

AUTOREFERAT

w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk
medycznych

**„Zastosowanie rezonansu magnetycznego serca
w diagnostyce niedokrwienia mięśnia sercowego”**



dr n. med. i n. o zdr.

SONIA BORODZICZ-JAŻDŻYK

**I Katedra i Klinika Kardiologii
Warszawski Uniwersytet Medyczny**

Warszawa 2025

SPIS TREŚCI

1. DANE OSOBOWE	3
2. WYKSZTAŁCENIE, POSIADANE DYPLOMY I CERTYFIKACJE	3
3. INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU	4
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.)	5
4.1. <i>TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO I WYKAZ PRAC</i>	5
4.2. <i>OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW</i>	7
5. INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ REALIZOWANĄ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI	30
5.1. <i>PODSUMOWANIE DOROBKU NAUKOWEGO NA PODSTAWIE ANALIZY BIBLIOMETRYCZNEJ</i>	30
5.2. <i>OPIS AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ POZA OSIĄGNIĘCIEM, O KTÓRYM MOWA W ART. 219 UST. 1 PKT. 2 USTAWY</i>	30
6. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ	37
6.1. <i>DYDAKTYKA I POPULARYZACJA NAUKI</i>	37
6.2. <i>DONIESIENIA NA MIĘDZYNARODOWYCH I KRAJOWYCH KONFERENCJACH NAUKOWYCH</i>	40
6.3. <i>ROZDZIAŁY W MONOGRAFIACH</i>	43
7. INNE	44
7.1. <i>NAGRODY, STYPENDIA, WYRÓŻNIENIA</i>	44
7.2. <i>WYBRANE GRANTY I PROJEKTY NAUKOWE</i>	44
7.3. <i>STAŻE ZAGRANICZNE, WYBRANE SZKOLENIA</i>	45
7.4. <i>CZŁONKOSTWO W KRAJOWYCH I MIĘDZYNARODOWYCH ORGANIZACJACH NAUKOWYCH</i>	45
7.5. <i>FUNKCJA RECENZENTA W CZASOPISMACH NAUKOWYCH</i>	46

1. DANE OSOBOWE

Imię i nazwisko	Sonia Borodnicz-Jażdżyk
Stopień naukowy	Doktor nauk medycznych i nauk o zdrowiu
Adres służbowy	I Katedra i Klinika Kardiologii Warszawski Uniwersytet Medyczny ul. Banacha 1a, 02-097 Warszawa
E-mail	sonia.borodnicz@wum.edu.pl

2. WYKSZTAŁCENIE, POSIADANE DYPLOMY I CERTYFIKACJE

2011-2017	Studia na kierunku lekarskim, II Wydział Lekarski, Warszawski Uniwersytet Medyczny
2017	Dyplom lekarza uzyskana Złota Odznaka Studenckiego Towarzystwa Naukowego Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego za całokształt wybitnych osiągnięć naukowych odniesionych w okresie studiów
2017-2021	Studia doktoranckie, I Wydział Lekarski, Warszawski Uniwersytet Medyczny 2018 Staż kliniczno-naukowy w zakresie kardiologii eksperymentalnej i obrazowania sercowo-naczyniowego Physiology Institute, Faculty of Medicine, University of Lisbon, Portugal; Cardiology Department, Santa Maria University Hospital, University of Lisbon, Portugal
2021	Stopień naukowy doktora nauk medycznych i nauk o zdrowiu Rada Dyscypliny Nauk Medycznych, Warszawski Uniwersytet Medyczny Tytuł pracy: „Analiza echokardiograficzna w szczurzym modelu uszkodzenia serca indukowanego isoprenalina”

Promotor: prof. dr hab. n. med. Agnieszka Cudnoch-Jędrzejewska

Promotor pomocniczy: dr n. med. Katarzyna Czarzasta

Recenzenci: prof. dr hab. n. med. Piotr Lipiec (Uniwersytet Medyczny w Łodzi); prof. dr hab. n. med. Rafał Dąbrowski (Narodowy Instytut Kardiologii im. Stefana kardynała Wyszyńskiego PIB w Warszawie)

- 2024 **Certyfikacja European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) 3 stopnia w zakresie rezonansu magnetycznego serca**
(ang. *Cardiovascular Magnetic Resonance*; CMR)
- 2024 **Certyfikacja EACVI 3 stopnia w zakresie tomografii komputerowej serca**
(ang. *Cardiac Computed Tomography*; CCT)
- 2024-2025 **Harvard Medical School Postgraduate Medical Education, Clinical Scholars Research Training Poland 2025 Program, 1-Year Certificate Program** (*w trakcie*)

3. INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU

2024-obecnie **Asystent badawczo-dydaktyczny**

I Katedra i Klinika Kardiologii, Warszawski Uniwersytet Medyczny

2019-obecnie **Lekarz rezydent w trakcie specjalizacji z kardiologii**

I Katedra i Klinika Kardiologii, Warszawski Uniwersytet Medyczny

2021, 2022-2024 **Staż kliniczno-naukowy w zakresie kardiologii, ze szczególnym uwzględnieniem obrazowania CMR i CT**

Cardiology Department, Amsterdam University Medical Centers,
Vrije Universiteit Medical Center, Amsterdam, Holandia

2021-2022 **Adiunkt badawczo-dydaktyczny**

Katedra i Zakład Fizjologii Doświadczalnej i Klinicznej,
Warszawski Uniwersytet Medyczny

2017-2018 **Lekarz stażysta**

Samodzielny Publiczny Centralny Szpital Kliniczny (obecnie Uniwersyteckie Centrum Kliniczne Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego)

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.)

4.1. TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO I WYKAZ PRAC

Tytuł osiągnięcia naukowego:

„Zastosowanie rezonansu magnetycznego serca w diagnostyce niedokrwienia mięśnia sercowego”

Cykl obejmuje 7 powiązanych tematycznie publikacji naukowych opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora nauk medycznych i nauk o zdrowiu.

Sumaryczny współczynnik Impact Factor (IF) osiągnięcia naukowego: 33.700.

Sumaryczna punktacja Ministerstwa Edukacji i Nauki (MEiN) osiągnięcia naukowego: 1000 pkt.

Wykaz prac:

1. **Borodnicz-Jażdżyk S**, Vink CEM, Demirkiran A, Hoek R, de Mooij GW, Hofman MBM, Wilgenhof A, Appelman Y, Benovoy M, Götte MJW. Clinical implementation of a fully automated quantitative perfusion cardiovascular magnetic resonance imaging workflow with a simplified dual-bolus contrast administration scheme. Sci Rep. 2024 Apr 26;14(1):9665.

IF 3.800, MEiN 140 pkt, kwartył Q1

Mój udział w powstaniu publikacji polegał na opracowaniu koncepcji, założeń i metodologii badania i analiz, analizie piśmiennictwa, zebraniu i analizie danych, przetwarzaniu, obróbce i analizie obrazów rezonansu magnetycznego serca, analizie statystycznej, interpretacji wyników, przygotowaniu tabel i rycin, napisaniu manuskryptu.

2. **Borodnicz-Jazdzyk S**, Hoek R, Vink CEM, de Mooij GW, Wilgenhof A, Hopman LHGA, Benovoy M, Götte MJW. Quantitative stress perfusion cardiovascular magnetic resonance: clinical implications for patients with suspected myocardial ischemia. Pol Arch Intern Med. 2025 Mar 17:16975.

IF 3.800, MEiN 200 pkt, kwartył Q1

Mój udział w powstaniu publikacji polegał na opracowaniu koncepcji, założeń i metodologii badania i analiz, analizie piśmiennictwa, zebraniu i analizie danych, przetwarzaniu, obróbce i analizie obrazów rezonansu magnetycznego serca, analizie statystycznej, interpretacji wyników, przygotowaniu tabel i rycin, napisaniu manuskryptu.

3. **Borodnicz-Jazdzyk S**, de Mooij GW, Vink CEM, van de Wiel MA, Benovoy M, Götte MJW. Stress T1 Mapping and Quantitative Perfusion Cardiovascular Magnetic Resonance in Patients with Suspected Obstructive Coronary Artery Disease. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2025 Feb 17:jeaf059.

IF 6.700, MEiN 140 pkt, kwartył Q1

Mój udział w powstaniu publikacji polegał na opracowaniu koncepcji, założeń i metodologii badania i analiz, analizie piśmiennictwa, zebraniu i analizie danych, przetwarzaniu, obróbce i analizie obrazów rezonansu magnetycznego serca, analizie statystycznej oraz konsultacji wyników ze statystykiem, interpretacji wyników, przygotowaniu tabel i rycin, napisaniu manuskryptu.

4. **Borodnicz-Jazdzyk S**, Götte MJW. Letter to the Editor: "Fully automated pixel-wise quantitative CMR-myocardial perfusion with CMR-coronary angiography to detect hemodynamically significant coronary artery disease". Eur Radiol. 2024 Apr;34(4):2711-2713.

IF 4.700, MEiN 140 pkt, kwartył Q1

Mój udział w powstaniu publikacji polegał na analizie piśmiennictwa, opracowaniu koncepcji listu, napisaniu manuskryptu.

5. Hoek R, **Borodnicz-Jazdzyk S**, van Diemen PA, Somsen YBO, de Winter RW, Jukema RA, Twisk JWR, Raijmakers PG, Knuuti J, Maaniitty T, Underwood SR, Nagel E, Robbers LFHJ, Demirkiran A, von Bartheld MB, Driessen RS, Danad I, Götte MJW,

Knaapen P. Diagnostic performance of quantitative perfusion cardiac magnetic resonance imaging in patients with prior coronary artery disease. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2025 Jan 31;26(2):207-217.

IF 6.700, MEiN 140 pkt, kwartył Q1

Mój udział w powstaniu publikacji polegał na współudziale w opracowaniu koncepcji, założen i metodologii badania i analiz, współudziale w przetwarzaniu, obróbce i analizie obrazów rezonansu magnetycznego serca oraz sprawdzeniu manuskryptu pod kątem merytorycznym.

6. Vink CEM, **Borodnicz-Jażdżyk S**, de Jong EAM, Woudstra J, van de Hoef TP, Chamuleau SAJ, Eringa EC, Götte MJW, Appelman Y. Quantitative perfusion by cardiac magnetic resonance imaging reveals compromised myocardial perfusion in patients with angina with non-obstructive coronary artery disease. Clin Res Cardiol. 2025 Feb 18.

IF 3.800, MEiN 100 pkt, kwartył Q1

Mój udział w powstaniu publikacji polegał na współudziale w opracowaniu koncepcji, założen i metodologii badania i analiz, współudziale w przetwarzaniu, obróbce i analizie obrazów rezonansu magnetycznego serca oraz sprawdzeniu manuskryptu pod kątem merytorycznym.

7. **Borodnicz-Jażdżyk S**, de Mooij GW, den Hartog A, Hofman MBM, Götte MJW. Advanced Cardiac Magnetic Resonance Imaging for Assessment of Obstructive Coronary Artery Disease - ADVOCATE-CMR Study Rationale and Design. J Cardiovasc Magn Reson. 2025 Apr 25:101900.

IF 4.200, MEiN 140 pkt, kwartył Q1

Mój udział w powstaniu publikacji polegał na opracowaniu koncepcji, założen i metodologii badania i planowanych analiz, analizie piśmiennictwa, przygotowaniu tabel i rycin, napisaniu manuskryptu.

4.2. OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW

Wprowadzenie

Choroba niedokrwienna serca dotyka około 126 milionów osób na całym świecie, stanowiąc jedną z głównych przyczyn zgonów w populacji ogólnej [1, 2]. Przewlekły zespół

wieńcowy (ang. *chronic coronary syndrome*; CCS) to stabilna postać choroby niedokrwiennej serca, charakteryzująca się występowaniem epizodów przejściowego zaburzenia równowagi między zapotrzebowaniem a podażą krwi do mięśnia sercowego, skutkującej niedokrwieniem mięśnia sercowego. Objawem klinicznym tego stanu może być dławica piersiowa, duszność lub inne, mniej charakterystyczne dolegliwości w klatce piersiowej [3]. Z patofizjologicznego punktu widzenia, niedokrwienie mięśnia sercowego w przebiegu CCS powstaje w wyniku strukturalnych i/lub czynnościowych zmian związanych z przewlekłymi chorobami tętnic wieńcowych i/lub mikrokrążenia [3]. Na poziomie makrokrążenia, niedokrwienie w CCS często wynika ze zwężenia światła w nasierdziowych tętnicach wieńcowych (choroba wieńcowa; ang. *coronary artery disease*; CAD), oraz innych przyczyn, takich jak mostki mięśniowe, wrodzone anomalie tętnic lub skurcz naczyń [3]. Inną przyczyną niedokrwienia w CCS może być dysfunkcja mikrokrążenia wieńcowego (ang. *coronary microvascular dysfunction*; CMD), która w wyniku strukturalnych i/lub czynnościowych zaburzeń mikrokrążenia wieńcowego może powodować niedokrwienie i dławicę nawet u pacjentów bez zwężeń w tętnicach wieńcowych średniego lub dużego kalibru (niedokrwienie bez istotnych zwężeń w tętnicach wieńcowych; ang. *ischaemia with non-obstructive coronary arteries*; INOCA; dławica piersiowa bez istotnych zwężeń w tętnicach wieńcowych, ang. *angina with non-obstructive coronary arteries*; ANOCA). Dodatkowymi przyczynami przewlekłego niedokrwienia mięśnia sercowego mogą być również czynniki pozawieńcowe, takie jak niedokrwistość, tachykardia, zmiany ciśnienia tętniczego, przerost mięśnia sercowego i jego włóknienie [3].

