

Autoreferat

w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk medycznych

Tytuł osiągnięcia naukowego:

„Sztuczna inteligencja i sensory światłowodowe jako nowe technologie stosowane w prognozowaniu wyników małoinwazyjnych zabiegów radiologii interwencyjnej”



dr n. med. i n. o zdr. Krzysztof Bartnik

II Zakład Radiologii Klinicznej

Warszawski Uniwersytet Medyczny

Warszawa 2025

1. Dane osobowe

Imię i nazwisko: Krzysztof Bartnik

Tytuł naukowy: doktor nauk medycznych i nauk o zdrowiu

Zajmowane stanowisko: asystent w II Zakładzie Radiologii Klinicznej,
Uniwersyteckie Centrum Kliniczne Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0043-4867>

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne

2023

Stopień doktora nauk medycznych i nauk o zdrowiu w dyscyplinie nauki medyczne

Tytuł: "System LI-RADS w małoinwazyjnym leczeniu raka wątrobowokomórkowego"

Promotor: *dr hab. n. med. Magdalena Januszewicz*

Recenzenci: *prof. dr hab. n. med. Grażyna Rydzewska*

prof. dr hab. n. med. Maciej Słupski

prof. dr hab. n. med. Tomasz Jargiełło

2018

Dyplom ukończenia studiów na kierunku lekarskim

I Wydział Lekarski, Warszawski Uniwersytet Medyczny

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

2023 - obecnie

Uniwersyteckie Centrum Kliniczne Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

II Zakład Radiologii Klinicznej

Asystent badawczo-dydaktyczny

2019 - 2025

Uniwersyteckie Centrum Kliniczne WUM

II Zakład Radiologii Klinicznej

Lekarz rezydent (5 rok, radiologia i diagnostyka obrazowa)

2024

Instytut Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej Polskiej Akademii Nauk

Zakład Immunologii

Post-doc

2019 – 2023

Warszawski Uniwersytet Medyczny

Szkoła Doktorska Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

Doktorant

2012 – 2018

Warszawski Uniwersytet Medyczny

I Wydział Lekarski

Student

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.)**

Cykl powiązanych tematycznie publikacji pod tytułem:

„Sztuczna inteligencja i sensory światłowodowe jako nowe technologie stosowane w prognozowaniu wyników małoinwazyjnych zabiegów radiologii interwencyjnej”

Cykl obejmuje łącznie 7 publikacji, wszystkie opublikowane po doktoracie, w sześciu jestem pierwszym autorem:

Sumaryczny Impact Factor (IF) cyklu: 39,3

Sumaryczna punktacja MNiSW cyklu: 1000

1. **Bartnik, K.**, Krzyziński, M., Bartczak, T., et al. *A novel radiomics approach for predicting TACE outcomes in hepatocellular carcinoma patients using deep learning for multi-organ segmentation.*

Scientific Reports 2024

IF 3.9 / MNiSW 140 / kwartyl JCR Q1 / centyl JCR 81.9

2. **Bartnik, K.**, Bartczak, T., Krzyżiński, M., Korzeniowski, K., Lamparski, K., Węgrzyn, P., Lam, E., Bartkowiak, M., Wróblewski, T., Mech, K., Januszewicz, M., Biecek, P. *WAW-TACE: A Dataset of Hepatocellular Carcinoma Patients Treated with Transarterial Chemoembolization, Featuring Annotated Multiphase CT Images, Radiomics Features, and Comprehensive Clinical Data.*
Radiology: Artificial Intelligence 2024
IF 13.2 / MNiSW 20 / kwartył JCR Q1 / centyl JCR 98.8
3. **Bartnik, K.**, Żyłkowski, J., Giziński, J., Krysiak, R., Wilkowska, U., Strzemecki, D., Rygiel, T.P., Kunert, P., Januszewicz, M. *Immunological alterations in intracranial aneurysm: a prospective study on selected biomarker profiles in blood collected during endovascular neurointervention*
Neurologia i Neurochirurgia Polska 2024
IF 2.6 / MNiSW 100 / kwartył JCR Q2 / centyl JCR 52.1
4. **Bartnik, K.**, Koba, M., Śmietana, M. *Advancements in optical fiber sensors for in vivo applications – A review of sensors tested on living organisms.*
Measurement 2024
IF 5.6 / MNiSW 200 / kwartył JCR Q1 / centyl JCR 89.4
5. **Bartnik, K.**, Janik, M., Koba, M., Rygiel, T., Musolf, P., Śmietana, M. *Biosensing solutions for protein measurement in blood-derived media: a review.*
Measurement 2025
IF 5.6 / MNiSW 200 / kwartył JCR Q1 / centyl JCR 89.4
6. Burnat, D., Janik, M., Kwietniewski, N., Martychowiec, A., Musolf, P., **Bartnik, K.**, Koba, M., Rygiel, T.P., Niedziółka-Jönsson, J., Śmietana, M. *Double-layer optical fiber interferometer with bio-layer-modified reflector for label-free biosensing of inflammatory proteins.*
Scientific Reports 2024
IF 3.9 / MNiSW 140 / kwartył JCR Q1 / centyl JCR 81.9
7. **Bartnik, K.**, Martychowiec, A., Kwietniewski, N., Musolf, P., Niedziółka-Jönsson, J., Koba, M., Śmietana, M. *Thin-film-based optical fiber interferometric sensor on the fiber tip for endovascular surgical procedures.*
IEEE Transactions on Biomedical Engineering 2024
IF 4.5 / MNiSW 200 / kwartył JCR Q2 / centyl JCR 69.8

Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Przewidywanie wyników leczenia pacjentów poddawanych małoinwazyjnym zabiegom wewnątrznaczyniowym należy do złożonych i wieloczynnikowych problemów. Obecnie stosowane modele prognostyczne stosują znaczne uproszczenia, przy czym opierają się głównie na prostych zmiennych klinicznych i obrazowych. Modele te mają umiarkowaną czułość, dlatego poszukiwane są nowe, bardziej precyzyjne modele stratyfikacji ryzyka. Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie nowych technologii, które mają potencjał do zmiany oblicza prognozowania w medycynie, w tym radiologii interwencyjnej, wprowadzając innowacyjne podejście do leczenia i diagnostyki pacjentów. Optyczne czujniki światłowodowe (OFS) oraz sztuczna inteligencja (AI) są przykładami nowych technologii, które otwierają nowe możliwości w zakresie prognozowania wyników leczenia pacjentów. Technologie te są coraz częściej wykorzystywane zarówno w badaniach naukowych, jak i w praktyce klinicznej. Dzięki tym innowacjom, radiologia interwencyjna zyskuje dostęp do możliwości diagnostycznych, które były dotąd niedostępne. Na przykład, miniaturowe i elastyczne czujniki pozwalają na wewnątrznaczyniowe pomiary w trudno dostępnych miejscach, z kolei AI umożliwia korzystanie ze wzorców obrazowych niedostępnych dla ludzkiego oka. Zastosowanie kliniczne tych innowacyjnych technologii może przyczynić się do poprawy monitorowania stanu pacjentów oraz bardziej dokładnego przewidywania wyników leczenia. W dłuższej perspektywie może przyczynić się to do lepszego dostosowania zabiegów leczniczych do indywidualnych potrzeb pacjentów. Rozwój tych technologii ma potencjał do podniesienia standardów opieki medycznej i daje nadzieję na poprawę wyników leczenia pacjentów w przyszłości.

AI jest przykładem technologii, która ma ogromny potencjał, aby zrewolucjonizować diagnostykę medyczną. W kontekście radiologii, AI odnosi się do stosowania algorytmów komputerowych, które uczą się analizować obrazy medyczne, aby wykrywać nieprawidłowości i dostarczać informacje bardziej precyzyjne niż tradycyjne metody oceny obrazów. Z kolei radiomika jest jedną z gałęzi AI w radiologii, która polega na przekształcaniu danych obrazowych w zmienne obliczeniowe, które pomagają w prognozowaniu wyników leczenia i personalizacji terapii. Rozwiązania te umożliwiają identyfikację „ukrytych” wzorców w danych medycznych oraz analizę

dużej liczby zmiennych jednocześnie. Na przykład, niedawne badania wykazały, że dane obliczeniowe pozyskane z obrazów tomografii komputerowej (CT) można wykorzystać do oceny stopnia włóknienia wątroby oraz rokowania pacjentów po leczeniu onkologicznym. Zastosowanie AI oraz radiomiki w praktyce klinicznej może prowadzić do bardziej spersonalizowanej opieki nad pacjentem, umożliwiając lepsze dostosowanie terapii do indywidualnych potrzeb.

Czujniki OFS oferują wyjątkowe zalety w porównaniu z konwencjonalnymi rozwiązaniami sensorycznymi, głównie dzięki ich małemu rozmiarowi, elastyczności, odporności na zakłócenia i biokompatybilności. Te cechy sprawiają, że OFS idealnie nadają się do integracji z wewnątrznaczyniowymi narzędziami chirurgicznymi, takimi jak cewniki czy prowadniki. Unikalne zalety tej technologii umożliwiają szerokie zastosowanie w zabiegach małoinwazyjnych, szczególnie w środowiskach o wysokim natężeniu promieniowania jonizującego lub elektromagnetycznego, które są niedostępne dla obecnie stosowanych technologii czujnikowych. Obecnie OFS wykorzystywane do zastosowań medycznych można podzielić na dwie główne kategorie: sensory fizyczne, służące do pomiaru parametrów takich jak ciśnienie czy temperatura, oraz czujniki biochemiczne, które mierzą przykładowo stężenie glukozy, białek lub innych substancji biochemicznych. Fizyczne OFS są w praktyce klinicznej stosowane w monitorowaniu parametrów takich jak ciśnienie wewnątrznaczyniowe lub wewnątrzczaszkowe, przy czym warto zauważyć, że istnieją medyczne OFS zatwierdzone do tych zastosowań. Z drugiej strony, technologie OFS do zastosowań biochemicznych nie są jeszcze rutynowo stosowane w medycynie. Wynika to głównie ze złożonej natury pomiarów biochemicznych, co znacznie utrudnia precyzyjne wykrywanie i analizę substancji biochemicznych w materiale pochodzącym od organizmów żywych. Pomimo wyzwań, w ostatnich latach osiągnięto znaczny postęp w dziedzinie optycznych sensorów biochemicznych, rozwijając OFS do złożonych analiz, także wewnątrz żywych organizmów. Rozwiązania te mają potencjał dostarczać istotnych klinicznie informacji o stanach patologicznych oraz odpowiedzi organizmu na leczenie. Na przykład, w niedawnym badaniu wykazano, że OFS może być wykorzystany do zlokalizowanego wykrywania biomarkerów nowotworowych w żywym organizmie, co pozwala na analizę obecności komórek guza bez konieczności wykonania biopsji.

