – Sapienza, Rzym, Italy, w ramach rozpowszechniania projektu MRAME, zespół CMCR oraz przedstawiciele koła naukowego Medycyny Cyfrowej i Robotyki UJ Collegium Medicum, odbyli spotkanie seminaryjne w Sapienza Universita di Roma. Przedstawicielem strony rzymskiej był Prof. Emanuele Barbato – prezydent Europejskiego Stowarzyszenie Przeszkórnych Interwencji Sercowo-Naczyniowych Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego.

- 3-4 listopada 2022 – Gemelli, Rzym, Italy zespół Centrum Medycyny Cyfrowej i Robotyki Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego odwiedziłam Rzym w ramach projektu MRAME.

- 23 września 2022 - prezentacja oprogramowania HoloAnatomy® oraz osiągnięć zespołu CMCR na wydziale anatomii Uniwersytetu Radboudumc w Holandii.

- 8 lipca 2022, Międzynarodowe spotkanie projektowe w Nijmegen, Radboud University, w laboratorium 3D kierowanym przez profesora Thomasa Maala.

- 10 czerwca 2022, HoloAnatomy® Software – przedstawiciel Case Western Reserve University i Cleveland Clinic Nancy Fallow oraz członkowie zespołu centrum, przeprowadzili warsztaty w UJ Collegium Medicum.



Rys. 7 Prezentacja „Structural Cardiac Anatomy by #HoloAnatomy Software Suite in 3D – Mixed Reality experience – podczas konferencji New Frontiers in Interventional Cardiology workshop (NFIC)” [źródło własne]

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

W lipcu 2019 roku nawiązałam współpracę z Cleveland Clinic (CC) i Case Western Reserve University (CWRU), w ramach wykorzystania technologii rzeczywistości rozszerzonej, w edukacji medycznej i zastosowaniu klinicznym. CC i CWSU są obecnie jednym z pierwszych centrów, które wdrażają technologie rzeczywistości rozszerzonej dla codziennych studentów medycyny i w praktyce klinicznej. Bezpośrednia współpraca z laboratorium Interactive Commons (HoloAnatomy® Software Suite) i wymiana wiedzy między polskimi i amerykańskimi centrami, pozwoliła mi na rozwój projektu.

Pod moim kierownictwem, Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, stał się pierwszym Partnerem HoloAnatomy® Software Suite w regionie Europy Wschodniej i adaptował platformę Mixed Reality dla swoich studentów. Miałam tę wizję, aby zastosować HoloAnatomy® już w 2016 roku, kiedy projekt był dopiero w fazie początkowej. Po wizycie w Cleveland, w lipcu 2019 roku, marzenie stało się rzeczywistością, rozpoczęłam proces implementacji wdrożenia z autorskim podejściem do edukacji medycznej i wsparcia praktyki klinicznej.

W 2021 roku **założyłam Laboratorium Mixed Reality (Laboratorium Mieszanej Rzeczywistości) Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum**, którego jestem kierownikiem. Projekt został doceniony przez Microsoft i promowany jak pierwsze takie miejsce w Europie, gdzie można uczyć się anatomii w podejściu trójwymiarowej wizualizacji oraz gdzie można planować zaawansowane procedury medyczne w trójwymiarze. W swoich badaniach zauważyłam, że trójwymiarowe spojrzenie na ciało człowieka może mieć znaczący wpływ na proces planowania przedzabiegowego i monitorowania procedur, a także zaawansowanej edukacji medycznej. Osiągnięcia zostały zaprezentowane na stronie internetowej Microsoft, pod tytułem: „*Poland’s Jagiellonian University Medical College brings the Microsoft HoloLens 2 into the classroom*”, (pol. „*Uniwersytet Jagielloński - Collegium Medicum kształci przyszłe pokolenie lekarzy, korzystając z HoloLens 2*”) (Rys. 8) [64].



Rys. 8 Widok strony Customer Microsoft. Link do strony: <https://customers.microsoft.com/en-us/story/1371150647215564364-jumc-higher-education-azure-pl-poland>

W roku akademickim 2022/2023, Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, oficjalnie przeprowadził swoją pierwszą edycję pilotażu lekcji Anatomii w 3D, wykorzystując autorskie lekcje ze studentami medycyny, z emocjonującymi reakcjami wszystkich zaangażowanych studentów i nauczycieli. Przeprowadzałam szereg ankiet dotyczących użytkowania gogli mieszanej rzeczywistości, jak również na temat immersyjnych doświadczeń 3D użytkowników mieszanej rzeczywistości.