Jednym z kluczowych elementów diagnostyki CCS są badania obrazowe - anatomiczne i czynnościowe. Metody obrazowania anatomicznego, zarówno inwazyjne (inwazyjna koronarografia, ang. *invasive coronary angiography*; ICA), jak i nieinwazyjne przy użyciu angiografii tętnic wieńcowych metodą tomografii komputerowej (ang. *coronary computed tomography angiography*; CCTA) umożliwiają bezpośrednią wizualizację tętnic wieńcowych w celu wykrycia lub wykluczenia zmian zwężających światło naczynia. Obrazowanie czynnościowe służy natomiast do wykrywania niedokrwienia mięśnia sercowego [3]. Wśród tych technik jedną z preferowanych metod jest badanie perfuzji obciążeniowej w rezonansie magnetycznym serca (ang. *cardiovascular magnetic resonance*; CMR). Zastosowanie CMR pozwala na uzyskanie wysokiej rozdzielczości przestrzennej, daje możliwość kompleksowej oceny żywotności, funkcji i charakterystyki tkankowej mięśnia sercowego oraz nie wiąże się z użyciem promieniowania jonizującego [3, 4]. W rutynowej praktyce klinicznej obrazy perfuzji obciążeniowej CMR są analizowane jakościowo. Podejście to polega na ocenie

napływu i pierwszego przejścia gadolinowego środka kontrastowego (*ang. gadolinium-based contrast agent; GBCA*) przez mięsień lewej komory. W trakcie obciążenia farmakologicznego lekiem wazodylatacyjnym (np. adenozyną lub regadenosonem) identyfikuje się obszary o relatywnie niskiej intensywności sygnału, co wskazuje na hipoperfuzję i niedokrwienie danego obszaru mięśnia sercowego [4, 5]. Badania wykazały jednak, że jakościowa ocena perfuzji obciążeniowej CMR ma ograniczenia w określonych scenariuszach klinicznych - między innymi może niedoszacowywać zakresu ubytków perfuzji u pacjentów z chorobą wielonaczyniową oraz cechuje się niską dokładnością diagnostyczną w wykrywaniu CMD [6, 7].

W ostatnim czasie jakościowa ocena perfuzji obciążeniowej CMR została unowocześniona dzięki technologii ilościowego pomiaru przepływu krwi w mięśniu sercowym (*ang. myocardial blood flow, MBF*; ilościowa perfuzja CMR; *ang. quantitative perfusion CMR; QP-CMR*) [8-12]. Technologia QP-CMR oparta jest na rejestracji krzywych intensywności sygnału podczas pierwszego GBCA oraz zaawansowanej analizy kinetyki tego znacznika. QP-CMR zostało pomyślnie zwalidowane w porównaniu z mikrosferami i wykazało umiarkowaną-dobrą zgodność z oceną ilościową MBF za pomocą pozytonowej tomografii emisyjnej (*ang. positron emission tomography; PET*) w różnych populacjach pacjentów [9, 10, 12, 13]. Do niedawna QP-CMR wymagało skomplikowanej, czasochłonnej analizy zależnej od operatora, co powodowało dużą zmienność uzyskiwanych wyników i ograniczało szerokie zastosowanie tej technologii w rutynowej praktyce klinicznej [5, 7, 9, 14, 15]. W celu przezwyciężenia tych ograniczeń opracowano technikę QP-CMR która jest oparta na analizie pikselowej i w pełni zautomatyzowana, co zwiększa jej powtarzalność, efektywność czasową oraz eliminuje konieczność ręcznej segmentacji mięśnia sercowego, redukując tym samym subiektywność oceny [10]. Badania wykazały, że zautomatyzowany system QP-CMR umożliwia wiarygodną ocenę MBF, skutecznie identyfikuje regionalne ubytki perfuzji oraz charakteryzuje się wysoką dokładnością diagnostyczną w wykrywaniu CAD z istotnymi zwężeniami w tętnicach wieńcowych [11]. Z uwagi jednak na brak ustandaryzowanych wartości referencyjnych oraz istotne niejednorodności pomiędzy poszczególnymi badaniami, zarówno w odniesieniu do stosowanych protokołów akwizycji, jak i metod analizy danych, QP-CMR wciąż pozostaje głównie narzędziem badawczym [15, 16]. W związku z powyższym, konieczne są dalsze badania ukierunkowane na kliniczną implementację QP-CMR u pacjentów z podejrzeniem niedokrwienia mięśnia sercowego, które pozwolą na opracowanie algorytmów diagnostycznych gotowych do zastosowania w codziennej praktyce klinicznej [17, 18].

Poza rozwojem technologicznym w zakresie QP-CMR, w ostatnich latach coraz więcej badań koncentruje się na opracowaniu i klinicznej walidacji alternatywnych metod diagnostyki niedokrwienia mięśnia sercowego w CMR bez konieczności stosowania GBCA. Wśród proponowanych strategii znajdują się techniki takie jak obciążeniowa reaktywność mapowania T1 (ang. *stress T1 mapping reactivity*; $\Delta T1$) oraz CMR wrażliwy na oksigenację (ang. *oxygenation-sensitive CMR*; OS-CMR) [19-22]. Pomimo obiecujących wyników badań, metody te nie zostały dotychczas wdrożone do rutynowej diagnostyki u pacjentów z CAD, głównie z powodu braku odpowiedniej walidacji względem inwazyjnych metod diagnostycznych, obecnie uznanych za złoty standard (m.in. pomiar cząstkowej rezerwy przepływu, ang. *fractional flow reserve*; FFR)

Cel naukowy

Głównym celem niniejszego cyklu publikacji jest kliniczna implementacja i ocena przydatności diagnostycznej nowych technologii CMR, w tym QP-CMR i $\Delta T1$, w diagnostyce niedokrwienia mięśnia sercowego.

Do celów szczegółowych należą:

1. Kliniczna implementacja metodologii QP-CMR opartej na uproszczonej technice podwójnego bolusa GBCA (ang. *dual-bolus*) i zautomatyzowanej analizie QP.
2. Porównanie wniosków klinicznych dotyczących diagnostyki niedokrwienia mięśnia sercowego na podstawie zastosowania konwencjonalnej jakościowej analizy obrazów perfuzji obciążeniowej CMR oraz QP-CMR u pacjentów kierowanych na badanie perfuzji obciążeniowej z adenozyną.
3. Porównanie parametrów $\Delta T1$ z QP-CMR, ocena wpływu płci oraz obecności chorób współistniejących na wartość $\Delta T1$ oraz określenie dokładności diagnostycznej $\Delta T1$ w wykrywaniu istotnych zwężeń tętnic wieńcowych potwierdzonych za pomocą ICA i/lub FFR.
4. Ocena przydatności diagnostycznej QP-CMR w wykrywaniu hemodynamicznie istotnej CAD (definiowanej za pomocą FFR), w porównaniu z jakościową oceną perfuzji obciążeniowej CMR oraz obrazowaniem perfuzji przy użyciu [^{15}O]H₂O PET u pacjentów po przebytym zawale serca (ang. *myocardial infarction*; MI) i/lub po przezskórnej interwencji wieńcowej (ang. *percutaneous coronary intervention*; PCI).

5. Ocena przydatności diagnostycznej QP-CMR w wykrywaniu ANOCA.
6. Zaprojektowanie badania, którego celami są m.in. walidacja techniki QP-CMR, $\Delta T1$ i OS-CMR w wykrywaniu istotnego hemodynamicznie zwężenia tętnic wieńcowych (definiowanych za pomocą FFR), bezpośrednie porównanie dokładności diagnostycznej QP-CMR, $\Delta T1$ i OS-CMR z ilościową oceną perfuzji obciążeniowej CMR, korelacja nowych parametrów CMR z krótko- i długoterminowymi wynikami klinicznymi oraz ocena zmian w perfuzji mięśnia sercowego, objętości krwi w mięśniu sercowym i utlenowaniu mięśnia sercowego po rewaskularyzacji wieńcowej.

Analiza poszczególnych publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

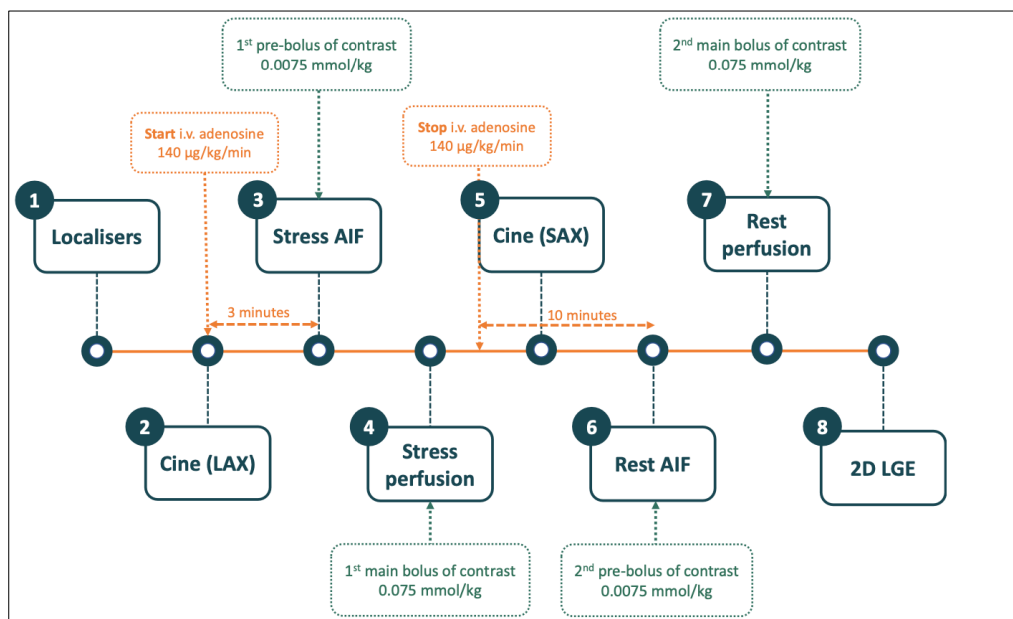
Ad 1. Clinical implementation of a fully automated quantitative perfusion cardiovascular magnetic resonance imaging workflow with a simplified dual-bolus contrast administration scheme.

Borodzicz-Jazdzyk S, Vink CEM, Demirkiran A, Hoek R, de Mooij GW, Hofman MBM, Wilgenhof A, Appelman Y, Benovoy M, Götte MJW. Sci Rep. 2024 Apr 26;14(1):9665.

Podstawą technologii pomiaru MBF w QP-CMR jest precyzyjna ocena tętniczej funkcji wejścia (ang. *arterial input function*; AIF), która określa dostarczanie kontrastu do tętnic wieńcowych, oraz pomiar funkcji tkankowej, opisującej zmiany stężenia kontrastu w mięśniu sercowym w czasie [23]. Standardowo stosowane protokoły perfuzji obciążeniowej CMR opierają się na jednorazowym podaniu GBCA w dawce 0.05-0.1 mmol/kg. Dawkowanie to może być na tyle wysokie, że może prowadzić do nasilenia efektów saturacji T1 i T2*, co skutkuje nieliniową zależnością pomiędzy rejestrowaną intensywnością sygnału a rzeczywistym stężeniem kontrastu. W konsekwencji dochodzi do zniekształcenia krzywej AIF, co może prowadzić do zawyżenia pomiaru MBF oraz błędnej interpretacji wyników QP-CMR [15]. Aby prawidłowo ocenić AIF i dokonać precyzyjnego pomiaru MBF, w obrazowaniu QP-CMR stosuje się dwa rodzaje metodologii: zastosowanie dedykowanej podwójnej sekwencji (ang. *dual-sequence*) lub dwukrotne podanie kontrastu w różnych dawkach (ang. *dual-bolus*). Metoda *dual-sequence* jest stosunkowo prosta w użyciu, ponieważ opiera się na jednorazowym podaniu GBCA. Niemniej jednak, jej zastosowanie wymaga wykorzystania specjalnie dedykowanych sekwencji obrazowania które nie są powszechnie dostępne dla szerokiego grona pracowni CMR [24, 25]. Alternatywna metoda *dual-bolus* polega na podaniu małej dawki rozcieńzonego GBCA do oceny AIF (ang. *pre-bolus*), a następnie większej dawki

(głównego bolusa) GBCA w celu analizy perfuzji miokardium. Metoda ta wykorzystuje standardowe, dostępne komercyjnie sekwencje i jest łatwiejsza do wdrożenia, jednak przy standardowym podejściu wymaga czasochłonnego przygotowania rozcieńzonego *pre-bolus*, co ogranicza jej szerokie codzienne praktyczne zastosowanie [8, 26, 27]. Oprócz właściwej akwizycji obrazów, kluczową rolę w technologii QP-CMR odgrywa obróbka, przetwarzanie i analiza danych obrazowych. W przeszłości wymagała ona czasochłonnej analizy wymagającej ręcznej segmentacji miokardium, co prowadziło do znacznych różnic w uzyskiwanych wynikach. Od niedawna dostępna jest metoda zautomatyzowanej analizy pikselowej, która jest szybka, powtarzalna i eliminuje konieczność ręcznego wyznaczania obszarów miokardium oraz segmentacji obrazu [10, 28-31].

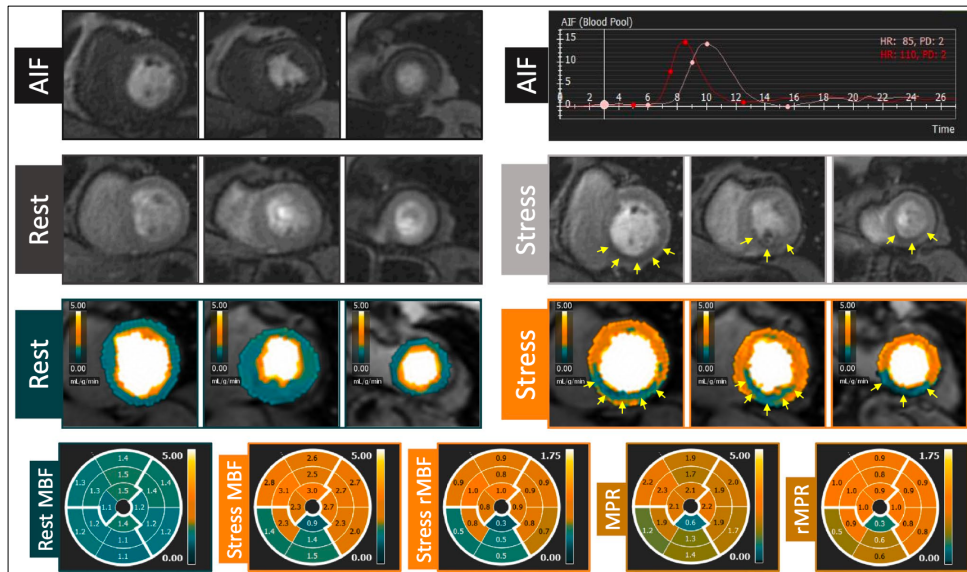
Niniejsze badanie miało na celu kliniczną implementację metodologii QP-CMR obejmującej uproszczony schemat podawania kontrastu *dual-bolus* (niewymagający dodatkowego rozcieńczania *pre-bolus*), wraz z zastosowaniem zautomatyzowanej metody przetwarzania i oceny uzyskanych obrazów. Analizą objęto dwudziestu pięciu pacjentów z podejrzeniem CAD z istotnymi zwężeniami w tętnicach wieńcowych, którzy mieli wykonane badanie perfuzji obciążeniowej CMR po obciążeniu farmakologicznym adenozyną, oraz ICA (23 pacjentów) lub CCTA (2 pacjentów). Protokół *dual-bolus* składał się z *pre-bolus* (w dawce 0.0075 mmol/kg GBCA przy stężeniu 0.5 mmol/ml + 20 ml soli fizjologicznej) oraz głównego bolusa (w dawce 0.075 mmol/kg GBCA przy stężeniu 0.5 mmol/ml + 20 ml soli fizjologicznej) podawanego z szybkością infuzji 3 ml/s (*Rycina 1*).