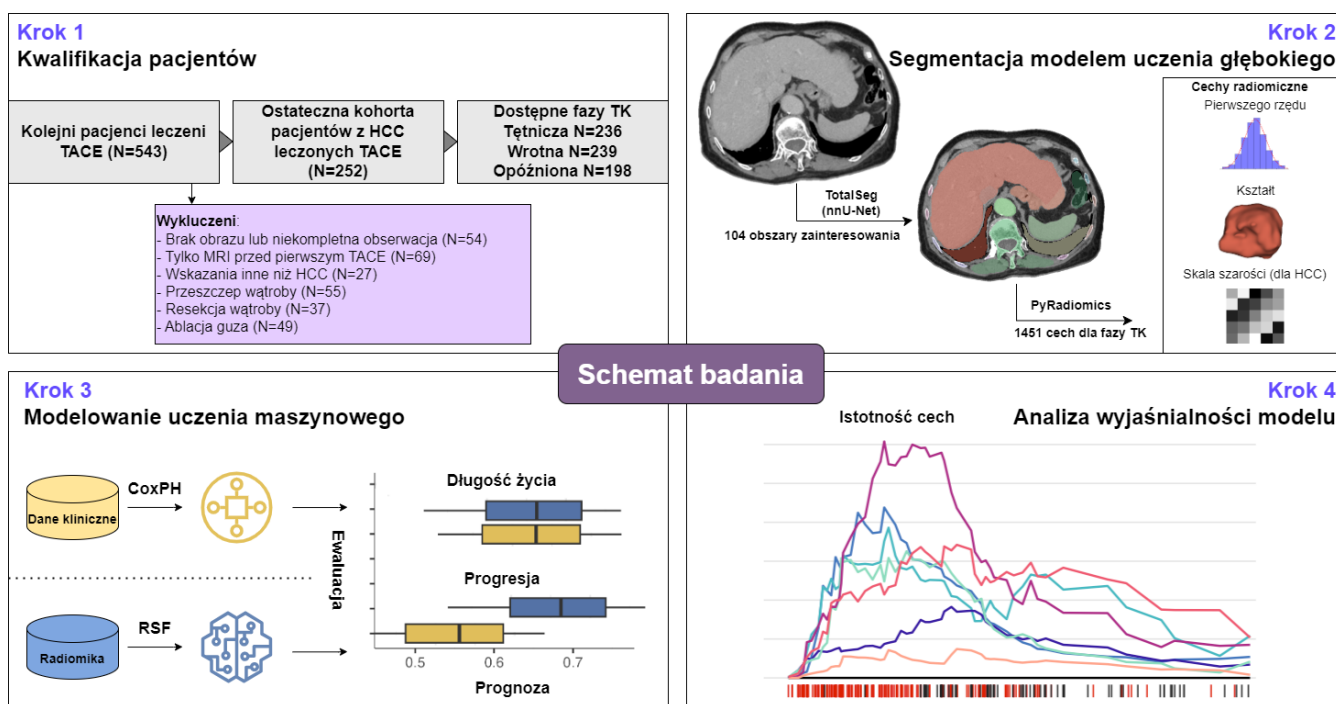
W przyszłości można spodziewać się, że nowe technologie będą odgrywać coraz większą rolę w medycynie, poprawiając wyniki leczenia i zwiększając efektywność zabiegów minimalnie inwazyjnych. W okresie, gdy rozpoczynałem badania związane z prezentowanym cyklem, innowacje takie jak OFS, radiomika czy AI, były bardzo rzadko stosowane, głównie w kontekście eksperymentalnych badań podstawowych. Ze względu na niszowe zastosowanie tych technologii w medycynie, prace nad cyklem rozpocząłem od nawiązania współpracy z prof. Mateuszem Śmietaną z Politechniki Warszawskiej (PW) - ekspertem w dziedzinie biosensoryki i OFS. W naszym zespole pracowali także przedstawiciele Instytutu Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk (PAN) oraz Instytutu Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej (IMDiK) PAN. Efektem naszej współpracy są trzy publikacje z niniejszego cyklu. Równocześnie, po utworzeniu z mojej inicjatywy rejestru pacjentów leczonych przez tętniczą chemoembolizacją (TACE) z powodu raka wątrobowokomórkowego (HCC), dwie pozostałe publikacje z cyklu bazują na współpracy z prof. Przemysławem Bieckiem z Wydziału Matematyki i Nauk Informacyjnych PW - ekspertem w dziedzinie AI oraz komputerowego wspomaganie diagnostyki. W badaniach dotyczących AI w radiologii korzystaliśmy z doświadczenia płynącego ze współpracy międzynarodowej z naukowcami ze Szpitala Uniwersyteckiego w Ottawie (Kanada) oraz Duke University Hospital w Durham (USA).

Niniejszy cykl składa się z siedmiu publikacji po doktoracie, w sześciu pełnię rolę pierwszego autora. Wspólnym celem wszystkich prac wchodzących w skład tego cyklu było zastosowanie nowych technologii - sztucznej inteligencji (AI) oraz optycznych czujników światłowodowych (OFS) - w modelowaniu prognostycznym wyników leczenia pacjentów poddawanych małoinwazyjnym zabiegom radiologii interwencyjnej. Wszystkie prace łączy interdyscyplinarne podejście do rozwiązywania problemów z pogranicza radiologii i inżynierii biomedycznej, opracowane we współpracy z zespołami z Politechniki Warszawskiej oraz innych ośrodków naukowych krajowych i zagranicznych.

W **pierwszej pracy** (*A novel radiomics approach for predicting TACE outcomes in hepatocellular carcinoma patients using deep learning for multi-organ segmentation. Scientific Reports*) przedstawiono innowacyjne, autorskie podejście do przewidywania wyników terapii chemoembolizacji przezcewnikowej (TACE) u pacjentów z nieoperacyjnym rakiem wątrobowokomórkowym (HCC). Zaproponowana metoda

wykorzystuje AI do segmentacji obszarów zainteresowania, cechy radiomiczne do modelowania prognostycznego oraz wyjaśnialną sztuczną inteligencję (XAI) do pogłębionej analizy wyjaśnienia sposobu działania modelu. Podejście takie, w odróżnieniu od tradycyjnych modeli klinicznych nie wymaga danych klinicznych oraz eksperckiej oceny radiologicznej, lecz pozwala na kompleksowe przewidywanie wyników leczenia TACE wykorzystując jako jedyne dane wejściowe obrazy CT wykonane przed zabiegiem TACE.

Co więcej, w przeciwieństwie do tradycyjnych modeli radiomicznych, które wymagają pracochłonnej, ręcznej segmentacji ograniczonej do obszarów nowotworowych, nasze podejście pozwala na wieloczynnikową analizę różnych obszarów zainteresowania (VOI), takich jak mięszc wątrob, czy kości. Wyniki pokazują, że modele radiomiczne wykorzystujące algorytmy uczenia maszynowego są porównywalne do konwencjonalnych modeli klinicznych, jeśli chodzi o przewidywanie długości życia pacjentów w naszej kohorcie. Jednak w prognozowaniu czasu wolnego od progresji, zaproponowane przez mój zespół modele radiomiczne wykazały się lepszą skutecznością niż modele kliniczne. Dodatkowo, pogłębiona analiza metodami XAI podkreśliła znaczenie cech z VOI spoza obszaru nowotworowego, które zbiorczo okazały się bardziej istotne niż cechy z pozyskane z samego guza wątrob.



Rysunek 1. Schemat badania przedstawiający kolejno wykonane kroki: 1) kwalifikacja pacjentów, 2) tworzenie masek guzów i organów oraz obliczanie cech radiomicznych, 3) modelowanie prognostyczne modelem konwencjonalnym (regresja Coxa) oraz technikami uczenia maszynowego (losowy las decyzyjny [random survival forrest]), 4) analiza metodami wyjaśnialnej sztucznej inteligencji.

Podsumowując, proponowane przez nas podejście wykorzystuje jedynie dane pozyskane z obrazów TK, eliminuje ograniczenia związane z ręczną segmentacją VOI, jest całkowicie automatyczne (nie wymaga oceny radiologa) oraz uwypukla kliniczną istotność cech wykraczających poza regiony nowotworowe. Wyniki tej pracy sugerują, że proponowane modele radiomiczne mają potencjał w prognozowaniu wyników TACE, co może mieć również implikacje dla innych scenariuszy klinicznych w onkologii, sugerując dalsze możliwości rozwoju badań.

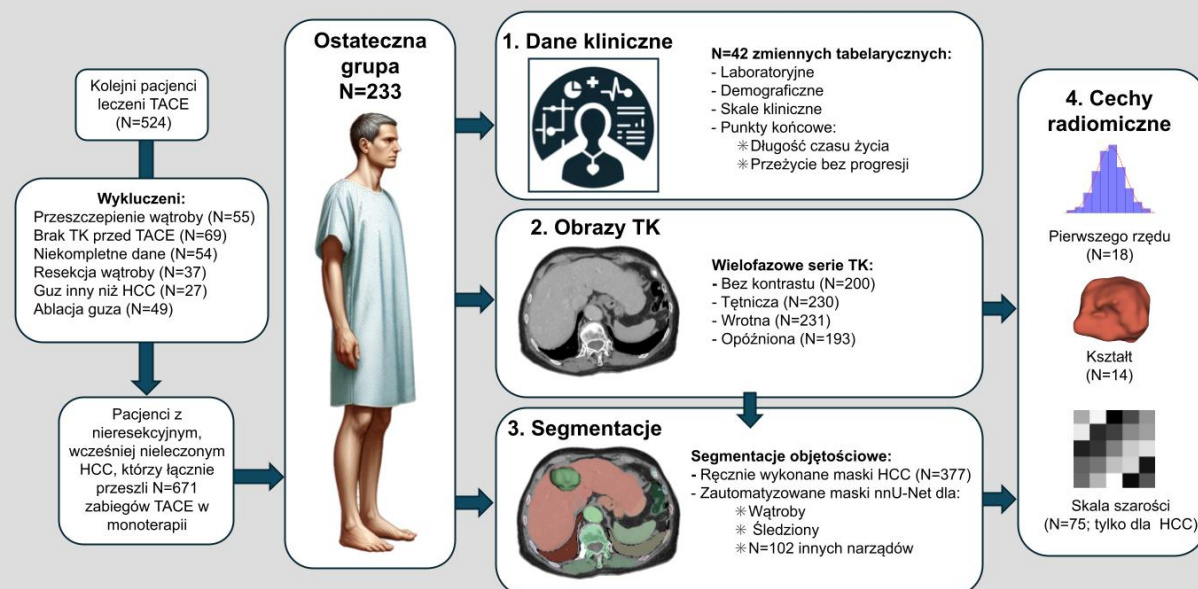
To badanie było finansowane w ramach grantu INTEGRA WUM-PW, w którym pełnię rolę kierownika. Dodatkowo, na potrzeby projektu uzyskałem grant obliczeniowy od Laboratorium Bioinformatyki i Genomiki Obliczeniowej oraz Centrum Obliczeń Wysokiej Wydajności Wydziału Matematyki i Nauk Informacyjnych Politechniki Warszawskiej. Mój wkład merytoryczny obejmował kierowanie zespołem, opracowanie zbioru danych, w tym segmentację VOI, analizę danych, a także napisanie manuskryptu i przygotowanie rycin. Przez cały okres trwania badania byłem odpowiedzialny za koordynację współpracy między II Zakładem Radiologii Klinicznej WUM a Wydziałem Matematyki i Nauk Informacyjnych PW. Przed opublikowaniem manuskryptu prezentowałem wyniki badania podczas *European Congress of Radiology 2024* w Wiedniu.