NAGRODY ZAGRANICZNE, KRAJOWE

- 2023 **Springer XR SALENTO 2023 awards**, 1miejsce XR COMPETITION za prezentację: “The application of the preoperative image-guided 3D visualization supported by Machine Learning to the prediction of organs reconstruction during pancreaticoduodenectomy via a Head-Mounted Displays”, Lecce, Italy
- 2021 **Naukowiec przyszłości 2021** w kategorii: „Nauki ścisłe i techniczne dla innowacyjnej przyszłości”, za realizację projektu pt. „Holograficzny asystent medyczny”, Toruń, Polska
- 2022 **Nagroda Rektora UJCM** – za osiągnięcia organizacyjne II stopnia
- 2021 **Nagroda Rektora UJCM** – za osiągnięcia organizacyjne III stopnia
- 2015 **Nagroda Rektora AGH** – ukończenie studiów w grupie 5% najlepszych absolwentów studiów doktoranckich w roku akademickim 2013/2014
- 2014 Nagroda **Mortara Fellowship** za pracę: “Classification of Sleep Disordered Breathing in the Evaluation of Acoustic Sound in Correlation with the ECG Signal”, konferencja Computing in Cardiology, Boston-Cambridge, USA
- 2011 Nagroda - **The best poster presentation**, za pracę: “Quantitative Assessment for Confluent Plaque Area Related to Diagnostic IVUS/VH Images”, konferencja Computing in Cardiology, Hangzhou, China
- 2009 Wyróżnienie za pracę magisterską pt.:”**Metody akustyczne w analizie mowy przelykowej**”, w konkursie PTIB na najlepszą pracę magisterską z dziedziny inżynierii biomedycznej, w 2009 roku.

.....
(podpis wnioskodawcy)

Odniesienia:

1. Sachse, F.B. and G. Seemann, *Special issue: Functional imaging and modelling of the heart*. Med Image Anal, 2009. **13**(2): p. 345.
2. Roger, V.L., *Epidemiology of Heart Failure: A Contemporary Perspective*. Circ Res, 2021. **128**(10): p. 1421-1434.
3. Noorman, M., et al., *Cardiac cell-cell junctions in health and disease: Electrical versus mechanical coupling*. J Mol Cell Cardiol, 2009. **47**(1): p. 23-31.
4. Konofagou, E.E., et al., *Imaging the mechanics and electromechanics of the heart*. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2006. **Suppl**: p. 6648-51.
5. Arrighi, J.A., *Integrated imaging of cardiac anatomy, physiology, and viability*. Curr Cardiol Rep, 2009. **11**(2): p. 125-32.
6. Grant, E.K. and L.J. Olivieri, *The Role of 3-D Heart Models in Planning and Executing Interventional Procedures*. Can J Cardiol, 2017. **33**(9): p. 1074-1081.
7. Wang, V.Y., P.M. Nielsen, and M.P. Nash, *Image-Based Predictive Modeling of Heart Mechanics*. Annu Rev Biomed Eng, 2015. **17**: p. 351-83.
8. O'Dell, W.G. and A.D. McCulloch, *Imaging three-dimensional cardiac function*. Annu Rev Biomed Eng, 2000. **2**: p. 431-56.
9. Niederer, S.A., J. Lumens, and N.A. Trayanova, *Computational models in cardiology*. Nat Rev Cardiol, 2019. **16**(2): p. 100-111.
10. *Poland's Jagiellonian University Medical College brings the Microsoft HoloLens 2 into the classroom*. Available from: <https://customers.microsoft.com/en-us/story/1360706959301045044-jumc-higher-education-azure-en-poland>.
11. Venkatesan, M., et al., *Virtual and augmented reality for biomedical applications*. Cell Rep Med, 2021. **2**(7): p. 100348.
12. *MRAME – Mixed Reality support Advanced Medical Education – new methods of teaching medical skills*. Available from: <https://mrame.cm-uj.krakow.pl/>.
13. Lau, I., et al., *Clinical Applications of Mixed Reality and 3D Printing in Congenital Heart Disease*. Biomolecules, 2022. **12**(11).
14. Proniewska, K., et al. *Three-Dimensional Operating Room with Unlimited Perspective*. 2020. Cham: Springer International Publishing.
15. Proniewska, K., A.A. Khokhar, and D. Dudek, *Advanced imaging in interventional cardiology: mixed reality to optimize preprocedural planning and intraprocedural monitoring*. Kardiologia, 2021. **79**(3): p. 331-335.
16. Bruno, R.R., et al., *Virtual and augmented reality in critical care medicine: the patient's, clinician's, and researcher's perspective*. Crit Care, 2022. **26**(1): p. 326.
17. Mori, S., et al., *What is the real cardiac anatomy?* Clin Anat, 2019. **32**(3): p. 288-309.
18. Jung, C., et al., *Virtual and Augmented Reality in Cardiovascular Care: State-of-the-Art and Future Perspectives*. JACC Cardiovasc Imaging, 2022. **15**(3): p. 519-532.
19. Aslani, N., et al., *The Virtual Reality Technology Effects and Features in Cardiology Interventions Training: A Scoping Review*. Med J Islam Repub Iran, 2022. **36**: p. 77.
20. Uzun, M., *Augmented Reality in Cardiology*. Anatol J Cardiol, 2019. **22**(Suppl 2): p. 25-28.
21. Wang, D.D., et al., *3D Printing, Computational Modeling, and Artificial Intelligence for Structural Heart Disease*. JACC Cardiovasc Imaging, 2021. **14**(1): p. 41-60.
22. Liu, D., S.A. Jenkins, and P.M. Sanderson, *Patient monitoring with head-mounted displays*. Curr Opin Anaesthesiol, 2009. **22**(6): p. 796-803.
23. Liu, D., et al., *Monitoring with head-mounted displays: performance and safety in a full-scale simulator and part-task trainer*. Anesth Analg, 2009. **109**(4): p. 1135-46.