Rycina 1. Zaproponowany protokół obrazowania QP-CMR z użyciem uproszczonego schematu podawania kontrastu *dual-bolus* podczas badania perfuzji obciążeniowej CMR z adenozyną. QP-CMR – ilościowa perfuzja CMR; AIF - tętnicza

funkcja wejścia (ang. arterial input function); LAX - oś długa (ang. long axis); LGE -późne wzmocnienie pokontrastowe (ang. late gadolinium enhancement); SAX - oś krótka (ang. short axis).

Rycina 2 prezentuje przykład obrazów i wyników QP-CMR u pacjenta z rozpoznaniem CAD.



Rycina 2. Przykład uzyskanych obrazów i wyników QP-CMR u pacjenta z niedrożną prawą tętnicą wieńcową. Czerwona krzywa - AIF podczas obciążenia adenozyną; biała krzywa - AIF w spoczynku; pozostałe skróty jak na Ryc. 1. Strzałki wskazują ubytek perfuzji w obszarze unaczynienia prawej tętnicy wieńcowej.

Analiza krzywych ROC (ang. receiver operating characteristic) wykazała optymalną wartość regionalnego obciążeniowego MBF (ang. stress MBF) ≤ 1.84 ml/g/min, co umożliwiło wykrycie istotnego zwężenia tętnic wieńcowych z czułością 89% (95% przedział ufności (ang. Confidence Interval; CI): 52-100%), swoistością 70% (95% CI: 55-83%), dodatnią wartością predykcyjną (ang. Positive Predictive Value; PPV) 36% (95% CI: 26-48%) i ujemną wartością predykcyjną (ang. Negative Predictive Value; NPV) 97% (95% CI: 84-100%), przy polu powierzchni pod krzywą (ang. Area Under the Curve; AUC) 0.79 (95% CI: 0.66-0.89). Dalsza ocena jakości obrazów przez dwóch niezależnych ekspertów CMR wykazała co najmniej umiarkowaną jakość obrazów w większości przypadków. Analiza łączona zarówno map pikselowych QP, jak i konwencjonalnych obrazów perfuzji pierwszego przejścia w skali szarości charakteryzowała się dokładnością diagnostyczną 84% (95% CI: 64-95%), czułością 70% (95% CI: 35-93%) i swoistością 93% (95% CI: 68-100%). Podsumowując, zaproponowana w pracy łatwa w użyciu metodologia dual-bolus QP-CMR, wsparta zautomatyzowaną analizą, zapewnia wysoką jakość obrazów i ma duży potencjał w precyzyjnej diagnostyce CAD z istotnymi zwężeniami w tętnicach wieńcowych. Wdrożenie tego podejścia może stanowić alternatywę dla obecnych metod, zwiększając dostępność zaawansowanego obrazowania QP-CMR w szerszym zakresie pracowni CMR.

Ad 2. Quantitative stress perfusion cardiovascular magnetic resonance: clinical implications for patients with suspected myocardial ischemia.

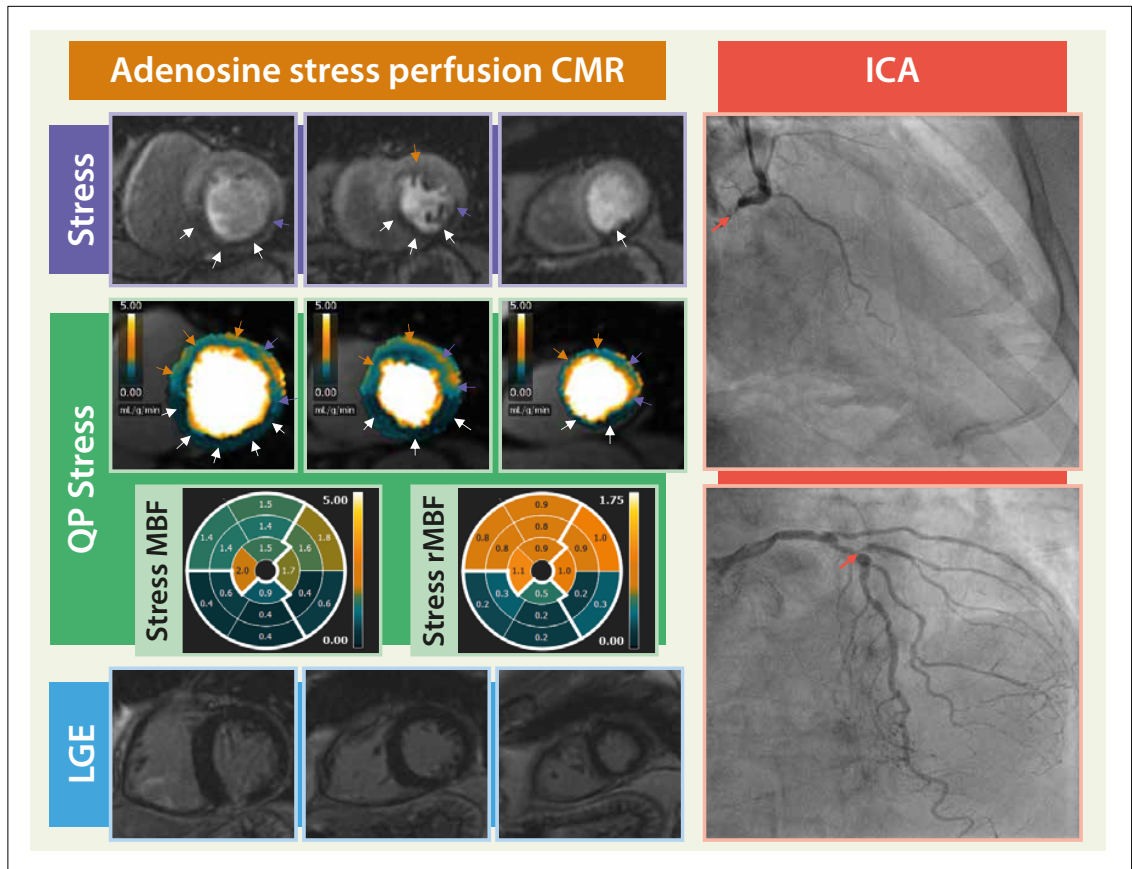
Borodnicz-Jażdżyk S, Hoek R, Vink CEM, de Mooij GW, Wilgenhof A, Hopman LHGA, Benovoy M, Götte MJW. Pol Arch Intern Med. 2025 Mar 17;16975.

W ostatnich latach obciążeniowa perfuzja CMR była wykorzystywana jako narzędzie diagnostyczne do wykrywania niedokrwienia mięśnia sercowego, głównie opierając się na jakościowej analizie (*ang. qualitative assessment*; QA) obrazów pierwszego przejścia [4, 5].

Niedawno opublikowane wyniki badania Assessment of Quantitative MBF Using CMR (AQUA-MBF) wykazały, że w porównaniu do QA, QP-CMR cechuje się wysoką powtarzalnością i większą dokładnością w identyfikacji CAD, nawet jeśli QA dokonywana jest przez doświadczonych ekspertów [11]. Inne badania udowodniły, że QP-CMR zwiększa dokładność diagnostyczną w wykrywaniu wielonaczyniowej choroby wieńcowej oraz umożliwia skuteczne rozróżnienie trójnaczyniowej CAD od CMD [6, 12]. Niemniej jednak różnice w rozpoznaniach klinicznych uzyskanych za pomocą QA i QP w ogólnej populacji pacjentów z podejrzeniem niedokrwienia mięśnia sercowego pozostają niejasne. Dlatego też celem niniejszego badania było porównanie wniosków klinicznych dotyczących obecności niedokrwienia mięśnia sercowego na podstawie diagnostyki opartej na konwencjonalnej analizie QA oraz na QP-CMR u pacjentów poddanych badaniu perfuzji obciążeniowej CMR z adenozyzną.

Analizie poddano 101 pacjentów z podejrzeniem niedokrwienia mięśnia sercowego, którzy zostali skierowani na badanie perfuzji obciążeniowej CMR z adenozyzną. Decyzja o dalszym skierowaniu na ICA należała do lekarza prowadzącego, który miał dostęp jedynie do wyników QA perfuzji obciążeniowej CMR. Ocena QA konwencjonalnych obrazów perfuzji pierwszego przejścia była przeprowadzana w ramach rutynowej praktyki klinicznej przez ekspertów CMR z certyfikacją 3 stopnia i ponad 8-letnim doświadczeniem w zakresie CMR. Analizę QP przeprowadzono osobno do celów badawczych przez operatora, który nie miał dostępu do wyników QA ani danych demograficznych pacjenta. W sposób zaślepiiony, w oparciu o wynik QA lub QP, każdego pacjenta oraz każdy pojedynczy zakres unaczynienia wieńcowego sklasyfikowano jako niedokrwienne lub nie-niedokrwienne. Ponadto w podgrupie pacjentów, u których wykonano ICA, przeprowadzono subanalizę na poziomie naczyń wieńcowych, porównując wyniki QA i QP z ICA jako inwazyjnym standardem referencyjnym.

W analizie na poziomie naczyń, QP sklasyfikowała więcej terytoriów wieńcowych jako niedokrwienne w porównaniu z QA (46% vs. 17%, $P < 0.001$). QP częściej diagnozowała chorobę dwunaczyniową lub trójnaczyniową/globalne niedokrwienie niż QA (choroba dwunaczyniowa: 14% vs. 4%, $P = 0.02$; choroba trójnaczyniowa/globalne niedokrwienie: 31% vs. 4%, $P < 0.001$). Przykład pacjenta, u którego QP-CMR wykazało większy zakres niedokrwienia niż QA, przedstawiono na Rycinie 3.



Rycina 3. Obrazowanie perfuzji obciążeniowej CMR z adenozyzną u 72-letniego mężczyzny z chorobą dwunaczyniową. QA zdiagnozowała ubytki perfuzji w segmentach podstawnych i środkowych dolnej części przegrody międzykomorowej, ściany dolnej i dolno-bocznej oraz w segmencie koniuszkowym ściany dolnej (w sumie 7 segmentów w terytorium RCA (białe strzałki) i prawdopodobnie także w terytorium Cx (fioletowe strzałki)), a z mniejszą pewnością sugerowano również ubytek perfuzji w segmencie środkowym ściany przedniej (1 segment w terytorium LAD, pomarańczowa strzałka). W QP, mapy obciążeniowego MBF wykazały rozległe, pełnościenne ubytki perfuzji w terytoriach RCA (białe strzałki) i LAD (pomarańczowe strzałki), częściowo obejmujące także terytorium Cx (fioletowe strzałki; łącznie 15 segmentów), z wartościami obciążeniowego MBF zmniejszonymi do 0.4 ml/g/min w terytorium RCA i 1.4 ml/g/min w terytorium LAD. Wykonana następnie ICA u tego pacjenta wykazała dominującą RCA z małą Cx, istotną zmianę ($>70\%$ zwiększenia średnicy) na bifurkacji LAD/D1 oraz przewleklą całkowitą okluzję RCA z widocznym napływem krwi z LAD. Cx - gałąź okalająca (ang. circumflex artery); D1 - gałąź diagonalna pierwsza (ang. first diagonal); LAD - gałąź przednia zstępująca (ang. left anterior descending); QA - ocena jakościowa perfuzji pierwszego przejścia CMR; RCA - prawa tętnica wieńcowa (ang. right coronary artery); pozostałe skróty jak na Ryc. 1-2.

W analizie na poziomie pacjenta, QP zdiagnozowała niedokrwienie u 64 pacjentów, podczas gdy QA u 40 pacjentów ($P < 0.001$). Zgodność wyników między QP i QA stwierdzono w 30 przypadkach (30%) z wynikiem negatywnym oraz w 33 przypadkach (33%) z wynikiem pozytywnym dla obecności niedokrwienia mięśnia sercowego. W 7 przypadkach (7%)

niedokrwienie rozpoznano w QA, ale nie w QP (grupa QA+/QP-). U 31 pacjentów (31%) QP wykryło niedokrwienie przy braku zdiagnozowanego niedokrwienia w QA (grupa QA-/QP+). Subanaliza pacjentów poddanych ICA wykazała, że obecność lub brak istotnej choroby wieńcowej została prawidłowo rozpoznana przez QP w 68%, a przez QA w 78% naczyń ($P=0.07$). W grupie QA-/QP+ ICA wykonano u 8 pacjentów. Dalsza ocena tych przypadków wykazała: prawidłową klasyfikację zakresu CAD przez QP, CMD, globalne obniżenie obciążeniowego MBF, możliwość wystąpienia artefaktu "dark-rim" widocznego w QA, który mógł dać fałszywie dodatni wynik w QP, sugerowane potencjalne problemy techniczne podczas skanowania oraz nakładanie się terytoriów niedokrwienia związane z anatomiczną zmiennością tętnic wieńcowych.