W drugiej publikacji (*WAW-TACE: A Dataset of Hepatocellular Carcinoma Patients Treated with Transarterial Chemoembolization, Featuring Annotated Multiphase CT Images, Radiomics Features, and Comprehensive Clinical Data, Radiology: Artificial Intelligence 2024*) mój zespół skupił się na stworzeniu i udostępnieniu otwartego zbioru danych do badań nad wykorzystaniem AI w małoinwazyjnym leczeniu HCC. Pomimo postępów w metodach leczenia HCC, postępowanie terapeutyczne oraz przewidywanie wyników leczenia nadal stanowi istotne wyzwanie, co wymaga opracowania nowych modeli prognostycznych. AI ma obiecujący potencjał jako narzędzie prognostyczne, ale wdrożenie takich modeli wymaga zgromadzenia dużej ilości danych do trenowania modeli.

Praca ta ma charakter oryginalny, ponieważ po raz pierwszy wykorzystaliśmy narzędzia AI do nowatorskiego, zautomatyzowanego wyodrębnienia struktur z wielofazowych obrazów TK, co znacząco zwiększa jakość i szybkość segmentacji niezbędnej w zbiorach danych przygotowanych do zastosowań AI. Zbiór ten powstał we współpracy z Ottawa Hospital Research Institute w Kanadzie, co dodatkowo podkreśla międzynarodowy i interdyscyplinarny charakter projektu. Publikacja przedstawia zbiór danych, który zawiera rejestr 233 nieleczonych dotychczas pacjentów z HCC. Zasób obejmuje obrazy CT wykonane przed TACE, ręcznie wykonane segmentacje guzów (łącznie 377 zmian) oraz automatycznie wygenerowane maski wielonarządowe. Dodatkowo, zebrano odpowiednio wyekstrahowane cechy radiomiczne oraz obszerne dane kliniczne, w tym kluczowe punkty końcowe, takie jak przeżycie wolne od progresji, długość życia pacjentów oraz efekt techniczny terapii TACE.

WAW-TACE: graficzne streszczenie

Zbiór danych WAW-TACE zawiera wielofazowe obrazy TK jamy brzusznej od N=233 pacjentów z rakiem wątrobowokomórkowym, którzy zostali poddani terapii TACE w monoterapii, N=377 ręcznie przygotowanych masek nowotworów wątroby, automatyczne segmentacje wielu narządów wewnętrznych, wyekstrahowane cechy radiomiczne oraz odpowiadające im obszerne dane kliniczne.



Rysunek 2. Streszczenie graficzne zbioru WAW-TACE z wyszczególnieniem jego kluczowych elementów.

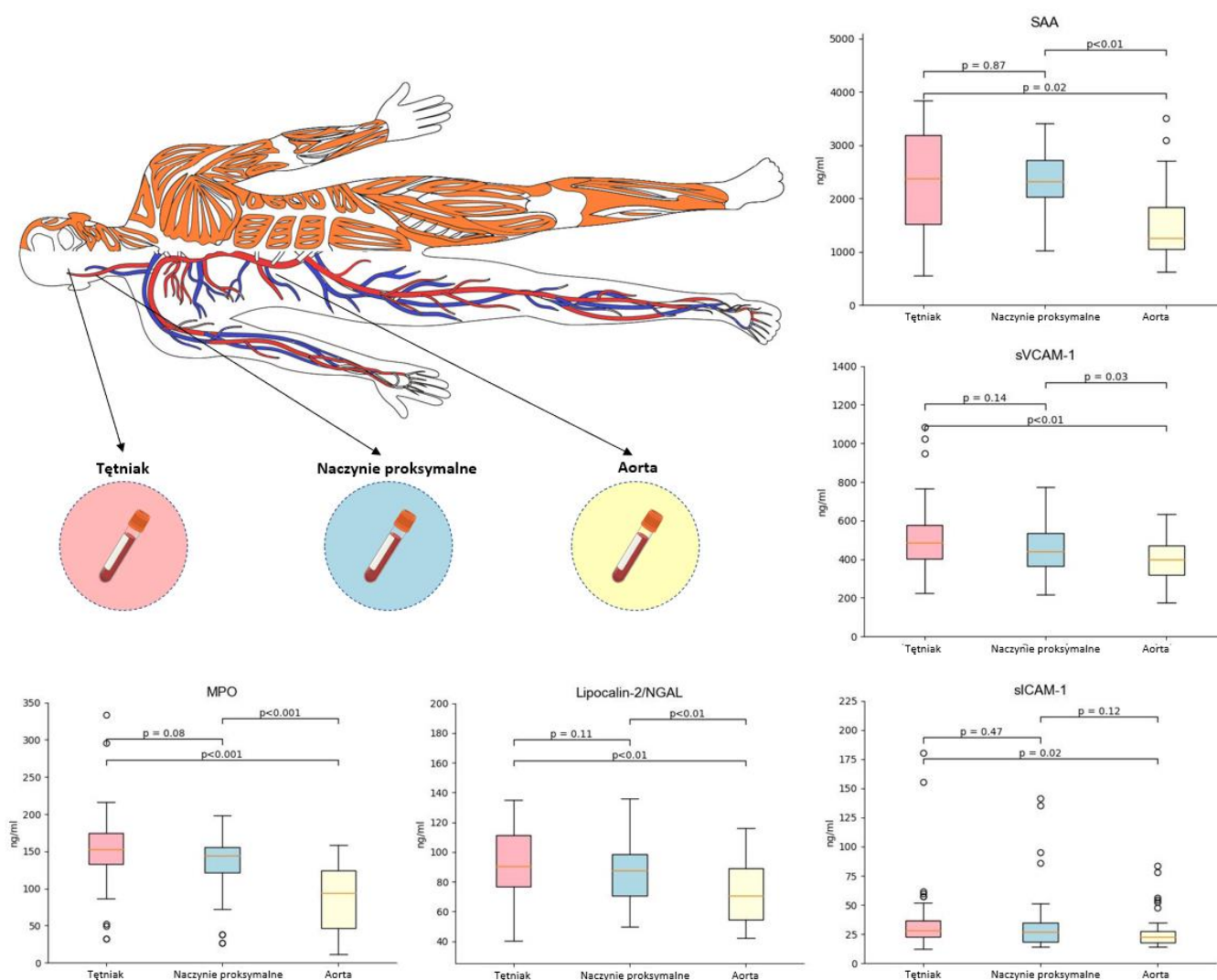
Zbiór WAW-TACE stanowi cenny zasób wspierający badania nad AI w kontekście prognozowania wyników leczenia HCC. Należy podkreślić, że z perspektywy światowego środowiska AI jest to wyjątkowa publikacja, przedstawiająca największy otwarty zbiór danych do badań w tej tematyce. Zauważono to i doceniono w środowisku międzynarodowym, co zostało wyrażone publikacją w renomowanym czasopiśmie *Radiology: Artificial Intelligence* wydawanym przez Radiological Society of North America. Praca umożliwia dalszy rozwój modeli AI, które mogą przyczynić się do lepszego zarządzania leczeniem i poprawy wyników u pacjentów z HCC.

To badanie było finansowane w ramach grantu INTEGRA WUM-PW w którym jestem kierownikiem. Dodatkowo, na potrzeby projektu uzyskałem grant obliczeniowy od Laboratorium Bioinformatyki i Genomiki Obliczeniowej oraz Centrum Obliczeń Wysokiej Wydajności Wydziału Matematyki i Nauk Informacyjnych Politechniki Warszawskiej. Mój wkład merytoryczny w pracę obejmował kierowanie zespołem, opracowanie zbioru danych, w tym segmentacji guzów oraz napisanie manuskryptu i stworzenie grafik. Przez cały okres trwania badania byłem odpowiedzialny za koordynowanie współpracy międzyośrodkowej pomiędzy II Zakładem Radiologii Klinicznej WUM, Wydziałem Matematyki i Nauk Informacyjnych PW oraz The Ottawa Hospital Research Institute. Wyniki pracy były prezentowane podczas *European Congress of Radiology 2025* w Wiedniu.

Trzecia publikacja (*Immunological alterations in intracranial aneurysm: a prospective study on selected biomarker profiles in blood collected during endovascular neurointervention. Neurologia i Neurochirurgia Polska 2024*) powstała we współpracy z IMDiK PAN i jest podsumowaniem badań wstępnych nad modelem przyżyciowego, małoinwazyjnego wykrywania zaburzeń immunologicznych w mikrośrodku tętniaków wewnątrzczaszkowych (IA). W poprzednich badaniach wykazano, że stężenia wybranych biomarkerów immunologicznych są lokalnie podwyższone w próbkach pobranych ze światła IA i potencjalnie mogą być przydatne w celu przewidywania wyników leczenia wewnątrznaczyniowego. Głównym celem niniejszego badania było ustalenie, czy różnice w stężeniach biomarkerów są zależne od pochodzenia próbek krwi (np. czy są pobierane z naczyń mózgowych czy obwodowych), co mogłoby dostarczyć informacji na temat lokalnego charakteru tych zmian i ich znaczenia w patogenezie IA. Dodatkowym celem była ocena ograniczeń

wynikających z konwencjonalnych metod oznaczania biomarkerów, jako przygotowanie do wprowadzenia nowych technologii czujnikowych w tym obszarze.