24. Martin, G., et al., *Use of the HoloLens2 Mixed Reality Headset for Protecting Health Care Workers During the COVID-19 Pandemic: Prospective, Observational Evaluation*. J Med Internet Res, 2020. **22**(8): p. e21486.
25. Mathew, J., A. de Ruyg, and F.R. Danion, *How optimal is bimanual tracking? The key role of hand coordination in space*. J Neurophysiol, 2020. **123**(2): p. 511-521.
26. Chessa, M., et al., *Three-dimensional printing, holograms, computational modelling, and artificial intelligence for adult congenital heart disease care: an exciting future*. Eur Heart J, 2022. **43**(28): p. 2672-2684.
27. Azarine, A., F. Scalbert, and P. Garçon, *Cardiac functional imaging*. Presse Med, 2022. **51**(2): p. 104119.
28. Hansen, L., et al., *Fusing information from multiple 2D depth cameras for 3D human pose estimation in the operating room*. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2019. **14**(11): p. 1871-1879.
29. Cerón, J., et al., *Real-time instance segmentation of surgical instruments using attention and multi-scale feature fusion*. Med Image Anal, 2022. **81**: p. 102569.
30. Delasse, C., et al., *Indoor 3D Reconstruction of Buildings via Azure Kinect RGB-D Camera*. Sensors (Basel), 2022. **22**(23).
31. Lee, G.K., et al., *What Is Your Reality? Virtual, Augmented, and Mixed Reality in Plastic Surgery Training, Education, and Practice*. Plast Reconstr Surg, 2021. **147**(2): p. 505-511.
32. Kalyanasundaram, A., et al., *Three-dimensional functional anatomy of the human sinoatrial node for epicardial and endocardial mapping and ablation*. Heart Rhythm, 2023. **20**(1): p. 122-133.
33. van Dam, P.M., et al., *Non-invasive imaging of cardiac activation and recovery*. Ann Biomed Eng, 2009. **37**(9): p. 1739-56.
34. Proniewska, K.K., R. Abächerli, and P.M. van Dam, *The Δ WaveECG: The differences to the normal 12-lead ECG amplitudes*. J Electrocardiol, 2023. **76**: p. 45-54.
35. Gilgen-Ammann, R., T. Schweizer, and T. Wyss, *RR interval signal quality of a heart rate monitor and an ECG Holter at rest and during exercise*. Eur J Appl Physiol, 2019. **119**(7): p. 1525-1532.
36. Diamond, J.A. and H. Ismail, *Obstructive Sleep Apnea and Cardiovascular Disease*. Clin Geriatr Med, 2021. **37**(3): p. 445-456.
37. Blanco Pérez, J.J., et al., *[Sleep apnea syndrome in heart failure. Effect of continuous positive airway pressure]*. An Med Interna, 2008. **25**(1): p. 15-9.
38. Iriondo Bedialauneta, J.R., et al., *[Analysis of the anthropometric, epidemiological, and clinical parameters in patients with snoring and obstructive sleep apnoea]*. Acta Otorrinolaringol Esp, 2007. **58**(9): p. 413-20.
39. Xu, S., et al., *A review of automated sleep disorder detection*. Computers in Biology and Medicine, 2022. **150**: p. 106100.
40. Amano, Y., et al., *Three-dimensional Cardiac MR Imaging: Related Techniques and Clinical Applications*. Magn Reson Med Sci, 2017. **16**(3): p. 183-189.
41. Young, J.S., M. McAllister, and M.B. Marshall, *Three-dimensional technologies in chest wall resection and reconstruction*. J Surg Oncol, 2023. **127**(2): p. 336-342.
42. Cen, J., et al., *Three-Dimensional Printing, Virtual Reality and Mixed Reality for Pulmonary Atresia: Early Surgical Outcomes Evaluation*. Heart Lung Circ, 2021. **30**(2): p. 296-302.
43. Bizopoulos, P. and D. Koutsouris, *Deep Learning in Cardiology*. IEEE Rev Biomed Eng, 2019. **12**: p. 168-193.
44. Nemoto, M., et al., *[Machine Learning for Computer-aided Diagnosis]*. Igaku Butsuri, 2016. **36**(1): p. 29-34.
45. Husain, M., et al., *Artificial Intelligence for Detecting COVID-19 With the Aid of Human Cough, Breathing and Speech Signals: Scoping Review*. IEEE Open J Eng Med Biol, 2022. **3**: p. 235-241.
46. Stein, P.K. and Y. Pu, *Heart rate variability, sleep and sleep disorders*. Sleep Med Rev, 2012. **16**(1): p. 47-66.
47. McMillan, D.E., *Interpreting heart rate variability sleep/wake patterns in cardiac patients*. J Cardiovasc Nurs, 2002. **17**(1): p. 69-81.