Podsumowując, wyniki badania wskazują, że QP-CMR pozwala na identyfikację większej liczby niedokrwiennych terytoriów wieńcowych oraz ujawnia potencjalne przypadki niedokrwienia mięśnia sercowego, które mogą zostać przeoczone przy zastosowaniu wyłącznie QA w badaniu perfuzji obciążeniowej CMR. W związku z tym, u części pacjentów QP-CMR może prowadzić do odmiennych wniosków klinicznych w porównaniu z konwencjonalnym podejściem jakościowym. Może to istotnie wpłynąć na dalsze postępowanie z pacjentem, co podkreśla potrzebę przeprowadzenia większych badań klinicznych w tej tematyce.

Ad 3. Stress T1 Mapping and Quantitative Perfusion Cardiovascular Magnetic Resonance in Patients with Suspected Obstructive Coronary Artery Disease.

Borodzicz-Jazdzyk S, de Mooij GW, Vink CEM, van de Wiel MA, Benovoy M, Götte MJW. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2025 Feb 17;jeaf059.

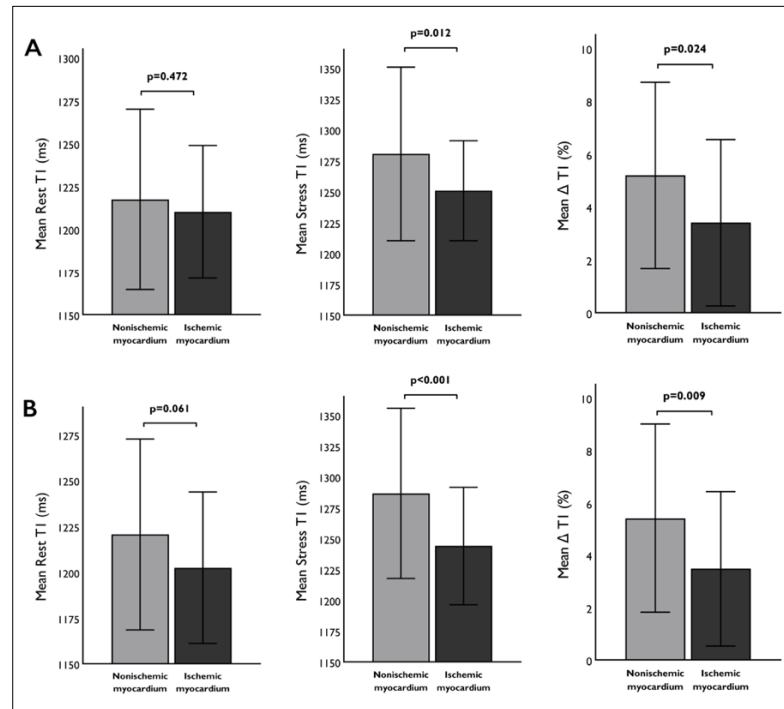
Mapowanie T1 w CMR jest uznaną metodą oceny charakterystyki tkankowej mięśnia sercowego, znajdującą zastosowanie w diagnostyce wielu chorób kardiologicznych [32, 33]. Metoda ta opiera się na pomiarze czasu relaksacji T1, który zależy od składu tkanki. Wydłużenie czasu T1 mięśnia sercowego wynika ze zwiększenia przestrzeni śródmiażdżowej oraz wzrostu zawartości wolnej wody w miokardium. Z tego powodu mapowanie T1 może odzwierciedlać całkowitą objętość krwi w mięśniu sercowym (*ang. myocardial blood volume; MBV*), obejmującą krew zlokalizowaną w tętnicach, naczyniach włosowatych, żyłach i tkance mięśniowej [21].

Z patofizjologicznego punktu widzenia istotne zwężenie tętnic wieńcowych powoduje zmiany w MBV. Z tego względu mapowanie T1 zostało zaproponowane jako technika potencjalnie użyteczna w nieinwazyjnej ocenie istotnych hemodynamicznie zwężeń

w tętnicach wieńcowych, bez konieczności stosowania środka kontrastowego. Obecność zwężeń w obrębie naczyń zwiększa opór naczyniowy, ale w przypadku zmian umiarkowanych efekt ten może być skompensowany poprzez rozszerzenie naczyń włosowatych. To autoregulacyjne rozszerzenie naczyń umożliwia utrzymanie odpowiedniego ukrwienia mięśnia sercowego i prowadzi do zwiększenia MBV, a tym samym również wyższych wartości T1 w spoczynku. W trakcie wykonywania badania z obciążeniem farmakologicznym, podanie środka rozszerzającego naczynia istotnie zwiększa MBV i wartości T1. Jednak w przypadku obecności zmian zawężających światło tętnic w przebiegu CAD, gdzie wartości T1 w spoczynku są już podwyższone, różnica między pomiarami w spoczynku i w trakcie obciążenia (obciążeniowa reaktywność mapowania T1, ang. *stress T1 mapping reactivity*; $\Delta T1$) będzie mniejsza niż w przypadku prawidłowych tętnic. W tym mechanizmie pomiar $\Delta T1$ umożliwia ocenę rezerwy mikrokrażenia i rzeczywistego wpływu zwężenia na przepływ w naczyniach wieńcowych [19-21, 34, 35]. Mimo obiecujących wyników badań eksperymentalnych, wyniki badań klinicznych dotyczące skuteczności $\Delta T1$ w wykrywaniu niedokrwienia mięśnia sercowego są niejednoznaczne [36-38]. Celem niniejszego badania było: 1) porównanie wartości $\Delta T1$ z wynikami QP-CMR; 2) ocena wpływu płci i chorób współistniejących na $\Delta T1$; 3) ocena dokładności diagnostycznej $\Delta T1$ w wykrywaniu istotnych zwężeń tętnic wieńcowych CAD potwierdzonych za pomocą ICA i/lub FFR.

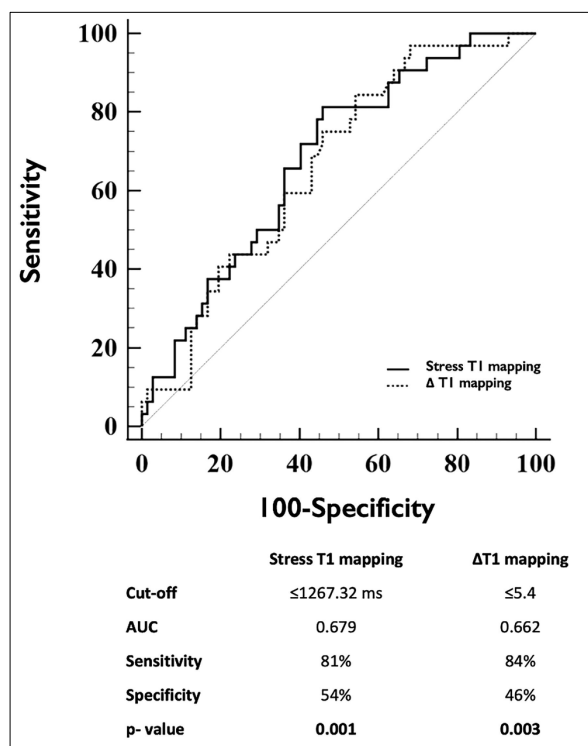
W badaniu przeanalizowano 51 pacjentów z podejrzeniem CAD z istotnymi zwężeniami w tętnicach wieńcowych, którzy zostali skierowani na badanie perfuzji obciążeniowej CMR z adenozyzną. Dane dotyczące wykonanych w ramach standardowego postępowania klinicznego badań ICA i/lub FFR zostały pozyskane do analizy, pod warunkiem ich dostępności. U 31 pacjentów (61%) wykonano ICA, a u 8 z nich dodatkowo FFR. Istotne zwężenie tętnic wieńcowych stwierdzono u 16 pacjentów (52%). Ze względu na obecność późnego wzmocnienia pokontrastowego (ang. *late gadolinium enhancement*; LGE) z analizy na poziomie naczyń wykluczono 48 obszarów unaczynienia wieńcowego, pozostawiając 105 do dalszej oceny.

Badanie wykazało umiarkowaną korelację między wartościami czasu T1 a MBF ($r=0.475$; $P<0.001$). Analiza wykazała, że niedokrwione obszary unaczynienia wieńcowego charakteryzowały się istotnie niższymi wartościami T1 w obciążeniu (1250.71 vs. 1280.47 ms; $P=0.012$) oraz niższym $\Delta T1$ (3.40% vs. 5.19%; $P=0.024$; Ryc. 4) w porównaniu do obszarów bez niedokrwienia.



Rycina 4. Natywne mapowanie T1 w niedokrwienych obszarach mięśnia sercowego. Panel A przedstawia wartości T1 w spoczynku i po obciążeniu farmakologicznym adenozyzną oraz $\Delta T1$ w obszarach mięśnia sercowego definiowanych jako niedokrwienne oraz nie-niedokrwienne względem obciążeniowego MBF. Panel B przedstawia te same parametry w odniesieniu do niedokrwienia mięśnia sercowego definiowanego względem wartości MPR. $\Delta T1$ - obciążeniowa reaktywność mapowania T1, pozostałe skróty jak na Ryc. 1-3.

Płeć i choroby współistniejące miały istotny wpływ na wyniki natywnego mapowania T1. Mężczyźni mieli niższe wartości obciążeniowego T1 (1246.41 vs. 1301.48 ms; $P=0.006$) oraz niższe $\Delta T1$ (3.75% vs. 5.90%; $P=0.01$) w porównaniu z kobietami. Obecność cukrzycy wiązała się z niższym $\Delta T1$ (2.75% vs. 5.21%; $P=0.047$), a nadciśnienie tętnicze z niższym obciążeniowym MBF (2.17 vs. 2.83 ml/g/min; $P=0.039$) oraz niższym MPR (2.14 vs. 2.81; $P=0.027$). Analiza wartości diagnostycznej wykazała, że zarówno obciążeniowe T1, jak i $\Delta T1$ były skuteczne w wykrywaniu obniżonego MPR, ale nie MBF. Optymalny punkt odcięcia obciążeniowego T1 do wykrywania obniżonego MPR wynosił ≤ 1267.32 ms (AUC 0.679; $P=0.001$), a dla $\Delta T1$ wynosił $\leq 5.4\%$ (AUC 0.662; $P=0.003$; Rycina 5). Jednak weryfikacja tych parametrów w odniesieniu do wyników ICA nie uzyskała istotności statystycznej w wykrywaniu istotnego zwężenia tętnic wieńcowych.



Rycina 5. Skuteczność diagnostyczna obciążeniowego mapowania T1 i $\Delta T1$ w wykrywaniu niedokrwienia mięśnia sercowego (definiowanego jako obniżone MPR) w analizie poszczególnych obszarów unaczynienia wieńcowego. AUC - pole powierzchni pod krzywą ROC; pozostałe skróty jak na Ryc. 1-4.

Podsumowując, wyniki niniejszego badania wskazują, że $\Delta T1$ jest istotnie zależne od płci oraz czynników ryzyka sercowo-naczyniowego, które często występują u pacjentów z podejrzeniem CAD z istotnymi zwężeniami w tętnicach wieńcowych. W porównaniu z QP-CMR, $\Delta T1$ wykazuje niższą wartość diagnostyczną w wykrywaniu niedokrwienia mięśnia sercowego w tej grupie pacjentów. Z tego względu kliniczna przydatność $\Delta T1$ jako metody niewymagającej stosowania GBCA w diagnostyce CAD jest ograniczona. W praktyce klinicznej metody oparte na GBCA pozostają bardziej wiarygodne i powinny być preferowanym narzędziem w diagnostyce CAD z istotnymi zwężeniami w tętnicach wieńcowych.

Publikacja spotkała się z zainteresowaniem w środowisku kardiologicznym i już wkrótce po ukazaniu się zwróciła uwagę ekspertów w dziedzinie obrazowania układu sercowo-naczyniowego. Efektem tego był opublikowany edytorial pt. „*T1 mapping is not ready to replace the use of contrast agents in stress CMR*”, autorstwa Giovanni Donato Aquaro i Carmelo De Gori (Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2025 Mar 21;jeaf098), w którym przedstawiono zarówno potencjalne zastosowania metody mapowania T1, jak i jej aktualne ograniczenia w codziennej praktyce klinicznej. Dodatkowo, wyniki niniejszego badania zostały omówione w dedykowanym odcinku podcastu *ESC Cardio Talk* (<https://www.escardio.org/The-ESC/What-we-do/news/ESC-Cardio-Talk>), prowadzonego pod

auspicjami ESC. *ESC Cardio Talk* to seria rozmów z ekspertami, w której prezentowane są najnowsze, interesujące publikacje z dziedziny kardiologii. Obecność omawianej pracy w tym formacie podkreśla jej znaczenie dla rozwoju nowoczesnych metod obrazowania serca oraz rosnące zainteresowanie tą tematyką w środowisku międzynarodowym.

Ad. 4. Letter to the Editor: "Fully automated pixel-wise quantitative CMR-myocardial perfusion with CMR-coronary angiography to detect hemodynamically significant coronary artery disease".

Borodzicz-Jazdzyk S, Götte MJW. Eur Radiol. 2024 Apr;34(4):2711-2713.

Niniejsza publikacja to list do redakcji czasopisma *European Radiology* odnosi się do badania Zhao i wsp. (2023), dotyczącego oceny skuteczności zautomatyzowanej, pikselowej analizy QP-CMR w wykrywaniu istotnych hemodynamicznie zwężeń tętnic wieńcowych oraz analizy dodatkowej wartości diagnostycznej, jaką może wносить angiografia rezonansu magnetycznego (ang. *cardiac magnetic resonance angiography*; CMRA) w połączeniu z QP-CMR [17]. Choć badanie potwierdziło wysoką skuteczność diagnostyczną QP-CMR, jego wyniki wymagają szerszej dyskusji, szczególnie w kontekście obserwowanych wysokich wartości obciążeniowego MBF w obszarach niedokrwienia, które mieszczą się w zakresie wartości uznawanych za prawidłowe w innych badaniach, oraz potencjalnych implikacji tych obserwacji dla przyszłych algorytmów diagnostycznych [18]. W liście zasugerowaliśmy, że zaobserwowane różnice mogą wynikać z użytej metodologii, w tym nieoptymalnej oceny AIF oraz relatywnie niskiej prędkości podawania środka kontrastowego. Nieprawidłowa ocena AIF, zwłaszcza przy zbyt wysokim stężeniu GBCA we krwi może prowadzić do zawyżenia wartości MBF, co może tłumaczyć zaskakująco wysokie wyniki uzyskane w badaniu. Wskazaliśmy również, że analiza jakości uzyskanych krzywych AIF mogłaby dostarczyć istotnych dodatkowych informacji na temat wiarygodności otrzymanych wyników.