W tym prospektywnym badaniu wzięło udział 24 pacjentów z IA, którzy leczeni byli metodą embolizacji wewnątrznaczyniowej. Stężenia wybranych analitów (MPO, lipokaliny-2/NGAL, sICAM-1, sVCAM-1 i amyloidu A) analizowano w próbkach krwi pobranych bezpośrednio z wnętrza tętniaka, tętnicy proksymalnie do tętniaka oraz aorty. Miejsca pobrania próbek krwi do badań są zaznaczone schematycznie na rysunku nr 1.



Rysunek 3. Schematyczne przedstawienie pacjenta z tętniakiem wewnątrzczaszkowym zlokalizowanym u podstawy czaszki podczas zabiegu embolizacji przez tętnicę. Poglądowo zaznaczono trzy miejsca, z których u każdego pacjenta przed embolizacją pobrano próbki krwi do oznaczeń biochemicznych (kopuła tętniaka, naczynie proksymalne i aorta, oznaczone kolejno kolorem

czzerwonym, niebieskim i żółtym). Wykresy przedstawiają średnie stężenia wybranych analitów oznaczonych w ramach niniejszego badania.

Publikacja ta stanowi istotne ogniwo cyklu, ponieważ ujawnia biologiczne podłoże i kliniczne uzasadnienie dla rozwoju nowych technologii czujnikowych, takich jak OFS. W tej publikacji nasz zespół wskazał na istnienie specyficznych i lokalnie występujących zaburzeń immunologicznych w tętniakach wewnątrzczaszkowych, które mogą mieć znaczenie prognostyczne w ocenie wyników małoinwazyjnych zabiegów wewnątrznaczyniowych. Wyniki analiz sugerują, że IA i proksymalna do niego tętnica dzielą podobieństwa w lokalnym mikrośrodkowisku immunologicznym, które różni się od obserwowanego w aorcie. Jednocześnie badanie pokazuje ograniczenia konwencjonalnych metod (np. ELISA), które są zbyt złożone i czasochłonne, by umożliwić ich wykorzystanie podczas zabiegów w czasie rzeczywistym. Warto podkreślić, że nie istnieje dotychczas metoda wewnątrznaczyniowej oceny biomarkerów w trakcie minimalnie inwazyjnego leczenia tętniaków wewnątrzczaszkowych. Wyniki te wyraźnie podkreślają konieczność opracowania nowej generacji biosensorów, w tym opartych na technologii światłowodowej, zdolnych do szybkiego i selektywnego wykrywania markerów zapalnych w warunkach klinicznych. Skutkowało to rozpoczęciem badań nad zastosowaniem OFS w warunkach panujących podczas zabiegu embolizacji tętniaków wewnątrzczaszkowych zlokalizowanych w okolicy podstawy czaszki, co zostało opisane w publikacji nr 7 z cyklu. Tym samym niniejsza publikacja ta stanowi punkt wyjścia dla dalszych prac nad OFS w prognozowaniu wyników leczenia, co spaja ją z tematyką całego cyklu.

To badanie było finansowane z kierowanego przeze mnie grantu "Projekt Młodego Badacza" organizowanego przez WUM. Mój wkład merytoryczny w pracę obejmował kierowanie zespołem, opracowanie projektu badania, pobieranie, przechowywanie i analizowanie próbek, analizę danych oraz przygotowanie manuskryptu. Przez cały okres trwania badania byłem odpowiedzialny za koordynowanie współpracy międzyośrodkowej pomiędzy II Zakładem Radiologii WUM, Zakładem Immunologii WUM, Bankiem Komórek Macierzystych Kliniki Hematologii WUM i Zakładem Immunologii IMDiK PAN. Przed opublikowaniem manuskryptu prezentowałem wyniki tego badania podczas *European Congress of Radiology 2024* w Wiedniu.

W czwartej publikacji (*Advancements in optical fiber sensors for in vivo applications – A review of sensors tested on living organisms. Measurement 2024*) przeanalizowałem rosnące zapotrzebowanie na miniaturowe OFS w badaniach biomedycznych, spowodowane postępem technik chirurgicznych i nowatorskimi projektami naukowymi. Czujniki te odgrywają coraz większą rolę w leczeniu chorób i badaniach biomedycznych, a rosnące zainteresowanie koncentruje się na monitorowaniu różnych parametrów fizycznych i biochemicznych wewnątrz żywych organizmów (in vivo). Należy podkreślić, że w porównaniu z konwencjonalnymi czujnikami elektronicznymi, OFS oferują unikalne zalety takie jak mały rozmiar, elastyczność i biokompatybilność, przez co są one idealne do integracji z narzędziami chirurgicznymi. Cechy te w połączeniu z odpornością na zakłócenia elektromagnetyczne czyni je idealnymi rozwiązaniami do pomiarów w środowiskach o wysokim polu elektromagnetycznym, w tym podczas zabiegów wewnątrznaczyniowych radiologii interwencyjnej.

Niniejsza praca stanowi przegląd różnych rozwiązań czujnikowych OFS testowanych in vivo, sklasyfikowanych według zasady działania i mierzonych parametrów. Przedstawiono również przyszłe perspektywy i wyzwania związane z rozwojem technologii OFS z perspektywy użytkownika. Przegląd ten jest skierowany do szerokiego grona zainteresowanych technologią OFS, zarówno lekarzy, jak i inżynierów, podczas gdy praca podkreśla znaczenie interdyscyplinarnej współpracy w celu pełnego wykorzystania potencjału OFS w medycynie i naukach biomedycznych.

To badanie było finansowane w ramach grantu OPUS realizowanego przez konsorcjum pod kierownictwem prof. Mateusza Śmietany z PW. Mój wkład merytoryczny w pracę polegał na zebraniu i analizie piśmiennictwa, a następnie przygotowaniu manuskryptu oraz rysunków.

W piątej publikacji (*Biosensing solutions for protein measurement in blood-derived media: a review*) przeanalizowałem wyzwania i najnowsze osiągnięcia w obszarze biosensoryki w mediach pochodnych krwi, takich jak osocze czy surowica, które odgrywają kluczową rolę w diagnostyce molekularnej. Złożony skład krwi, zawierający komórki, białka, sacharydy i lipidy, utrudnia selektywny pomiar analitów ze względu na liczne oddziaływania tych składników z powierzchniami sensorów. W

pracy szczególną uwagę poświęcono wykrywaniu białek, które są istotnymi markerami obecności chorób, ich postępu oraz odpowiedzi na leczenie.

Należy podkreślić, że rozwój biosensorów zdolnych do selektywnego oznaczania białek w mediach pochodnych krwi jest kluczowy z punktu widzenia małoinwazyjnych zabiegów radiologii interwencyjnej, w których większość istotnych oznaczeń wykonywana jest w krwi. Miniaturowe, biokompatybilne biosensory mogą umożliwiać śródoperacyjne monitorowanie parametrów molekularnych w czasie rzeczywistym, co sprzyja szybszej diagnostyce i podejmowaniu decyzji terapeutycznych bez konieczności długotrwałej analizy laboratoryjnej.

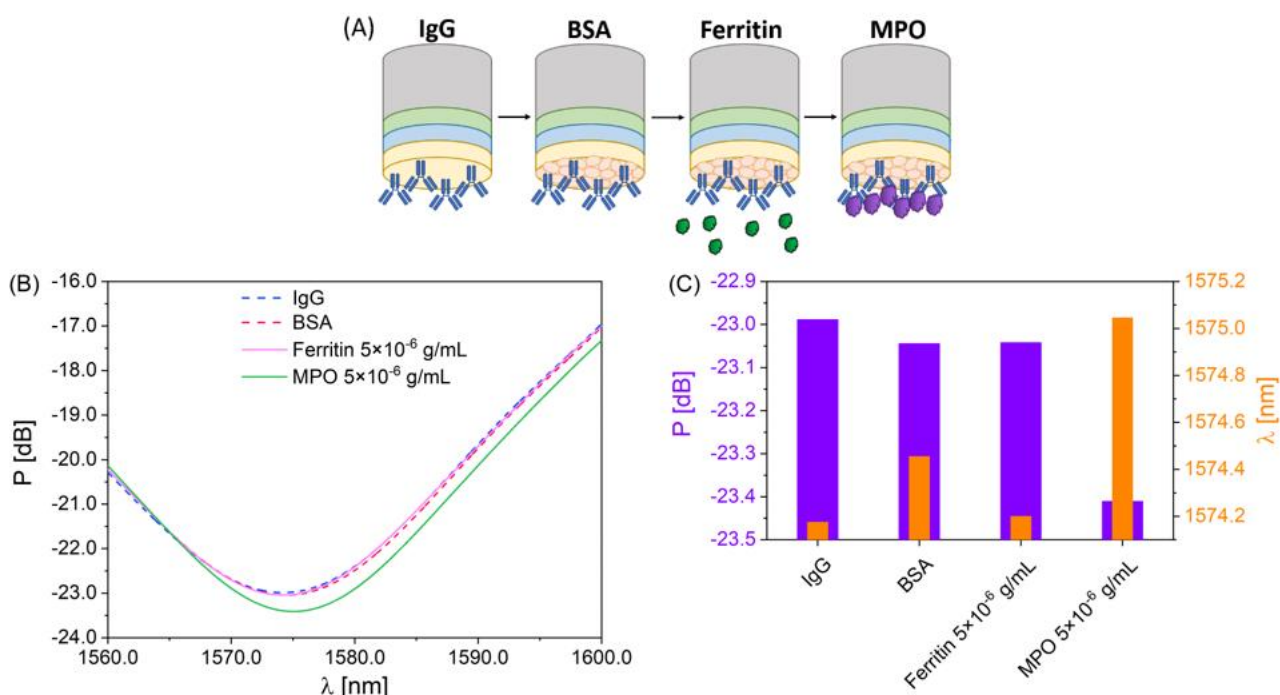
W artykule omówiłem skład krwi i sposób, w jaki jej komponenty oddziałują z powierzchniami sensorów, a także przedstawiłem tradycyjne metody detekcji białek, takie jak ELISA, Western Blot czy spektrometria mas. Przeanalizowałem również strategie zwiększania selektywności pomiarów i redukcji wiązania niespecyficznego. Dodatkowo zaprezentowałem potencjał bezetykietowych biosensorów, które umożliwiają miniaturyzację oraz monitorowanie w czasie rzeczywistym, jednak są podatne na zakłócenia. Wskazałem także kierunki przyszłych badań, podkreślając potrzebę rozwoju technologii umożliwiających precyzyjną diagnostykę w warunkach klinicznych, szczególnie w kontekście ich integracji z narzędziami wykorzystywanymi w radiologii interwencyjnej. Przegląd ten skierowany jest do szerokiego grona odbiorców zainteresowanych nowoczesnymi rozwiązaniami biosensorycznymi w diagnostyce, w tym zarówno naukowców, jak i praktyków klinicznych. Podkreśla znaczenie interdyscyplinarnej współpracy na styku biologii, chemii i inżynierii, niezbędnej do skutecznego wdrażania innowacyjnych biosensorów w praktyce medycznej.