48. Vigo, D.E., et al., *Nonlinear analysis of heart rate variability within independent frequency components during the sleep-wake cycle*. *Auton Neurosci*, 2010. **154**(1-2): p. 84-8.
49. van Dam, P.M., et al., *Electrocardiographic imaging-based recognition of possible induced bundle branch blocks during transcatheter aortic valve implantations*. *Europace*, 2014. **16**(5): p. 750-7.
50. Dolega-Dolegowski, D., et al., *Application of holography and augmented reality based technology to visualize the internal structure of the dental root - a proof of concept*. *Head Face Med*, 2022. **18**(1): p. 12.
51. *Cleveland Clinic, USA, BrainX Community*. Available from: <https://www.brainxai.com/brainx-consultants>.
52. Proniewska, K.K., R. Abacherli, and P.M. van Dam, *The DeltaWaveECG: The differences to the normal 12-lead ECG amplitudes*. *J Electrocardiol*, 2023. **76**: p. 45-54.
53. *HoloAnatomy® Software Suite*. Available from: <https://case.edu/holoanatomy/>.
54. Proniewska, K., et al. *The Application of the Preoperative Image-Guided 3D Visualization Supported by Machine Learning to the Prediction of Organs Reconstruction During Pancreaticoduodenectomy via a Head-Mounted Displays*. in *Extended Reality*. 2023. Cham: Springer Nature Switzerland.
55. Grad, P., et al., *Application of HoloLens-based augmented reality and three-dimensional printed anatomical tooth reference models in dental education*. *Anat Sci Educ*, 2022.
56. Radek Kolecki, A.P., Julianna Dąbrowa, Jerzy Skuciński, Tomasz Pulanecki, Piotr Walecki, Peter M. van Dam, Dariusz Dudek, Piotr Richter, Klaudia Proniewska, *Assessment of the utility of Mixed Reality in medical education*. *Translational Research in Anatomy*, 2022. **28**(100214).
57. Skrzat, J., et al., *A 3D model of the renal vasculature - a joined result of the corrosion casting technique, micro-CT imaging and rapid prototyping technology*. *Folia Med Cracov*, 2021. **61**(4): p. 45-54.
58. Kruk, D., et al., *Application of 360 degrees virtual reality videos in the assessment of paranoia in schizophrenia patients: a pilot study*. *Psychiatr Pol*, 2021: p. 1-14.
59. Pregowska, A., & Proniewska, K., *Sleep Disorders : biostatistical and Information Theory Based Approach* 2018: Scholar's Press.
60. Pregowska, A., et al., *Using Lempel-Ziv complexity as effective classification tool of the sleep-related breathing disorders*. *Comput Methods Programs Biomed*, 2019. **182**: p. 105052.
61. Proniewska, K., et al., *Immersive technologies as a solution for general data protection regulation in Europe and impact on the COVID-19 pandemic*. *Cardiol J*, 2021. **28**(1): p. 23-33.
62. *Projekt Doskonaty Uniwersytet. Podniesienie kompetencji zawodowych studentów Wydziału Lekarskiego i Wydziału Nauk o Zdrowiu Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum.*; Available from: <https://doskonaly.uj.edu.pl/>.
63. *Center for Digital Medicine and Robotics State-of-the-art medical data visualization methods*. Available from: <https://cmcr.cm-uj.krakow.pl/en/>.
64. *Uniwersytet Jagielloński - Collegium Medicum kształci przyszłe pokolenie lekarzy, korzystając z HoloLens 2*. Available from: <https://customers.microsoft.com/en-us/story/1371150647215564364-jumc-higher-education-azure-pl-poland>).