Ad 5. Diagnostic performance of quantitative perfusion cardiac magnetic resonance imaging in patients with prior coronary artery disease.

Hoek R, Borodzicz-Jazdzyk S, van Diemen PA, Somsen YBO, de Winter RW, Jukema RA, Twisk JWR, Raijmakers PG, Knuuti J, Maaniitty T, Underwood SR, Nagel E, Robbers LFHJ, Demirkiran A, von Bartheld MB, Driessen RS, Danad I, Götte MJW, Knaapen P. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2025 Jan 31;26(2):207-217.

U pacjentów z wywiadem CAD i nawracającym bólem w klatce piersiowej, wytyczne zalecają wykonanie badania perfuzji obciążeniowej w celu diagnostyki ewentualnego niedokrwienia oraz podjęcia decyzji o dalszym skierowaniu na ICA [39, 40]. W codziennej praktyce klinicznej dostępnych jest kilka rodzajów badań obrazowych perfuzji obciążeniowej, a wybór konkretnej techniki zależy w dużej mierze od lokalnych możliwości i doświadczenia ośrodka [39, 40]. Badania wykazały, że metody umożliwiające ilościową ocenę MBF są lepszym narzędziem diagnostycznym niż techniki oparte jedynie na ocenie jakościowej [41, 42]. Niestety jak dotąd nie przeprowadzono badań bezpośrednio porównujących przydatność diagnostyczną nowej technologii QP-CMR ze standardową jakościową oceną konwencjonalnych obrazów perfuzji obciążeniowej pierwszego przejścia CMR (visual assessment of first-pass stress perfusion CMR; v-CMR) oraz [^{15}O]H $_2$ O PET w tej grupie pacjentów. Niniejsza subanaliza badania PACIFIC-2 (*Prospective Comparison of Cardiac PET, SPECT, and MRI Perfusion Imaging with Invasive Coronary Angiography in Patients with Prior CAD*) miała na celu ocenę przydatności diagnostycznej QP-CMR w wykrywaniu hemodynamicznie istotnej CAD (definiowanej za pomocą FFR) w porównaniu do v-CMR i [^{15}O]H $_2$ O PET u pacjentów po przebytym MI i/lub PCI.

Analizą objęto 145 objawowych pacjentów z przewlekłą CAD, którzy mieli w wywiadzie przebyty MI i/lub PCI. Wszyscy pacjenci mieli wykonane badanie perfuzji obciążeniowej CMR metodą *dual-sequence* oraz badanie perfuzji obciążeniowej [^{15}O]H $_2$ O PET. Następnie u pacjentów wykonano ICA z pomiarami FFR we wszystkich trzech głównych naczyniach wieńcowych.

Współczynnik korelacji między obciążeniowym MBF mierzonym za pomocą QP-CMR i PET wyniósł 0.34 ($P < 0.001$), przy średnim błędzie systematycznym wynoszącym $1.08 \pm 0.86 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$. Korelacja między FFR a obciążeniowym MBF wyniosła 0.21 ($P < 0.001$) dla QP-CMR i 0.45 ($P < 0.001$) dla PET. Analiza na poziomie pacjenta wykazała, że QP-CMR charakteryzuje się podobną czułością (66%) w porównaniu z v-CMR (67%) i niższą czułością w porównaniu z PET (80%, $P = 0.015$). Swoistość, PPV i NPV nie różniły się pomiędzy QP-CMR (odpowiednio 60%, 74% i 51%), v-CMR (62%, 76% i 52%) oraz PET (63%, 79% i 65%). QP-CMR wykazało podobną ogólną dokładność diagnostyczną (64%) i AUC (0.66) w porównaniu zarówno z v-CMR (odpowiednio 66% i 0.67), jak i PET (74% i 0.78). Analiza na poziomie naczyń udowodniła, że QP-CMR ma podobną czułość (54%) i NPV (76%) w porównaniu z v-CMR (odpowiednio 46% i 76%), ale niższą w porównaniu

z PET (73%, $P < 0.001$ i 84%, $P < 0.001$). Swoistość QP-CMR (68%) była niższa niż v-CMR (81%, $P = 0.003$), ale podobna do PET (66%), natomiast PPV było podobne dla wszystkich metod (QP-CMR: 45%, v-CMR: 53%, PET: 50%). QP-CMR wykazało podobną dokładność diagnostyczną (64%) w porównaniu z v-CMR (70%) i PET (68%). Wartość AUC dla QP-CMR (0.63) nie różniła się od v-CMR (0.67), ale była niższa niż dla PET (0.74, $P < 0.001$). Niedokrwienie zdefiniowane za pomocą QP-CMR, v-CMR i PET nie miało wartości prognostycznej w przewidywaniu wystąpienia złożonego punktu końcowego (zgon z dowolnej przyczyny i MI nie powodujący zgonu).

Podsumowując, w niniejszej analizie u pacjentów z przebytym MI i/lub PCI, wartości MBF uzyskane za pomocą QP-CMR i [^{15}O]H₂O PET podczas obciążenia adenozyną wykazały słabą zgodność. Pomimo tego, skuteczność diagnostyczna QP-CMR była porównywalna ze skutecznością [^{15}O]H₂O PET w wykrywaniu hemodynamicznie istotnej CAD zdefiniowanej za pomocą FFR. Ponadto, QP-CMR i ekspercka ocena v-CMR wykazały podobną skuteczność diagnostyczną, co poddaje w wątpliwość ewentualną dodatkową wartość zastosowania QP-CMR w tej grupie pacjentów.

Ad. 6. Quantitative perfusion by cardiac magnetic resonance imaging reveals compromised myocardial perfusion in patients with angina with non-obstructive coronary artery disease.

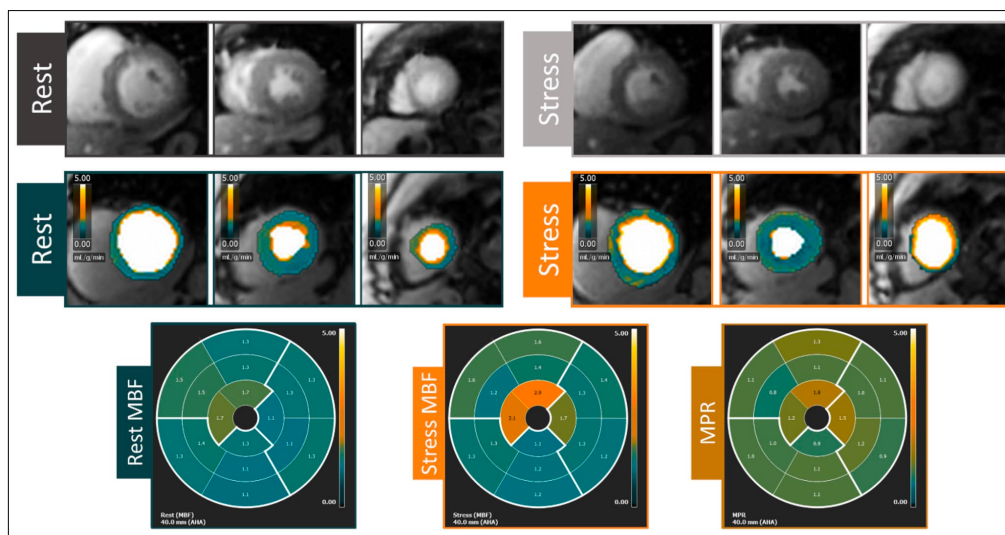
Vink CEM, Borodnicz-Jażdżyk S, de Jong EAM, Woudstra J, van de Hoef TP, Chamuleau SAJ, Eringa EC, Götte MJW, Appelman Y. Clin Res Cardiol. 2025 Feb 18

ANOCA jest jedną z postaci CCS, która występuje niemal u połowy pacjentów kierowanych na badanie ICA [43]. Złotym standardem diagnostyki ANOCA jest czynnościowa ocena krążenia wieńcowego (ang. *coronary function testing*; CFT), w trakcie której wykonuje się testy prowokacyjne - z acetylocholiną do oceny dławicy naczynioskurczowej oraz z adenozyną do oceny rozszerzalności naczyń w warunkach hiperemii i diagnostyki CMD [44]. Aktualne wytyczne ESC zalecają również stosowanie nieinwazyjnych badań obrazowych w ocenie ANOCA, ze szczególnym uwzględnieniem metod oceniających perfuzję mięśnia sercowego. Do sugerowanych technik należą PET, echokardiografia kontrastowa oraz QP-CMR [3].

W pełni zautomatyzowana QP-CMR jest obiecującym narzędziem umożliwiającym pomiar ilościowy MBF zarówno w spoczynku, jak i w trakcie obciążenia farmakologicznego

w różnych obszarach unaczynienia wieńcowego, jednak jej przydatność w populacji pacjentów z ANOCA pozostaje słabo udokumentowana. W związku z tym niniejsze badanie ma na celu ocenę skuteczności w pełni zautomatyzowanej QP-CMR w wykrywaniu ANOCA, potwierdzonego testem CFT, w porównaniu do zdrowych osób z grupy kontrolnej.

Do badania włączono 24 pacjentów z ANOCA (83% kobiet, średnia wieku 57 ± 9 lat) oraz 25 zdrowych osób z grupy kontrolnej (80% kobiet, średnia wieku 56 ± 7 lat), którzy mieli wykonane badanie perfuzji obciążeniowej CMR, oceniane zarówno konwencjonalną metodą jakościową, jak i QP-CMR. Pacjenci z ANOCA zostali poddani inwazyjnemu CFT w celu diagnostyki skurczu tętnic wieńcowych i/lub CMD. Wyniki udowodniły, że konwencjonalna wizualna ocena perfuzji obciążeniowej CMR nie wykazała istotnych różnic między pacjentami z ANOCA a grupą kontrolną ($P=0.54$). W badaniu QP-CMR nie stwierdzono różnic w spoczynkowym MBF pomiędzy grupami (1.16 ± 0.23 vs. 1.22 ± 0.20 ml/g/min, $P=0.398$). Pacjenci z ANOCA mieli jednak istotnie niższe wartości globalnego obciążeniowego MBF (2.43 ± 0.72 vs. 2.99 ± 0.65 ml/g/min, $P<0.01$) oraz niższy globalny MPR (2.24 ± 0.79 vs. 2.68 ± 0.64 , $P=0.04$) w porównaniu do grupy kontrolnej (Rycina 6). U pacjentów z ANOCA MPR był znacząco obniżony w obszarze RCA (2.16 ± 0.71 vs. 2.69 ± 0.69 , $P=0.01$), bez istotnych różnic w innych obszarach unaczynienia wieńcowego. Dodatkowo, MPR nie różnił się istotnie pomiędzy endotypami ANOCA.



Rycina 6. Przykład uzyskanych obrazów i wyników QP-CMR u pacjenta z zaburzeniami perfuzji w przebiegu ANOCA. Skróty jak na Ryc. 1-5.

Podsumowując, wyniki wykazały istotne obniżenie wartości MPR u pacjentów z ANOCA, co sugeruje zaburzenia perfuzji mięśnia sercowego w tej grupie chorych. Ponadto, heterogenność MPR w różnych obszarach układu wieńcowego wskazuje, że ocena perfuzji

tylko w obszarze LAD, rutynowo wykonywana podczas CFT, jest niewystarczająca. Otrzymane wyniki są obiecujące i podkreślają potencjał nieinwazyjnej diagnostyki obrazowej u pacjentów z ANOCA. Konieczne są jednak dalsze badania w celu określenia precyzyjnych wartości granicznych MPR dla QP-CMR, co umożliwi bardziej precyzyjne i skuteczne wykrywanie zaburzeń perfuzji u pacjentów z ANOCA.

Ad. 7. Advanced Cardiac Magnetic Resonance Imaging for Assessment of Obstructive Coronary Artery Disease - ADVOCATE-CMR Study Rationale and Design.

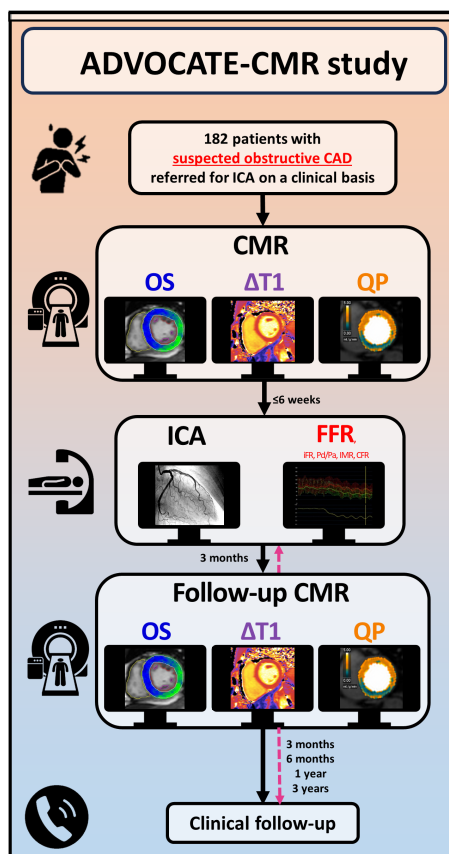
Borodicz-Jazdzyk S, de Mooij GW, den Hartog A, Hofman MBM, Götte MJW. J Cardiovasc Magn Reson. 2025 Apr 25:101900.

Zgodnie z wcześniejszym omówieniem, obrazowanie perfuzji mięśnia sercowego metodą CMR jest rekomendowane w diagnostyce CAD, a nowoczesne technologie umożliwiają ilościową ocenę MBF (QP-CMR) [3, 4]. Ponadto rozwijane są metody niewymagające podania GBCA, takie jak mapowanie T1 w trakcie obciążenia farmakologicznego czy OS-CMR z manewrami oddechowymi, które upraszczają diagnostykę, zwiększając jej bezpieczeństwo i komfort pacjenta [19-22].