To badanie było finansowane w ramach grantu OPUS realizowanego przez konsorcjum pod kierownictwem prof. Mateusza Śmietany z PW. Mój wkład merytoryczny w pracę polegał na zebraniu i analizie piśmiennictwa, a następnie przygotowaniu manuskryptu oraz rysunków.

W szóstej publikacji (*Double-layer optical fiber interferometer with bio-layer-modified reflector for label-free biosensing of inflammatory proteins*) nasz zespół przedstawił koncepcję i wstępne badania nad zastosowaniem interferometru

światłowodowego z podwójną warstwą do bezetykietowej detekcji białek zapalnych. Zaprezentowany sensor wykorzystuje unikalną strukturę podwójnej warstwy cienkich filmów tlenków — tytanu (TiO_2) i hafnu (HfO_2) — które zostały precyzyjnie naniesione na czoło światłowodu jednomodowego metodą rozpylania magnetronowego. Druga warstwa struktury modyfikuje warunki odbicia na zewnętrznej płaszczyźnie, umożliwiając wykrywanie zmian w odbitym widmie optycznym w przypadku wiązania się warstwy bioaktywnej.

Badania numeryczne i eksperymentalne wykazały, że zaproponowane rozwiązanie, oprócz dobrze zdefiniowanego widma interferencyjnego, pozwala rozróżniać zmiany współczynnika załamania światła zachodzące w objętości oraz na powierzchni sensora - co jest istotne z punktu widzenia zastosowań w diagnostyce bezetykietowej. Jako przykład praktycznego wykorzystania przedstawiono wykrywanie mieloperoksydazy (MPO) — białka, którego stężenie wzrasta w stanach zapalnych. Sensor reagował na zmiany stężenia MPO w zakresie od 1×10^{-11} do 5×10^{-6} g/mL, co objawiało się przesunięciem widma interferencyjnego ku dłuższym długościom fali i spadkiem mocy odbitej. Badania kontrolne z użyciem ferrytyny potwierdziły specyficzność sensora względem MPO.



Rysunek 4. (A) Schematyczne przedstawienie procedury pomiarowej; (B) Uśrednione widma optyczne sensora w roztworze w buforze soli fosforanowych (PBS) zarejestrowane po unieruchomieniu

pierwotnego IgG, BSA oraz inkubacji w obecności niespecyficznego ferrytyny i specyficznego MPO. (C) Długość fali odpowiadająca minimum wzoru interferencyjnego oraz moc odbita po każdym etapie eksperymentu.

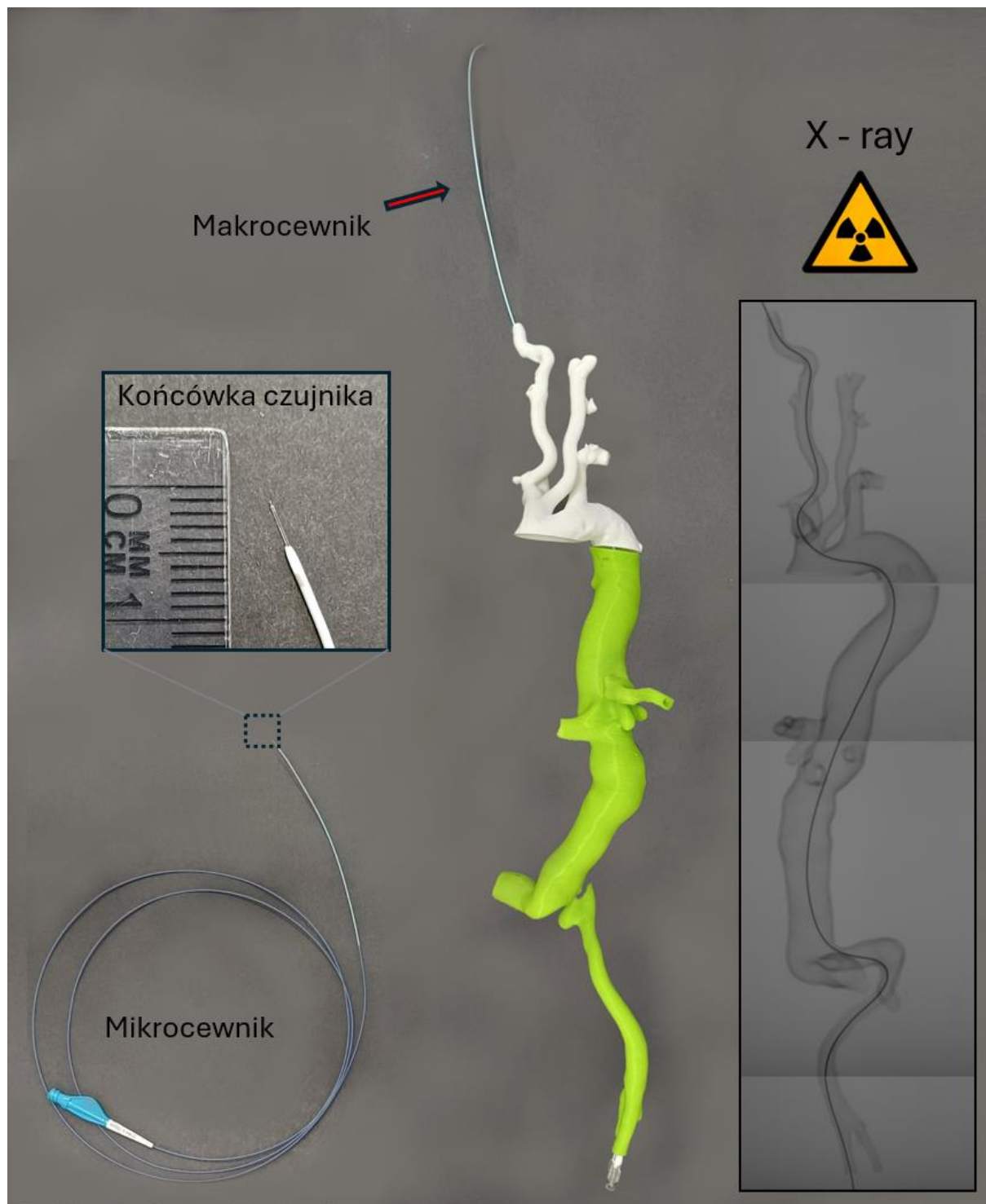
Należy podkreślić, że opracowany sensor ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia przyszłej diagnostyki śródoperacyjnej, szczególnie w procedurach małoinwazyjnych, takich jak zabiegi wewnątrznaczyniowe w radiologii interwencyjnej, gdzie szybka i selektywna detekcja markerów zapalnych w czasie rzeczywistym może wspierać podejmowanie decyzji terapeutycznych. Potencjał wykorzystania takiego sensora podczas zabiegów został potwierdzony w kolejnej pracy z niniejszego cyklu publikacji, w której przeprowadziliśmy symulacje warunków wewnątrznaczyniowych, badając jego właściwości oraz odporność operacyjną.

Mój wkład merytoryczny w tę pracę polegał na pisaniu manuskryptu (przygotowaniu części wprowadzającej i metodologicznej), doborze analitów do doświadczeń (MPO), przeprowadzeniu eksperymentów z testowaniem sensora oraz opracowaniu grafik ilustrujących zasadę działania i wyniki pomiarów.

W siódmej publikacji (*Thin-film-based optical fiber interferometric sensor on the fiber tip for endovascular surgical procedures. Transactions on Biomedical Engeneering*) zbadano zaprojektowany przez nasz zespół czujnik OFS w scenariuszach symulujących małoinwazyjne zabiegi przezciętnicze. Chirurgia wewnątrznaczyniowa wymaga precyzyjnego pomiaru parametrów takich jak ciśnienie, temperatura oraz biomarkery wewnątrz naczyń, co jest kluczowe dla monitorowania organizmu w czasie rzeczywistym i zapewnienia ukierunkowanych interwencji terapeutycznych. Jednakże, dostępność miniaturowych czujników, zdolnych do precyzyjnego zastosowania, np. podczas nawigacji przez naczynia tętnicze i światło tętniaka, jest znacznie ograniczona. Zaproponowane przez nasz zespół rozwiązanie mają potencjał do zaspokojenia tej potrzeby, oferując możliwości analizy w czasie rzeczywistym, elastyczność i biokompatybilność.

Nasz sensor bazuje na pojedynczym włóknie krzemionkowym z interferometryczną końcówką pokrytą cienką warstwą tlenków metali, która może być dostosowana do wykrywania różnych parametrów fizycznych, np. właściwości optyczne badanej próbki. Czujnik ten, po odpowiednim przygotowaniu, może służyć

jako narzędzie do pomiarów specyficznych analitów biochemicznych, takich jak np. białka zapalne.