Głównym celem badania ADVOCATE-CMR jest walidacja nieinwazyjnej technologii obrazowania QP-CMR w porównaniu z inwazyjnym złotym standardem (FFR) w wykrywaniu CAD z istotnymi zwężeniami w tętnicach wieńcowych (*Rycina 7*). Główne cele drugorzędowe i trzeciorzędowe obejmują: walidację $\Delta T1$ i OS-CMR w porównaniu z FFR w diagnostyce CAD z istotnymi zwężeniami w tętnicach wieńcowych, bezpośrednie porównanie dokładności diagnostycznej QP-CMR, $\Delta T1$ i OS-CMR z konwencjonalną jakościową oceną perfuzji obciążeniowej pierwszego przejścia z użyciem GBCA w wykrywaniu CAD z istotnymi zwężeniami w tętnicach wieńcowych, korelację nowych parametrów CMR z krótko- i długoterminowymi wynikami klinicznymi oraz ocenę zmian w perfuzji, objętości krwi i utlenowaniu mięśnia sercowego po rewaskularyzacji wieńcowej.

ADVOCATE-CMR to jednośrodkowe, obserwacyjne, prospektywne badanie kohortowe, obejmujące 182 pacjentów z objawami sugerującymi CAD z istotnymi zwężeniami tętnic wieńcowych, którzy mają zaplanowane wykonanie ICA. Przed ICA wszyscy pacjenci będą mieli wykonane badanie CMR, w tym OS-CMR z manewrami oddechowymi, mapowanie T1 w spoczynku i w trakcie obciążenia adenozyną oraz spoczynkową i obciążeniową perfuzję pierwszego przejścia. Następnie zostanie wykonana ICA, obejmująca pomiar FFR,

rozkurczową ocenę gradientu ciśnienia (ang. *instantaneous wave-free ratio*, iFR), ocenę spoczynkowego ciśnienia Pd/Pa, rezerwy przepływu wieńcowego (ang. *coronary flow reserve*; CFR) oraz wskaźnika oporu mikrokrążenia (ang. *index of microcirculatory resistance*; IMR) w głównych tętnicach wieńcowych. Po 3 miesiącach od ICA zostanie wykonane kontrolne badanie CMR według pierwotnie zastosowanego protokołu. Kontrola kliniczna będzie przeprowadzona po 3, 6 miesiącach, 1 oraz 3 latach od ICA.



Rycina 7. Schemat badania ADVOCATE-CMR. CFR - rezerwa przepływu wieńcowego; FFR – cząstkowa rezerwa przepływu; iFR - rozkurczowa ocena gradientu ciśnienia; IMR - wskaźnik oporu mikrokrążenia; OS - rezonans magnetyczny wrażliwy na oksygenację; Pd/Pa - spoczynkowe ciśnienie Pd/Pa; pozostałe skróty jak na Ryc. 1-6.

Badanie ADVOCATE-CMR jako pierwsze kompleksowo oceni i bezpośrednio porówna przydatność diagnostyczną różnych metod obrazowania CMR, zarówno opartych na zastosowaniu GBCA, jak i niewymagających jego użycia, w wykrywaniu istotnych zwężeń tętnic wieńcowych, potwierdzonych za pomocą pomiaru FFR. Celem jest opracowanie zwalidowanej, efektywnej procedury diagnostycznej dostępnej dla szerokiego zakresu pracowni CMR. W konsekwencji, badanie CMR, potencjalnie niewymagające użycia ani igieł, ani środka kontrastowego, może stać się skutecznym i efektywnym narzędziem diagnostycznym, umożliwiającym precyzyjną kwalifikację pacjentów z podejrzeniem istotnych zwężeń w tętnicach wieńcowych do dalszej oceny za pomocą ICA.

WNIOSKI

1. Metodologia QP-CMR oparta na uproszczonym schemacie podawania kontrastu (*dual-bolus*) wraz z zastosowaniem zautomatyzowanej metody przetwarzania i analizy uzyskanych obrazów zapewnia wysoką jakość obrazów i ma duży potencjał w precyzyjnej diagnostyce CAD z istotnymi zwężeniami w tętnicach wieńcowych. Może stanowić skuteczną alternatywę dla obecnych metod, zwiększając dostępność zaawansowanego obrazowania dla szerszego grona pracowni CMR.
2. Zastosowanie QP-CMR u pacjentów kierowanych na badanie perfuzji obciążeniowej CMR wykrywa większą liczbę niedokrwiennych obszarów unaczynienia wieńcowego oraz ujawnia potencjalne przypadki niedokrwienia mięśnia sercowego, które mogą zostać przeoczone przy zastosowaniu jedynie oceny jakościowej w badaniu perfuzji obciążeniowej CMR. Tym samym, u części chorych może to prowadzić do odmiennych wniosków klinicznych i istotnie wpłynąć na dalsze postępowanie, co podkreśla potrzebę przeprowadzenia większych badań klinicznych w tej tematyce.
3. Technologia $\Delta T1$ wykazuje niższą dokładność diagnostyczną w wykrywaniu niedokrwienia mięśnia sercowego w porównaniu z QP-CMR i jest istotnie zależna od płci oraz czynników ryzyka sercowo-naczyniowego. Z tego względu jej kliniczna przydatność w diagnostyce CAD jest ograniczona, a metody oparte na GBCA pozostają bardziej wiarygodne i w chwili obecnej powinny być preferowane w diagnostyce CAD z istotnymi zwężeniami w tętnicach wieńcowych.
4. W grupie pacjentów z wywiadem MI i/lub PCI, mimo słabej zgodności pomiędzy wartościami MBF z QP-CMR i $[^{15}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$ PET, skuteczność diagnostyczna obu metod w wykrywaniu CAD z istotnymi zwężeniami tętnic wieńcowych, zdefiniowanej na podstawie FFR jest porównywalna. Brak istotnych różnic w skuteczności QP-CMR i eksperckiej oceny v-CMR sugeruje, że zastosowanie QP-CMR może nie wnosić dodatkowej wartości w tej grupie pacjentów.
5. Analiza QP-CMR wykazała obniżenie wartości MPR u pacjentów z ANOCA, co wskazuje na zaburzenia perfuzji mięśnia sercowego. Ponadto, w tej grupie chorych heterogeniczność MPR w różnych obszarach układu wieńcowego sugeruje, że ocena perfuzji wyłącznie w obszarze LAD jest niewystarczająca. Konieczne są jednak dalsze badania w celu określenia wartości granicznych MPR dla QP-CMR, co umożliwi bardziej precyzyjne i skuteczne wykrywanie zaburzeń perfuzji u pacjentów z ANOCA.

6. Badanie ADVOCATE-CMR jest pierwszym badaniem kompleksowo oceniającym i bezpośrednio porównującym przydatność diagnostyczną różnych metod obrazowania CMR, zarówno opartych na podaniu GBCA, jak i niewymagających jego użycia, w wykrywaniu istotnych zwężeń tętnic wieńcowych, potwierdzonych za pomocą pomiaru FFR. Celem jest opracowanie zwalidowanej, efektywnej procedury diagnostycznej dostępnej dla szerokiego zakresu pracowni CMR.

MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA WYNIKÓW BADAŃ

Przedstawione badania koncentrują się na zastosowaniu nowoczesnych technologii CMR, w tym QP-CMR i $\Delta T1$, w wykrywaniu niedokrwienia mięśnia sercowego u pacjentów z CCS. Zaproponowana metodologia, oparta na protokole *dual-bolus* i zautomatyzowanej metodzie przetwarzania i analizy uzyskanych obrazów stanowi obiecujące narzędzie, które może zapewniać wysoką dokładność diagnostyczną w rozpoznawaniu CAD z istotnymi zwężeniami w tętnicach wieńcowych. Zarówno protokół *dual-bolus*, jak i w pełni zautomatyzowane oprogramowanie QP można łatwo zaimplementować w codziennej praktyce klinicznej, nie wpływając istotnie na efektywność pracy pracowni CMR. Wdrożenie tego podejścia ma potencjał, aby stać się alternatywą dla obecnych metod, zwiększając tym samym dostępność i możliwość oferowania wysokiej jakości obrazowania QP-CMR w szerokim zakresie pracowni CMR (*publikacja nr 1*).

Wyniki sugerują również, że zastosowanie QP-CMR może umożliwić dokładniejszą identyfikację niedokrwiennych obszarów mięśnia sercowego i może wykrywać przypadki niedokrwienia pomijane w konwencjonalnej ocenie jakościowej. W praktyce klinicznej oznacza to, że zastosowanie QP-CMR może prowadzić do odmiennych decyzji diagnostyczno-terapeutycznych w porównaniu z tradycyjną metodą QA. Podkreśla to potrzebę dalszych, szerzej zakrojonych badań w celu określenia wpływu QP-CMR na postępowanie diagnostyczne i rokowanie w grupie chorych z podejrzeniem niedokrwienia mięśnia sercowego (*publikacja nr 2*). Dodatkowo, uzyskane wyniki dostarczają nowych informacji na temat zastosowania QP-CMR w diagnostyce wybranych grup pacjentów, takich jak osoby po przebytym MI i/lub PCI oraz pacjenci z ANOCA (*publikacje 5 i 6*). Może to przyczynić się do bardziej efektywnego kierowania pacjentów na odpowiednio dedykowane badania diagnostyczne w celu wykrycia niedokrwienia mięśnia sercowego. Wyniki badania wskazują również, że technologia $\Delta T1$, mimo wcześniejszych oczekiwań, nie powinna być obecnie rutynowo stosowana w codziennej diagnostyce pacjentów z CAD, co podkreśla konieczność dalszego stosowania metod opartych na GBCA w praktyce klinicznej (*publikacja 3*).

Badanie ADVOCATE-CMR otwiera nowe perspektywy w zakresie opracowania zwalidowanej procedury diagnostycznej, która w przyszłości może umożliwić precyzyjną nieinwazyjną diagnostykę CAD, potencjalnie bez konieczności stosowania igieł i środków kontrastowych (*publikacja 7*).

Piśmiennictwo

1. Khan, M.A., et al., Global Epidemiology of Ischemic Heart Disease: Results from the Global Burden of Disease Study. *Cureus*, 2020. 12(7): p. e9349.
2. Townsend, N., et al., Cardiovascular disease in Europe: epidemiological update 2016. *Eur Heart J*, 2016. 37(42): p. 3232-3245.
3. Vrints, C., et al., 2024 ESC Guidelines for the management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J*, 2024. 45(36): p. 3415-3537.
4. Patel, A.R., et al., Stress Cardiac Magnetic Resonance Myocardial Perfusion Imaging: JACC Review Topic of the Week. *J Am Coll Cardiol*, 2021. 78(16): p. 1655-1668.
5. Schulz-Menger, J., et al., Standardized image interpretation and post-processing in cardiovascular magnetic resonance - 2020 update : Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR): Board of Trustees Task Force on Standardized Post-Processing. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2020. 22(1): p. 19.
6. Kotecha, T., et al., Assessment of Multivessel Coronary Artery Disease Using Cardiovascular Magnetic Resonance Pixelwise Quantitative Perfusion Mapping. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020. 13(12): p. 2546-2557.
7. Rahman, H., et al., High-Resolution Cardiac Magnetic Resonance Imaging Techniques for the Identification of Coronary Microvascular Dysfunction. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021. 14(5): p. 978-986.
8. Christian, T.F., et al., Absolute myocardial perfusion in canines measured by using dual-bolus first-pass MR imaging. *Radiology*, 2004. 232(3): p. 677-84.
9. Jerosch-Herold, M., C. Swingen, and R.T. Seethamraju, Myocardial blood flow quantification with MRI by model-independent deconvolution. *Med Phys*, 2002. 29(5): p. 886-97.
10. Hsu, L.Y., et al., Diagnostic Performance of Fully Automated Pixel-Wise Quantitative Myocardial Perfusion Imaging by Cardiovascular Magnetic Resonance. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2018. 11(5): p. 697-707.
11. Wang, S., et al., Myocardial Blood Flow Quantification Using Stress Cardiac Magnetic Resonance Improves Detection of Coronary Artery Disease. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2024. 17(12): p. 1428-1441.
12. Kotecha, T., et al., Automated Pixel-Wise Quantitative Myocardial Perfusion Mapping by CMR to Detect Obstructive Coronary Artery Disease and Coronary Microvascular Dysfunction: Validation Against Invasive Coronary Physiology. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019. 12(10): p. 1958-1969.
13. Kellman, P., et al., Myocardial perfusion cardiovascular magnetic resonance: optimized dual sequence and reconstruction for quantification. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2017. 19(1): p. 43.
14. Hsu, L.Y., et al., A quantitative pixel-wise measurement of myocardial blood flow by contrast-enhanced first-pass CMR perfusion imaging: microsphere validation in dogs and feasibility study in humans. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2012. 5(2): p. 154-66.
15. Christian, T.F., A.H. Aletras, and A.E. Arai, Estimation of absolute myocardial blood flow during first-pass MR perfusion imaging using a dual-bolus injection technique: comparison to single-bolus injection method. *J Magn Reson Imaging*, 2008. 27(6): p. 1271-7.
16. van Dijk, R., et al., Diagnostic performance of semi-quantitative and quantitative stress CMR perfusion analysis: a meta-analysis. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2017. 19(1): p. 92.
17. Zhao, S.H., et al., Fully automated pixel-wise quantitative CMR-myocardial perfusion with CMR-coronary angiography to detect hemodynamically significant coronary artery disease. *Eur Radiol*, 2023.
18. Brown, L.A.E., et al., Sex- and age-specific normal values for automated quantitative pixel-wise myocardial perfusion cardiovascular magnetic resonance. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2023. 24(4): p. 426-434.
19. Burrage, M.K., et al., Cardiovascular magnetic resonance stress and rest T1-mapping using regadenoson for detection of ischemic heart disease compared to healthy controls. *Int J Cardiol*, 2021. 333: p. 239-245.
20. Liu, A., et al., Adenosine Stress and Rest T1 Mapping Can Differentiate Between Ischemic, Infarcted, Remote, and Normal Myocardium Without the Need for Gadolinium Contrast Agents. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2016. 9(1): p. 27-36.

21. Piechnik, S.K., S. Neubauer, and V.M. Ferreira, State-of-the-art review: stress T1 mapping-technical considerations, pitfalls and emerging clinical applications. *Magma*, 2018. 31(1): p. 131-141.
22. Friedrich, M.G. and T.D. Karamitsos, Oxygenation-sensitive cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2013. 15(1): p. 43.
23. Jerosch-Herold, M., Quantification of myocardial perfusion by cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2010. 12(1): p. 57.
24. Gatehouse, P.D., et al., Accurate assessment of the arterial input function during high-dose myocardial perfusion cardiovascular magnetic resonance. *J Magn Reson Imaging*, 2004. 20(1): p. 39-45.
25. Sharrack, N., A. Chiribiri, J. Schwitter, and S. Plein, How to do quantitative myocardial perfusion cardiovascular magnetic resonance. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2022. 23(3): p. 315-318.
26. Ishida, M., et al., Development of a universal dual-bolus injection scheme for the quantitative assessment of myocardial perfusion cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2011. 13(1): p. 28.
27. Groothuis, J.G., et al., Comparison of dual to single contrast bolus magnetic resonance myocardial perfusion imaging for detection of significant coronary artery disease. *J Magn Reson Imaging*, 2010. 32(1): p. 88-93.
28. Bradley, A.J., et al., Three Automated Quantitative Cardiac Magnetic Resonance Perfusion Analyses Versus Invasive Fractional Flow Reserve in Swine. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021. 14(9): p. 1871-1873.
29. Benovoy, M., et al., Robust universal nonrigid motion correction framework for first-pass cardiac MR perfusion imaging. *J Magn Reson Imaging*, 2017. 46(4): p. 1060-1072.
30. Jacobs, M., et al., Evaluation of an automated method for arterial input function detection for first-pass myocardial perfusion cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2016. 18: p. 17.
31. Jacobs, M., et al., Automated Segmental Analysis of Fully Quantitative Myocardial Blood Flow Maps by First-Pass Perfusion Cardiovascular Magnetic Resonance. *IEEE Access*, 2021. 9: p. 52796-52811.
32. Messroghli, D.R., et al., Clinical recommendations for cardiovascular magnetic resonance mapping of T1, T2, T2* and extracellular volume: A consensus statement by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) endorsed by the European Association for Cardiovascular Imaging (EACVI). *J Cardiovasc Magn Reson*, 2017. 19(1): p. 75.
33. Taylor, A.J., M. Salerno, R. Dharmakumar, and M. Jerosch-Herold, T1 Mapping: Basic Techniques and Clinical Applications. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2016. 9(1): p. 67-81.
34. Nickander, J., et al., The relative contributions of myocardial perfusion, blood volume and extracellular volume to native T1 and native T2 at rest and during adenosine stress in normal physiology. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2019. 21(1): p. 73.
35. Lindner, J.R., et al., Changes in myocardial blood volume with graded coronary stenosis. *Am J Physiol*, 1997. 272(1 Pt 2): p. H567-75.
36. Zhuang, B., et al., Detection of Myocardial Ischemia Using Cardiovascular MRI Stress T1 Mapping: A Miniature-Swine Validation Study. *Radiol Cardiothorac Imaging*, 2023. 5(3): p. e220092.
37. Everaars, H., et al., Comparison between cardiac magnetic resonance stress T1 mapping and [15O]H2O positron emission tomography in patients with suspected obstructive coronary artery disease. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2021.
38. Bohnen, S., et al., Stress T1-mapping cardiovascular magnetic resonance imaging and inducible myocardial ischemia. *Clin Res Cardiol*, 2019. 108(8): p. 909-920.
39. Knuuti, J., et al., 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J*, 2020. 41(3): p. 407-477.
40. Writing Committee, M., et al., 2021 AHA/ACC/ASE/CHEST/SAEM/SCCT/SCMR Guideline for the Evaluation and Diagnosis of Chest Pain: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2022. 16(1): p. 54-122.
41. Danad, I., et al., Comparison of Coronary CT Angiography, SPECT, PET, and Hybrid Imaging for Diagnosis of Ischemic Heart Disease Determined by Fractional Flow Reserve. *JAMA Cardiol*, 2017. 2(10): p. 1100-1107.
42. Kajander, S.A., et al., Clinical value of absolute quantification of myocardial perfusion with (15)O-water in coronary artery disease. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2011. 4(6): p. 678-84.
43. Samuels, B.A., et al., Comprehensive Management of ANOCA, Part 1-Definition, Patient Population, and Diagnosis: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol*, 2023. 82(12): p. 1245-1263.
44. Kunadian, V., et al., An EAPCI Expert Consensus Document on Ischaemia with Non-Obstructive Coronary Arteries in Collaboration with European Society of Cardiology Working Group on Coronary Pathophysiology & Microcirculation Endorsed by Coronary Vasomotor Disorders International Study Group. *EuroIntervention*, 2021. 16(13): p. 1049-1069.

5. INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ REALIZOWANĄ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI

5.1. PODSUMOWANIE DOROBKU NAUKOWEGO NA PODSTAWIE ANALIZY BIBLIOMETRYCZNEJ

Szczegółowa analiza bibliometryczna wykonana przez Bibliotekę Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego została przedstawiona w Załączniku 4.

Podsumowanie punktacji IF i MNISW oraz liczby cytowań według baz Web of Science i Scopus - stan na 08.05.2025 r.:

Łączny Impact Factor: 93.890

Punktacja MEiN: 2755

Index Hirscha: 8 według bazy Web of Science; 9 według bazy Scopus

Liczba cytowań (bez autocytowań): 356 według bazy Web of Science; 390 według bazy Scopus

Przed uzyskaniem stopnia doktora: Impact Factor: 29.990, Punktacja MEiN: 860

Po uzyskaniu stopnia doktora: Impact Factor: 63.900, Punktacja MEiN: 1895

5.2. OPIS AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ POZA OSIĄGNIĘCIEM, O KTÓRYM MOWA W ART. 219 UST. 1 PKT. 2 USTAWY

1. Zastosowanie CMR w diagnostyce chorób układu sercowo-naczyniowego

Obrazowanie metodą CMR stało się integralnym elementem współczesnej diagnostyki kardiologicznej, oferując precyzję w ocenie morfologii, funkcji i charakterystyki tkankowej mięśnia sercowego. Dynamiczny rozwój nowych technologii, takich jak QP-CMR, mapowanie T1 i T2, czy trójwymiarowe obrazowanie LGE (3D LGE) pozwala na wykrycie i dokładną ocenę subtelných patologii oraz precyzyjną diagnostykę kardiologiczną. Poniższe publikacje ilustrują znaczenie CMR w ocenie mikrokrazenia, włóknienia miokardium oraz w planowaniu i monitorowaniu nowoczesnych strategii elektroterapii. Prezentowane publikacje powstały jako wynik mojej pracy naukowej i klinicznej w trakcie pobytu w Cardiology Department Amsterdam University Medical Centers, Vrije Universiteit Medical Center, Amsterdam, Holandia.

Borodzicz-Jazdzyk S, de Mooij GW, van Loon RB, Götte MJW. Microvascular dysfunction in hypertrophic cardiomyopathy: diagnostic role of noninvasive, fully automated quantitative perfusion cardiovascular magnetic resonance imaging. Pol Arch Intern Med. 2024 Jan 29;134(1):16603.

Opis przypadku pacjenta z kardiomiopatią przerostową, u którego dzięki zastosowaniu analizy QP-CMR wykazano rozległą dysfunkcję mikrokrążenia wieńcowego jako przyczyny niedokrwienia mięśnia sercowego, niewidoczną w klasycznej ocenie jakościowej i przy braku istotnych zmian w tętnicach wieńcowych.

Hopman LHGA, Beunder KP, **Borodzicz-Jazdzyk S**, Götte MJW, van Halm VP. Loss of capture of conduction system pacemaker caused by fibrosis surrounding the lead: a case report. BMC Cardiovasc Disord. 2023 Dec 19;23(1):621.

Opis przypadku pacjentki z całkowitym blokiem przedsionkowo-komorowym, u której zastosowano nowoczesną stymulację układu bodźcoprzewodzącego (ang. conduction system pacing; CSP), jednak z czasem doszło do narastania progu stymulacji; kluczową rolę w identyfikacji przyczyny odegrało badanie CMR, które ujawniło włóknienie w obrębie przegrody międzykomorowej i zasugerowało obecność sarkoidozy serca. Przypadek ten podkreśla znaczenie CMR jako istotnego narzędzia w ocenie strukturalnej przed implantacją urządzenia, mogącej mieć istotny wpływ na skuteczność CSP.

Hopman LHGA, Solís-Lemus JA, Hofman MBM, Bhagirath P, **Borodzicz-Jazdzyk S**, van Pouderoijen N, Krafft AJ, Schmidt M, Allaart CP, Niederer SA, Götte MJW. Performance of Image-navigated and Diaphragm-navigated 3D Late Gadolinium-enhanced Cardiac MRI for the Assessment of Atrial Fibrosis. Radiol Cardiothorac Imaging. 2024 Apr;6(2):e230172.

Celem pracy była jakościowa i ilościowa ocena nowatorskiej techniki obrazowania CMR z zastosowaniem trójwymiarowego późnego wzmocnienia pokontrastowego (3D LGE) z nawigacją obrazową (image-navigated, iNAV) w porównaniu z klasyczną metodą wykorzystującą nawigację przeponową (diaphragm-navigated, dNAV) w ocenie włóknienia lewego przedsionka u pacjentów z migotaniem przedsionków. W badaniu udowodniono, że strategia iNAV umożliwia ponad dwukrotnie szybszą akwizycję obrazów przy porównywalnej jakości diagnostycznej, jednak wykazuje istotnie mniejszą rozległość włóknienia, co może mieć wpływ na interpretację kliniczną i dalsze decyzje terapeutyczne.

2. Eksperymentalny model kardiomiopatii Takotsubo

Swój rozwój naukowy rozpoczęłam od pracy łączącej nauki podstawowe i kliniczne z przekonaniem, że to właśnie medycyna translacyjna stwarza największe możliwości opracowywania skutecznych strategii diagnostycznych i terapeutycznych w chorobach sercowo-naczyniowego. Interdyscyplinarne podejście, łączące zrozumienie mechanizmów patofizjologicznych z obrazem klinicznym jednostek chorobowych, od początku stanowiło fundament mojej aktywności badawczej.

Od 2016 roku byłam członkinią interdyscyplinarnego zespołu badawczego, utworzonego w ramach ścisłej współpracy Katedry i Zakładu Fizjologii Doświadczalnej i Klinicznej oraz I Katedry i Kliniki Kardiologii Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego. Wspólne działania naukowców z obszarów nauk podstawowych i klinicystów zaowocowały opracowaniem eksperymentalnego modelu kardiomiopatii Takotsubo indukowanej izoprenaliną u samic szczurów, umożliwiającego pogłębione badania nad mechanizmami tej złożonej i wciąż niedostatecznie poznanej jednostki chorobowej.

W tym samym roku otrzymałam Diamentowy Grant Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego na realizację projektu badawczego pt. „Rodzaje śmierci kardiomiocytów w kardiomiopatii Takotsubo”, którego wyniki stanowiły podstawę mojej rozprawy doktorskiej. Projekt koncentrował się na analizie uszkodzenia mięśnia sercowego wywołanego stresem katecholaminowym w przebiegu kardiomiopatii Takotsubo, ze szczególnym uwzględnieniem oceny różnych mechanizmów śmierci komórkowej, w tym tych związanych z reakcją zapalną.

Współpraca w ramach tego zespołu badawczego zaowocowała cyklem czterech publikacji naukowych poświęconych patofizjologii kardiomiopatii Takotsubo. Na szczególne wyróżnienie zasługuje praca pt. *”Inflammatory Forms of Cardiomyocyte Cell Death in the Rat Model of Isoprenaline-Induced Takotsubo Syndrome”*, w której po raz pierwszy wykazano, że w przebiegu tego zespołu dochodzi do aktywacji zapalnych form programowanej śmierci komórkowej - nekroptozy i pyroptozy. Uzyskane wyniki wskazują, że reakcja zapalna nie jest jedynie wtórną odpowiedzią na uszkodzenie mięśnia sercowego, lecz odgrywa rolę pierwotnego mechanizmu towarzyszącego śmierci kardiomiocytów. Programowana śmierć komórek może również wyjaśniać stosunkowo niskie stężenia troponin obserwowane w ostrej fazie kardiomiopatii Takotsubo. Wyniki te dostarczają nowego spojrzenia na molekularne mechanizmy choroby i mogą stanowić punkt wyjścia do opracowania innowacyjnych strategii

terapeutycznych ukierunkowanych na modulację odpowiedzi zapalnej w przebiegu kardiomiopatii Takotsubo.

Borodnicz-Jażdżyk S, Kołodzińska A, Czarzasta K, Wojciechowska M, Głowczyńska R, Szczepankiewicz B, Puchalska L, Opolski G, Cudnoch-Jędrzejewska A. Inflammatory Forms of Cardiomyocyte Cell Death in the Rat Model of Isoprenaline-Induced Takotsubo Syndrome. Biomedicines. 2023; 11: 2060.

Wyżej wspomniana publikacja dotycząca zapalnych form programowanej śmierci komórkowej w modelu szczurzym zespołu Takotsubo.

Kołodzińska A, Czarzasta K, Szczepankiewicz B, Budnik M, Głowczyńska R, Fojt A, Ilczuk T, Krasuski K, **Borodnicz S**, Cudnoch-Jędrzejewska A, Górnicka B, Opolski G. Isoprenaline induced Takotsubo syndrome: Histopathological analyses of female rat hearts. Cardiol J. 2022; 29: 105-114.

Praca przedstawia charakterystykę modelu kardiomiopatii Takotsubo u samic szczurów indukowanego izoprenaliną, wskazując, że optymalna dawka 150 mg/kg masy ciała pozwala na wysoką skuteczność wywołania typowego obrazu echokardiograficznego przy niskiej śmiertelności zwierząt. Analiza histopatologiczna wykazała ogniska martwicy i apoptozy kardiomiocytów z dominującym zajęciem środkowej warstwy mięśnia sercowego oraz wyraźnym gradientem w kierunku koniuszka serca, co potwierdza lokalizację i charakter uszkodzeń typowych dla kardiomiopatii Takotsubo.