Rysunek 5. Graficzne przedstawienie testowanego czujnika wewnątrz mikrocewnika, oraz makrocewnika w modelu naczyń w rzeczywistej wielkości, wykonanego w technologii druku 3D. Średnica zewnętrzna czujnika wynosi 125 μm , a sensor jest wprowadzany do modelu poprzez mikrocewnik. Model naczyniowy przedstawia przedni widok dwóch trójwymiarowych modeli. Moduł zielony odwzorowuje aortę piersiową, brzuszną oraz oś biodrową, natomiast model biały odwzorowuje

łuk aorty z odgałęzieniami. Odpowiedni obraz rentgenowski modeli został przedstawiony po prawej stronie, ukazując makrocewnik prowadzący, który przekracza i oznacza linię centralną modeli. Oba modele naczyniowe zostały ustawione w taki sposób, aby odzwierciedlać warunki anatomiczne napotykane podczas cewnikowania naczyń docelowych na poziomie podstawy czaszki. Głównym celem było ocena elastyczności oraz właściwości mechanicznych końcówki światłowodowego sensora optycznego skierowanej do przodu. Przez model cały naczyniowy został nawigowany makrocewnik o średnicy 5 French. Następnie zestaw składający się z OFS wspieranego mikrocewnikiem został wprowadzony do wyznaczonego miejsca pomiarowego po przeciwnej stronie modelu. Przeprowadziliśmy wielokrotne cykle wprowadzania i usuwania sensora, aby ocenić jego wytrzymałość na powtarzające się manipulacje. Za każdym razem końcówka OFS była wysuwana około 2-3 mm poza światło cewnika skierowanego do przodu. Wykonaliśmy serię pomiarów przy użyciu sensora, aby ocenić jego działanie w tym środowisku.

W niniejszych eksperymentach przetestowano odporność zaproponowanego sensora na warunki fizyczne i biochemiczne możliwe do napotkania podczas zabiegów wewnątrznaczyniowych. Do testów odporności mechanicznej zastosowano pełnowymiarowy model naczyniowy wydrukowany w technologii 3D. Celem było odtworzenie warunków anatomicznych panujących podczas przeznaczeniowej embolizacji tętniaków wewnątrzczaszkowych - w środowisku zbliżonym do przedstawionego w publikacji nr 3 z cyklu. Wyniki wykazały wysoką wytrzymałość mechaniczną systemu czujnikowego, zachowanie funkcjonalności bez istotnej utraty sygnału podczas wykonanych testów oraz odpowiednią elastyczność podczas manewrowania wewnątrznaczyniowego. Dodatkowo, w doświadczeniach odporności biochemicznej z wykorzystaniem surowicy bydlęcej czujnik działał prawidłowo. Niniejsze badanie pokazuje, że zaproponowany system czujnikowy oferuje obiecujące możliwości w chirurgii wewnątrznaczyniowej oraz innych zastosowaniach biomedycznych, umożliwiając precyzyjny i bezpośredni pomiar wybranych parametrów, nawet w trudno dostępnych lokalizacjach, takich jak naczynia krwionośne.

To badanie było finansowane w ramach grantu OPUS realizowanego przez konsorcjum Politechniki Warszawskiej, Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, Instytutu Chemii Fizycznej oraz Instytutu Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej Polskiej Akademii Nauk pod kierownictwem prof. Mateusza Śmietany. Mój wkład merytoryczny w pracę obejmował opracowanie modeli 3D, metodologii pomiarów, przeprowadzenie pomiarów i analizowanie danych oraz przygotowanie manuskryptu. Przez cały okres trwania badania byłem odpowiedzialny za koordynowanie współpracy

miedzyośrodkowej pomiędzy podmiotami wchodzącymi w skład konsorcjum. Przed opublikowaniem manuskryptu prezentowałem wyniki badania podczas wystąpienia na *Veith Symposium 2023* w Nowym Jorku oraz w trakcie *European Congress of Radiology 2024* w Wiedniu.

Podsumowując, do najważniejszych wniosków płynących z przedstawionych prac składających się na cykl 7 publikacji, które prowadzą do dalszego rozwoju nowych technologii w kontekście małoinwazyjnych zabiegów wewnątrznaczyniowych, należą:

- wprowadzenie nowych technologii, w tym OFS i AI, ma potencjał do udoskonalenia diagnostyki i terapii, umożliwiając dokładniejsze prognozowanie wyników leczenia oraz personalizację małoinwazyjnych zabiegów radiologii interwencyjnej.
- OFS oferują unikalne właściwości, takie jak mały rozmiar, elastyczność i biokompatybilność, co czyni je idealnymi do monitorowania parametrów fizycznych i biochemicznych w medycynie, zwłaszcza w środowiskach o wysokim natężeniu pola elektromagnetycznego lub jonizującego.
- analiza stężeń biomarkerów w tętniakach wewnątrzczaszkowych wskazuje na specyficzne lokalne zmiany immunologiczne, które mogą być istotne w patogenezie tętniaków i przewidywaniu wyników leczenia. Niemniej jednak, obecne metody analizy biomarkerów są czasochłonne i skomplikowane, co podkreśla potrzebę opracowania nowych technologii, takich jak czujniki OFS, umożliwiających analizę w czasie rzeczywistym w praktyce klinicznej.
- AI i radiomika pozwalają na analizę dużych ilości danych medycznych, identyfikując ukryte wzorce i poprawiając prognozowanie wyników leczenia, co jest szczególnie korzystne w przypadku minimalnie inwazyjnych zabiegów.
- wykorzystanie radiomiki i AI do analizy obrazów CT u pacjentów z HCC pokazuje, że modele te mogą przewyższać tradycyjne podejścia kliniczne, szczególnie w przewidywaniu czasu wolnego od progresji.

Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Łącznie z publikacjami wchodzącymi w skład cyklu wynikającego z **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.)** jestem autorem lub współautorem 19 pełnotekstowych publikacji naukowych. Wyniki prowadzonych prac były

przedstawiane na kongresach międzynarodowych towarzystw naukowych, w tym: *Europejskiego Towarzystwa Radiologicznego, Towarzystwa Radiologicznego Ameryki Północnej i Veith Symposium.*

Do głównych tematów podejmowanych przeze mnie badań należą:

- ocena wyników leczenia pacjentów z rakiem wątrobowokomórkowym, ze szczególnym uwzględnieniem przetłuszczowej chemoembolizacji,
- rozwiązania sensoryczne, zwłaszcza interferometryczne OFS, zdolnych do pomiarów analitów podczas zabiegów wewnątrznaczyniowych
- sztuczna inteligencja w radiologii i diagnostyce obrazowej, w tym modele uczenia głębokiego i maszynowego, radiomika oraz wyjaśnialna AI

Jestem laureatem konkursu SONATINA 9 Narodowego Centrum Nauki na realizację projektu pt. *Sztuczna inteligencja w prognozowaniu wyników leczenia nowotworów jamy brzusznej – wdrażanie metod uczenia maszynowego i głębokiego uczenia do kompleksowej analizy obrazów medycznych* (kwota finansowania: 705 935 zł, nr decyzji DEC-2025/56/C/NZ7/00276). W projekcie tym pełnię funkcję kierownika, a jego realizacja odbywa się w konsorcjum Politechniki Warszawskiej (Centrum Wiarygodnej Sztucznej Inteligencji) oraz Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego. Partnerem zagranicznym przedsięwzięcia jest Duke University (USA), gdzie zespół kierowany przez prof. Macieja Mazurowskiego wnosi swoje doświadczenie w dziedzinie AI w radiologii. Projekt obejmuje szereg zadań badawczych związanych z zastosowaniem sztucznej inteligencji do prognozowania wyników leczenia wybranych nowotworów jamy brzusznej. W jego ramach odbędę również trzymiesięczny staż naukowy w *Duke Center for Artificial Intelligence in Radiology*, co umożliwi mi zdobycie doświadczenia we wdrażaniu metod AI w praktyce klinicznej. W dalszej perspektywie planuję prowadzenie badań o charakterze wdrożeniowym oraz ubieganie się o finansowanie jako kierownik projektów w ramach konkursu LIDER Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. W związku z tym aktualnie uczestniczę w szkoleniach oraz zdobywam certyfikaty z zakresu zarządzania projektami, m.in. Agile Project Management® v3 Foundation oraz Certified Associate in Project Management (CAPM)® Exam.

Co więcej, byłem kierownikiem projektu „*GliomAI: Sztuczna Inteligencja w Rozwoju Radiogenomicznego Zbioru Glejaków*”, finansowanego w ramach konkursu WUM-PW INTEGRA na wspólne projekty badawcze Politechniki Warszawskiej i Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego (kwota finansowania 107 000 zł, w tym 57 000 zł pozyskanych z zewnętrznego źródła „Inicjatywa doskonałości – uczelnia badawcza” Politechniki Warszawskiej). Dodatkowo kierowałem projektem „*Odmienności biomolekularne w mikrośrodkowisku tętniaków wewnątrzczaszkowych*” w ramach konkursu „Projekt Młodego Badacza” organizowanego przez WUM (kwota finansowania 20 000 zł).

Byłem również współwykonawcą i doktorantem w projekcie „*Światłowodowe systemy biosensoryczne do szybkiego i wczesnego wykrywania czynników zapalnych*”, finansowanym w ramach konkursu OPUS 18 organizowanego przez Narodowe Centrum Nauki (kwota dofinansowania 1 360 200 zł). W podobnej roli, po obronieniu doktoratu, byłem zatrudniony jako post-doc w zespole IMDiK PAN gdzie moim zadaniem było zbadanie możliwości detekcji czynników zapalnych w modelowych płynach ustrojowych.

Byłem wykonawcą w projekcie „xLungs” w ramach konkursu INFOSTRATEG Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (budżet 5 755 000 zł), kierowanym przez prof. P. Biecka z wydziału MINI PW. Moim zadaniem było wykonanie masek segmentacyjnych guzów oraz struktur klatki piersiowej na potrzeby stworzenia systemu AI do wspomagania diagnostyki radiologicznej chorób klatki piersiowej.

Poniżej lista pełnotekstowych publikacji oryginalnych, niewchodzących w skład osiągnięcia wynikającego z **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.):**

1. Diagnostic Performance of CT/MRI LI-RADS Version 2018 Major Feature Combinations: Individual Participant Data Meta-Analysis

Adamo R., van der Pol C., Alabousi M., (...), **Bartnik K.**, Kim Y., McInnes M. *Radiology*. 2025; DOI: 10.1148/radiol.243450

2. Impact of LI-RADS CT and MRI Ancillary Features on Diagnostic Performance: An Individual Participant Data Meta-Analysis

Abedrabbo N., Lam E., (...), **Bartnik K.**, Bashir M., Costa A.
Radiology. 2025; DOI: 10.1007/s00261-024-04580-6

3. Is concurrent LR-5 associated with a higher rate of hepatocellular carcinoma in LR-3 or LR-4 observations? An Individual Participant Data Meta-Analysis

Abedrabbo N., Lerner E., Lam E., (...), **Bartnik K.**, McInnes M., Bashir
Abdominal Radiology (New York). 2025; DOI: 10.1007/s00261-024-04580-6

4. A rare case of laryngeal paraganglioma: the importance of interdisciplinary involvement and role of interventional radiology

Jankowska Z., Osuch-Wójcikiewicz E., Leszczyński J., Lamparski K., Maciąg R., Januszewicz M., **Bartnik K**

Acta Angiologica. 2025; DOI: 10.5603/aa.97712

5. Can Color Doppler Ultrasound Be Effectively Used as the Follow-Up Modality in Patients Undergoing Splenic Artery Aneurysm Embolization? A Correlational Study between Doppler and Other Modalities

Lamparski K., Procyk G., **Bartnik K.**, Korzeniowski K., Maciąg R., et al.
Journal of Clinical Medicine. 2023;12(3):792

6. Tailoring refractive index and surface sensitivity of an optical fiber Fabry–Perot interferometer by a thin layer deposition

Burnat D., Kwietniewski N., **Bartnik K.**, Koba M., Kochanowska O., et al.
Journal of Lightwave Technology. 2022;41(6):1865–1873

7. Inter-observer agreement using the LI-RADS version 2018 CT treatment response algorithm in patients with hepatocellular carcinoma treated with conventional transarterial chemoembolization (TACE)

Bartnik K., Podgórska J., Rosiak G., Korzeniowski K., Rowiński O.
Abdominal Radiology. 2022;1–8

8. Association between Time to Local Tumor Control and Treatment Outcomes Following Repeated Loco-Regional Treatment Session in Patients with Hepatocellular Carcinoma: A Retrospective Study

Bartnik K., Hołowko W., Rowiński O. *Life*. 2021;11(10):1062

9. Performance of initial LI-RADS 2018 treatment response in predicting survival of patients with hepatocellular carcinoma following TACE: a retrospective, single-center cohort study

Bartnik K., Podgórska J., Rosiak G., Korzeniowski K., Giziński J., et al. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*. 2021;147:3673–3683

10. Prior blood donations do not affect efficacy of G-CSF mobilization nor outcomes of haematopoietic stem cell collection in healthy donors

Pruszczyk K., **Bartnik K.**, Bogusz K., Farhan R., Cwil D., Jastrzębska A., et al. *Vox Sanguinis*. 2019;114(6):622–627

11. Bone marrow harvest in donors with anaemia

Bartnik K., Pruszczyk K., Skwierawska K., Król M., Moskowicz A., et al. *Vox Sanguinis*. 2018;113(8):795–802

12. Continuous Mononuclear Cell Collection (cMNC) protocol impact on hematopoietic stem cell collections in donors with negative collection predictors

Bartnik K., Maciejewska M., Farhan R., Urbanowska E., Król M., Król M., et al. *Transfusion and Apheresis Science*. 2018;57(3):401–405

Byłem również autorem lub współautorem rozdziałów w podręcznikach:

- współautor książki LEPoLEK 5 (wydanie styczeń 2020 roku)
- współautor rozdziału „Położnictwo” (I-wszy autor) – platforma e-learningowa LEPoLEK

Na zaproszenie redakcji pełniłem funkcję recenzenta w następujących publikacjach:

- „The role of timing of progression and early salvage surgery in unresectable hepatocellular carcinoma treated with TACE plus TKIs and PD-1 inhibitors” dla czasopisma *Journal of Hepatocellular Carcinoma* (IF 4,2; 20 MNiSW)
- “Prediction of Therapeutic Efficacy and Progression-Free Survival in HCC Treated with TACE Using an MRI Radiomics Model” dla czasopisma *Medical Science Monitor* (IF 2.2; 140 MNiSW)
- “Artificial Intelligence and Machine Learning Predicting Transarterial Chemoembolization Outcomes: A Systematic Review” dla czasopisma *Digestive Diseases and Sciences* (IF 2.5; 70 MNiSW)

Nagrody, wyróżnienia i stypendia:

2025

- Laureat konkursu Sonatina 9 Narodowego Centrum Nauki na realizację projektu pt. *Sztuczna inteligencja w prognozowaniu wyników leczenia nowotworów jamy brzusznej – wdrażanie metod uczenia maszynowego i głębokiego uczenia do kompleksowej analizy obrazów medycznych* (kwota finansowania: 705 935 zł). Projekt realizowany będzie przez dr. Krzysztofa Bartnika w konsorcjum Politechniki Warszawskiej i Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego.
- Nagroda Polskiego Lekarskiego Towarzystwa Radiologicznego za publikację o najwyższym Impact Factor w roku 2024
- I miejsce w rankingu Polskiego Lekarskiego Towarzystwa Radiologicznego za całokształt dorobku naukowego w latach 2023–2024 w kategorii rezydentów
- III miejsce w kategorii ogólnej Polskiego Lekarskiego Towarzystwa Radiologicznego za dorobek naukowy w latach 2023–2024

2024–2025

- Stypendium dla Młodych Naukowców Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

2024

- I miejsce w rankingu Liderów Naukowych Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego za działalność w latach 2020–2023
- Zaproszenie do drugiej edycji inicjatywy „Program mentoringowy dla wybitnych młodych naukowców” organizowanej przez WUM

2023

- Laureat konkursu o grant naukowy INTEGRA WUM–PW organizowanego przez Warszawski Uniwersytet Medyczny i Politechnikę Warszawską (kwota finansowania: 107 000 zł)
- Nagroda III stopnia Polskiego Lekarskiego Towarzystwa Radiologicznego za najwyższy Impact Factor w latach 2019–2022

2020

- Laureat konkursu o grant naukowy „Projekt Młodego Badacza” organizowany przez Warszawski Uniwersytet Medyczny (kwota dofinansowania: 20 000 zł)
- Stypendium naukowe w granie OPUS 18 na podstawie otwartego konkursu organizowanego przez zespół pod kierownictwem prof. Mateusza Śmietany z Politechniki Warszawskiej

2019

- I miejsce – Nagroda im. prof. Władysława Szenajcha za najlepszy wynik Lekarskiego Egzaminu Końcowego w Polsce
- Laureat Plebiscytu „Przyszłość Medycyny” organizowanego przez wydawnictwo *Puls Medycyny*

2018

- Nagroda Naczelnej Rady Lekarskiej za osiągnięcie najlepszego w Polsce wyniku na Lekarskim Egzaminie Końcowym w 2018 roku

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

Istotna część mojego dorobku jest wynikiem aktywności naukowej we współpracy z naukowcami z innych instytucji naukowych w kraju i za granicą. Wszystkie publikacje z cyklu są efektem współpracy wieloośrodkowej na poziomie krajowym, a dokładniej:

- Instytutem Mikroelektroniki i Optoelektroniki Politechniki Warszawskiej
- Wydziałem Matematyki i Nauk Informacyjnych Politechniki Warszawskiej
- Instytutem Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk,
- Instytutem Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej Polskiej Akademii Nauk.

W ramach realizacji projektu Sonatina NCN będę zatrudniony na etacie w nowopowstałym Centrum Wiarygodnej Sztucznej Inteligencji działającym przy Politechnice Warszawskiej. Pracuję również wspólnie z ośrodkami zagranicznymi. Jedna z prac wchodząca w skład cyklu (pozycja nr 2) powstała w wyniku współpracy ze Szpitalem Uniwersyteckim w Ottawie. Kolejne trzy prace, niezależne od głównego cyklu badań, zostały zrealizowane w ramach międzynarodowej współpracy realizowanej wraz z Duke University oraz Ottawa Research Institute. Pierwsza z tych prac, pt. *"Is Concurrent LR-5 Associated with a Higher Rate of Hepatocellular Carcinoma in LR-3 or LR-4 Observations? An Individual Participant Data Meta-Analysis"*, została opublikowana w czasopiśmie *Abdominal Radiology*. Pozostałe dwie prace, pt. *"The Impact of LI-RADS CT and MRI Ancillary Features on LI-RADS Categorization and Diagnostic Performance: An Individual Participant Data Meta-Analysis"* oraz *"Diagnostic Performance of CT/MRI LI-RADS Version 2018 Major Feature Combinations: Individual Participant Data Meta-analysis"*, zostały opublikowane w renomowanym czasopiśmie *Radiology*. Prace te dotyczą zastosowania metod obrazowania TK oraz MRI w diagnostyce i leczeniu pacjentów z HCC. Ponadto, wraz z Uniwersytetem Duke pracuję nad projektem *"Federated Tumor Segmentation"*, który obejmuje rozwój największej międzynarodowej federacji instytucji opieki zdrowotnej mającej na celu stworzenie narzędzia do detekcji granic nowotworów ośrodkowego układu nerwowego na podstawie obszernej i zróżnicowanej populacji pacjentów bez udostępniania ich danych (publikacja w

przygotowaniu). Dodatkowym efektem współpracy z Duke University była dwutygodniowa wizyta studyjna, którą odbyłem Duke University Hospital w Durham, USA, w listopadzie 2024 roku. Mój pobyt na Duke był finansowany w ramach programu mentoringowego dla wybitnych młodych naukowców, organizowanego przez WUM, do którego zostałem zaproszony.

Poza tym, pracuję w zespole profesora Nickolasa Papanikolaou (Champalimaud Foundation, Lisbona, Portugalia), gdzie rozwijamy metody automatycznego i półautomatycznego wykrywania oraz segmentacji HCC w TK jamy brzusznej, porównując ich skuteczność w różnych ośrodkach oraz w kontekście różnych kryteriów kwalifikacji do leczenia (manuskrypt pt. *“Automatic and semi-automatic segmentation and detection of hepatocellular carcinoma in CT — a multicenter retrospective study”* wysłany do recenzji w *Medical Image Analysis*).

Inne prace poza cyklem, będące efektem współpracy krajowej i międzynarodowej z innymi instytucjami naukowymi, to:

- ❖ publikacja opisująca interferometryczny czujnik Fabry’ego–Perota opartego na światłowodach do zmian współczynnika refrakcji i tworzenia się warstwy na powierzchni czujnika
- ❖ publikacja opisująca czujnik światłowodowy do pomiarów markerów biochemicznych w czasie rzeczywistym dla zastosowań biomedycznych
- ❖ praca przeglądowa “Biosensing solutions for protein measurement in blood-derived media: a review” opublikowana w *Measurement* - dotyczy rozwiązań biosensorycznych pomiarów białek w krwi i materiałach krwiopochodnych, w tym radiologii interwencyjnej i chirurgii wewnątrznaczyniowej
- ❖ badania nad optymalizacją modyfikacji powierzchni czujnika światłowodowego do wykrywania markerów stanu zapalnego
- ❖ seria prac dotycząca systemu LI-RADS w diagnostyce HCC

Doniesienia zjazdowe:

- **Feasibility of Optical Fiber Platform with Sensor on the Fiber Tip for In Vivo Biochemical Measurements in Endovascular Interventional Radiology: A Proof-of-Concept Serum Study**

K. Bartnik, A. Martychowiec, N. (...) J. Niedziółka-Jönsson, M. Koba, M. Śmietana

European Congress of Radiology, Wiedeń 2025

- **WAW-TACE: A Dataset of Hepatocellular Carcinoma Patients Treated with Transarterial Chemoembolization, Featuring Annotated Multiphase CT Images, Radiomics Features, and Comprehensive Clinical Data**

K. Bartnik, T. Bartczak, M. Krzyżiński, K. Korzeniowski, K.J. Lamparski, T. Wróblewski, K. Mech, M.M. Januszewicz, P. Biecek

European Congress of Radiology, Wiedeń 2025

- **Study on Properties of Thin-Film-Based Optical Fiber Interferometric Sensor for Application During Endovascular Surgical Procedures**

K. Bartnik, A. Martychowiec, N. Kwietniewski, P. Musolf, J. Niedziółka-Jönsson, M. Koba, M. Śmietana

Veith Symposium, Nowy Jork 2023

- **Testing Properties of Novel Optical Fiber Biosensor for Use in Interventional Radiology**

K. Bartnik, A. Martychowiec, N. Kwietniewski, P. Musolf, J. Niedziółka-Jönsson, M. Koba, M. Śmietana

European Congress of Radiology, Wiedeń 2024

- **A Prospective Study of Blood Biomarkers in Intracranial Aneurysms during Endovascular Neurointervention**

K. Bartnik, J. Żyłkowski, J. Giziński, R.J. Krysiak, P. Kunert, D. Strzemecki, T. Rygiel, M.M. Januszewicz

European Congress of Radiology, Wiedeń 2024

- **TACE Outcome Prediction Using Radiomics Combined with Fully Automated Deep Learning Organ Segmentation**

K. Bartnik, M. Krzyżiński, T. Bartczak, K. Korzeniowski, K.J. Lamparski, K. Mech, T. Wróblewski, M.M. Januszewicz, P. Biecek

European Congress of Radiology, Wiedeń 2024

- **Czujniki światłowodowe do wykrywania markerów stanu zapalnego**

K. Bartnik, A. Martychowiec, N. Kwietniewski, P. Musolf, J. Niedziółka-Jönsson, M. Koba, M. Śmietana

Spotkanie Kliniczne IMDiK PAN, Warszawa 2023

- **Development of a Fiber-Optic Sensor for Detecting Inflammatory Markers. Modification of Oxide Surfaces**

P. Musolf, D. Burnat, N. Kwietniewski, A. Martychowiec, K. Bartnik, E. Roźniecka, M. Janik, M. Koba, T. Rygiel, M. Śmietana, J. Niedziółka-Jönsson*
36th European Conference on Surface Science, Łódź 2023

- **Optymalizacja modyfikacji powierzchni czujnika światłowodowego do wykrywania markerów stanu zapalnego**

P. Musolf, D. Burnat, N. Kwietniewski, A. Martychowiec, K. Bartnik, E. Roźniecka, M. Janik, M. Koba, T. Rygiel, M. Śmietana, J. Niedziółka-Jönsson*
XIV Konferencja Naukowa Technologia Elektronowa ELTE, Ryn 2023

- **Modyfikacja powierzchni tlenków metali receptorami do badań oddziaływań molekularnych**

P. Musolf, D. Burnat, N. Kwietniewski, A. Martychowiec, K. Bartnik, E. Roźniecka, M. Janik, M. Koba, T. Rygiel, M. Śmietana, J. Niedziółka-Jönsson*
XVIII Warszawskie Seminarium Doktorantów Chemików – ChemSession'22, Warszawa 2022

- **Outcomes of TACE Alone versus TACE Combined with Other Treatment Modalities in Patients with Hepatocellular Carcinoma**

Z. Jankowska, K. Bartnik, K. Korzeniowski, O. Rowiński, G. Rosiak, T. Wróblewski
17th Warsaw International Medical Congress, Warszawa 2022

Ponadto jestem członkiem następujących towarzystw naukowych:

- *Polskie Lekarskie Towarzystwo Radiologiczne*
- *European Society Of Radiology*
- *Society of Interventional Oncology*
- *Radiological Society of North America*

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę

Jako kontynuację mojej działalności dydaktycznej i popularyzatorskiej, aktywnie promuję Warszawski Uniwersytet Medyczny, nawiązując współpracę międzynarodową i inicjując wydarzenia o charakterze naukowym. W ramach programu mentoringowego finansowanego z Funduszu Rozwoju Nauki WUM, nawiązałem współpracę z prof. Maciejem Mazurowskim – dyrektorem naukowym Duke Center for Artificial Intelligence in Radiology oraz dyrektorem ds. obrazowania w Duke AI Health. Prof. Mazurowski prowadzi interdyscyplinarną działalność łączącą informatykę, inżynierię i nauki medyczne, koncentrując się na tworzeniu algorytmów uczenia maszynowego dla systemów computer vision wykorzystywanych m.in. w onkologii oraz diagnostyce układu mięśniowo-szkieletowego. Zainicjowałem jego wizytę na WUM, w ramach której 5 sierpnia 2025 roku wygłosił on wykład w sali wykładowej II Zakładu Radiologii Klinicznej UCK WUM. Spotkanie skierowane jest do pracowników, doktorantów i studentów zainteresowanych tematyką sztucznej inteligencji w radiologii. Efektem naszej współpracy jest także wspólny wniosek grantowy przygotowany we współpracy z prof. Przemysławem Bieckim z Politechniki Warszawskiej i złożony z dobrym skutkiem do Narodowego Centrum Nauki w konkursie SONATINA. Projekt, realizowany we współpracy WUM–PW–Duke, dotyczy opracowania i walidacji narzędzi AI wspierających przewidywanie skuteczności leczenia nowotworów na podstawie zaawansowanej analizy obrazów medycznych.

Od początku mojej pracy zawodowej jestem zaangażowany w działalność dydaktyczną w ramach nauczania radiologii i diagnostyki obrazowej w II Zakładzie Radiologii Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego. Przez ten czas nieprzerwanie prowadzę zajęcia dla studentów kierunku lekarskiego oraz elektroradiologii. Od 2024 roku pełnię funkcję opiekuna koła naukowego SKN “X-ray” działającego przy II

Zakładzie Radiologii Klinicznej WUM. Aktywnie włączam studentów do pracy przy projektach naukowych podczas gdy studenci są współautorami opublikowanych przeze mnie prac. W 2024 roku zatrudniałem i oferowałem stypendia trzem studentom w ramach kierowanego przeze mnie grantu "GliomAI". Byłem członkiem komisji oraz recenzentem abstraktów na konferencji "Warsaw International Medical Congress 2024", organizowanej przez WUM. W 2023 roku uczestniczyłem w projekcie przygotowującym elektroniczną bazę pytań na egzamin końcowy kursu z radiologii, w ramach nauczania tego przedmiotu w Warszawskim Uniwersytecie Medycznym. W 2022 roku byłem opiekunem studenckiej pracy „Outcomes of TACE alone versus TACE combined with other treatment modalities in patients with hepatocellular carcinoma”, która zdobyła wyróżnienie w sesji "Oncology and Hematology" podczas 17th Warsaw International Medical Congress. W 2025 roku studentka należąca do mojego koła naukowego jako pierwszy autor opublikowała w czasopiśmie Acta Angiologica artykuł pt. "Rare Case of Laryngeal Paraganglioma: Importance of Interdisciplinary Involvement and Role of Interventional Radiology", opracowany pod moim merytorycznym nadzorem.

Dodatkowo pełniłem następujące funkcje:

- Od 2025 roku pełnię funkcję Przewodniczącego Rady Młodych Naukowców Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego.
- w roku akademickim 2024-2025 jestem członkiem Uczelnianej Rady ds. Nauki Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego.
- Od marca 2017 do czerwca 2019 roku byłem Przewodniczącym Studenckiego Koła Naukowego Hematologii na Warszawskim Uniwersytecie Medycznym.
- Od października 2014 do września 2015 roku pełniłem funkcję Przewodniczącego Komisji Rozwoju Kulturalnego Studentów na Uniwersytecie Medycznym w Lublinie.
- Od października 2014 do września 2015 roku, byłem również Członkiem Zarządu Samorządu Studentów na Uniwersytecie Medycznym w Lublinie.

Ponadto, udzielałem wywiadów popularyzujących naukę w "Gazecie Lekarskiej", "Pulsie Medycyny" oraz gazecie "Kraśnik 24". Byłem również gościem odcinka rozmowy „Czy AI jest niebezpieczne dla przyszłości zawodów medycznych?”

organizowanej przez kanał youtube „Zrozumieć AI”. Prowadzę również zajęcia popularyzujące naukę i medycynę w przedszkolu publicznym nr 255 w Warszawie. Poza tym, w ramach działalności pozanaukowej i integracji środowiska zawodowego aktywnie reprezentuję środowisko lekarskie w sporcie. W 2025 roku zająłem pierwsze miejsce w Biegu Radiologa organizowanym podczas konferencji Polskiego Lekarskiego Towarzystwa Radiologicznego. Od kilku lat jestem również członkiem drużyny koszykówki Izby Lekarskiej, z którą zdobyłem złote medale na Igrzyskach Lekarskich w Władysławowie w 2024 roku oraz w Zakopanem w 2023 roku, a także brązowy medal podczas Mistrzostw Polski Lekarzy w Łodzi w 2022 roku.

7. Analiza bibliometryczna (skrót)

	LICZBA CYTOWAŃ	INDEKS HIRSCHA
Web of Science	85	6
Scopus	96	6

	Przed doktoratem		Po doktoracie	
	IF	MNiSW	IF	MNiSW
Oryginalne pełnotekstowe prace naukowe	23,198	635	60,7	1070
Opisy przypadków	-	-	0,3	70
Prace poglądowe	-	-	11,2	400
RAZEM	23,198	635	72,2	1540

Łącznie (przed i po habilitacji):

IF = 95,398

MNiSW = 2175

.....
(podpis wnioskodawcy)