Borodnicz S, Czarzasta K, Opolski G, Cudnoch-Jędrzejewska A. Autonomic nervous system in Takotsubo syndrome. Heart Fail Rev. 2019; 24: 101-108.

Borodnicz S, Czarzasta K, Opolski G, Cudnoch-Jędrzejewska A. Authors' response to the letter: Takotsubo syndrome: a neurocardiac syndrome inside the autonomic nervous system. Heart Fail Rev. 2019; 24: 831.

Niniejsze prace poglądowe koncentrują się na roli autonomicznego układu nerwowego w patogenezie zespołu Takotsubo. Choć mechanizmy choroby nie zostały jeszcze w pełni poznane, coraz więcej danych sugeruje zaburzenia w regulacji jako kluczowy czynnik w jej rozwoju, co stanowi punkt wyjścia do przedstawionych publikacji.

3. Rola sfingolipidów w chorobach sercowo-naczyniowych i dermatologicznych.

Sfingolipidy, stanowiące integralny element błon komórkowych, pełnią kluczową rolę w regulacji procesów biologicznych, takich jak cykl komórkowy, apoptoza, odpowiedź zapalna, angiogeneza i metabolizm komórkowy. Rosnąca liczba badań wskazuje na ich istotny udział w patogenezie chorób sercowo-naczyniowych, w tym miażdżycy, nadciśnienia tętniczego, niewydolności serca oraz zaburzeń metabolicznych. Przedstawiony cykl publikacji poglądowych stanowi przegląd i analizę aktualnego stanu wiedzy na temat roli sfingolipidów w wybranych chorobach sercowo-naczyniowych i dermatologicznych. Niniejsze prace podkreślają potencjał sfingolipidów jako biomarkerów oraz celów terapeutycznych, zwłaszcza w kontekście profilaktyki i leczenia chorób układu sercowo-naczyniowego.

Borodzicz-Jażdżyk S, Jażdżyk P, Łysik W, Cudnoch-Jędrzejewska A, Czarzasta K. Sphingolipid metabolism and signaling in cardiovascular diseases. Front Cardiovasc Med. 2022 Aug 31;9:915961.

Niniejsza praca przeglądowa dotyczy roli metabolizmu i szlaków sygnalizacyjnych sfingolipidów w patofizjologii chorób układu sercowo-naczyniowego, ze szczególnym uwzględnieniem ich znaczenia w procesach komórkowych oraz potencjalnej roli jako biomarkerów i celów terapeutycznych.

Borodzicz S, Czarzasta K, Kuch M, Cudnoch-Jędrzejewska A. Sphingolipids in cardiovascular diseases and metabolic disorders. Lipids Health Dis. 2015 Jun 16;14:55.

W artykule omówiono znaczenie sfingolipidów jako aktywnych regulatorów procesów komórkowych oraz ich udział w rozwoju chorób cywilizacyjnych, takich jak zawał serca, udar mózgu, nadciśnienie tętnicze, cukrzyca typu 2 i otyłość, ze szczególnym uwzględnieniem funkcji ceramidu i sfingozyno-1-fosforanu w kontekście regulacji fizjologii komórkowej.

Borodzicz S, Rudnicka L, Mirowska-Guzel D, Cudnoch-Jędrzejewska A. The role of epidermal sphingolipids in dermatologic diseases. Lipids Health Dis. 2016 Jan 19;15:13.

4. *Varia* - wybrane prace eksperymentalne i kliniczne

Barison A, Timoteo AT, Liga R, **Borodzicz-Jażdżyk S**, El Messaoudi S, Luong C, Mandoli GE, Moscatelli S, Ramkisoensing AA, Mohareem-Elgamal S, Pontone G, Neglia D. Cardiovascular imaging research and innovation in 2023. Eur Heart J Imaging Methods Pract. 2024 Apr 18;2(1):qyae029.

W latach 2022-2024 byłam członkinią Research & Innovation Committee przy European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) - wiodącej europejskiej organizacji i centrum eksperckiego w dziedzinie obrazowania sercowo-naczyniowego. W ramach prac Komisji powstał roczny przegląd prezentujący najważniejsze osiągnięcia w zakresie rozwoju technologii, wdrażania nowych rozwiązań klinicznych oraz omawiający kierunki dalszych badań w obrazowaniu układu sercowo-naczyniowego. Publikacja ta stanowi kompleksowe opracowanie najnowszych trendów i innowacji, ukazując coraz większą rolę nowoczesnych technik obrazowych w diagnostyce, ocenie ryzyka i personalizacji leczenia pacjentów z chorobami sercowo-naczyniowymi.

Balsam P, Ozierański K, Kapłon-Cieślicka A, **Borodzicz S**, Tymińska A, Peller M, Marchel M, Crespo-Leiro MG, Maggioni AP, Drożdż J, Opolski G, Grabowski M. Differences in clinical characteristics and 1-year outcomes of hospitalized patients with heart failure in ESC-HF Pilot and ESC-HF-LT registries. Pol Arch Intern Med. 2019 Feb 28;129(2):106-116.

Praca analizuje profil kliniczny, roczne wyniki leczenia oraz czynniki ryzyka zgonu i ponownych hospitalizacji u polskich pacjentów hospitalizowanych z powodu niewydolności serca, zrekrutowanych w międzynarodowych, wieloośrodkowych rejestrach ESC-HF Pilot oraz ESC-HF Long-Term Registry.

Balsam P, Peller M, **Borodzicz S**, Kapłon-Cieślicka A, Ozierański K, Tymińska A, Marchel M, Crespo-Leiro MG, Maggioni AP, Drożdż J, Grabowski M, Filipiak KJ, Opolski G. In-hospital heart rate reduction and its relation to outcomes of heart failure patients with sinus rhythm: Results from the Polish part of the European Society of Cardiology Heart Failure Pilot and Long-Term Registries. Cardiol J. 2020;27(1):25-37.

W publikacji oceniono związek między redukcją częstości rytmu serca podczas hospitalizacji a ryzykiem zgonu i ponownej hospitalizacji w ciągu roku u pacjentów z niewydolnością serca i rytmem zatokowym, na podstawie danych z polskich ośrodków uczestniczących w wyżej wspomnianych międzynarodowych, wieloośrodkowych rejestrach ESC-HF Pilot i ESC-HF Long-Term.

Balsam P, Łodziński P, Tymińska A, Ozierański K, Januszkiewicz Ł, Głowczyńska R, Wesołowska K, Peller M, Pietrzak R, Książczyk T, **Borodzicz S**, Kołtowski Ł, Borkowski M, Werner B, Opolski G, Grabowski M. Study design and rationale for biomedical shirt-based

electrocardiography monitoring in relevant clinical situations: ECG-shirt study. *Cardiol J.* 2018;25(1):52-59.

Praca przedstawia projekt prospektywnego, wieloośrodkowego badania obserwacyjnego oceniającego zastosowanie technologii monitorowania EKG wykorzystującą odzież biomedyczną w różnych grupach pacjentów z chorobami układu sercowo-naczyniowego, zarówno dorosłych, jak i dzieci.

Balsam P, **Borodnicz S**, Malesa K, Puchta D, Tymińska A, Ozierański K, Kołtowski Ł, Peller M, Grabowski M, Filipiak KJ, Opolski G. OCULUS study: Virtual reality-based education in daily clinical practice. *Cardiol J.* 2019;26(3):260-264.

Publikacja przedstawia wyniki badania OCULUS, mającego na celu ocenę skuteczności zastosowania filmu edukacyjnego w technologii 3D jako narzędzia zwiększającego wiedzę pacjentów na temat migotania przedsionków i profilaktyki udaru mózgu.

Czarzasta K, Wojciechowska M, Segiet-Swiecicka A, **Borodnicz-Jażdżyk S**, Niedziela M, Sajdel-Sulkowska EM. The effect of depressive-like behavior in pregnant rat dams on the cardiovascular system in their offspring. *Stress.* 2021 Sep;24(5):652-658.

Praca przedstawia wyniki badania eksperymentalnego oceniającego wpływ depresji okołoporodowej u samic szczurów na funkcję rozkurczową lewej komory u ich potomstwa, z wykorzystaniem echokardiografii i analizy ekspresji peptydu natriuretycznego typu B (B-type natriuretic peptide; BNP) w mięśniu sercowym.

Kowara M, **Borodnicz-Jażdżyk S**, Rybak K, Kubik M, Cudnoch-Jedrzejska A. Therapies Targeted at Non-Coding RNAs in Prevention and Limitation of Myocardial Infarction and Subsequent Cardiac Remodeling-Current Experience and Perspectives. *Int J Mol Sci.* 2021 May 27;22(11):5718.

Praca przeglądowa koncentrująca się na roli niekodujących RNA (microRNA, lncRNA, circRNA) w patofizjologii MI oraz omawiająca przedkliniczne strategie terapeutyczne ukierunkowane na ich modulację w celu ograniczenia progresji miażdżycy, uszkodzenia serca i niekorzystnego remodelingu.

Główczyńska R, **Borodnicz-Jażdżyk S (autor korespondencyjny)**, Peller M, Raszeja-Wyszomirska J, Milkiewicz P, Zieniewicz K, Opolski G. Chronotropic incompetence in end-stage liver disease. *PLoS One.* 2022 Aug 1;17(8):e0270784.

Publikacja dotyczy przydatności próby wysiłkowej w diagnostyce kardiomiopatii wątrobowej u pacjentów z schyłkową niewydolnością wątroby kwalifikowanych do przeszczepienia, ze szczególnym uwzględnieniem częstości występowania niewydolności chronotropowej i jej związku z zaawansowaniem choroby wątroby.

Borodnicz-Jażdżyk S, Fojt A, Vloka M, Szczerba E, Budnik M, Grabowski M, Opolski G, Kowalik R. Mobile aortic mural thrombus in a patient with small-cell lung cancer receiving cisplatin-based chemotherapy. *Kardiologia Polska*. 2022;80(3):376-377.

Praca opisuje przypadek pacjenta z drobnokomórkowym rakiem płuca leczonego chemioterapią i balotującą skrzepliną w łuku aorty. Przypadek ten podkreśla istotny związek między chorobą nowotworową a powikłaniami zakrzepowo-zatorowymi oraz wskazuje na wyzwania diagnostyczno-terapeutyczne w tej grupie chorych.

Rozwadowski J, **Borodnicz-Jażdżyk S**, Czarzasta K, Cudnoch-Jędrzejewska A. A Review of the Roles of Apelin and ELABELA Peptide Ligands in Cardiovascular Disease, Including Heart Failure and Hypertension. *Med Sci Monit*. 2022 Dec 16;28:e938112.

Praca przeglądowa koncentrująca się na roli apeliny i peptydu ELABELA jako endogennych ligandów receptora APJ w kontekście ich działania w układzie sercowo-naczyniowym oraz potencjalnego znaczenia terapeutycznego w leczeniu nadciśnienia tętniczego i niewydolności serca.

6. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ

6.1. DYDAKTYKA I POPULARYZACJA NAUKI

W trakcie studiów doktoranckich realizowanych na I Wydziale Lekarskim Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, a następnie w trakcie zatrudnienia jako Adiunkt badawczo-dydaktyczny w Katedrze i Zakładzie Fizjologii Doświadczalnej i Klinicznej WUM prowadziłam zajęcia z fizjologii i patofizjologii dla studentów kierunku lekarskiego II roku Wydziału Lekarskiego WUM oraz Oddziału Nauczania w Języku Angielskim (English Division) Wydziału Lekarskiego WUM. Obecnie jako asystent badawczo-dydaktyczny w I Katedrze i Klinice Kardiologii WUM prowadzę zajęcia praktyczne z kardiologii dla studentów VI roku Wydziału Lekarskiego WUM, zajęcia praktyczne z kardiologii

dla studentów IV i VI roku English Division Wydziału Lekarskiego WUM oraz zajęcia praktyczne z chorób wewnętrznych dla studentów III, IV i VI roku Wydziału Lekarskiego WUM. W ramach mojej współpracy naukowej w zakresie CMR w Cardiology Department, Amsterdam UMC byłam opiekunem naukowym projektów studenckich Bachelor studies i Master studies (łącznie funkcja *daily supervisor* w 4 projektach studenckich, *first assessor* w 2 projektach studenckich) studentów Vrije Universiteit Amsterdam.

W kadencji 2022-2024 zostałam wybrana na członkinię komisji European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) Research & Innovation Committee. EACVI, działając w strukturach European Society of Cardiology (ESC), realizuje misję bycia wiodącą społecznością oraz centrum wiedzy w dziedzinie obrazowania sercowo-naczyniowego, działającym na rzecz zmniejszenia globalnego obciążenia chorobami układu krążenia. Ponadto, EACVI aktywnie promuje rozwój badań naukowych, standaryzację praktyki klinicznej, nowoczesną edukację oraz międzynarodowe rozpowszechnianie zaleceń dotyczących obrazowania multimodalnego. Jednym z efektów mojej aktywności w ramach prac Komisji było opracowanie publikacji przeglądowej *Cardiovascular Imaging Research and Innovation* za rok 2023, prezentującej najnowsze osiągnięcia i trendy w obrazowaniu układu sercowo-naczyniowego, uwzględniające innowacje technologiczne, wdrożenia kliniczne oraz kierunki dalszych badań. Ponadto, jako prowadząca serii wideo wywiadów "How-to - Research Toolkit Video Series", przeprowadziłam rozmowy z ekspertami na temat praktycznych aspektów prowadzenia badań naukowych. W ramach tej serii zrealizowano następujące odcinki ([https://www.escardio.org/Sub-specialty-communities/European-Association-of-Cardiovascular-Imaging-\(EACVI\)/Research-and-Publications/how-to](https://www.escardio.org/Sub-specialty-communities/European-Association-of-Cardiovascular-Imaging-(EACVI)/Research-and-Publications/how-to)):

- **"How-to... design a randomised trial"** - ekspert: Prof. Tor Biering- Sørensen, Department of Cardiology, Copenhagen University Hospital - Herlev and Gentofte, Copenhagen, Denmark; Center for Translational Cardiology and Pragmatic Randomized Trials, Department of Biomedical Sciences, Faculty of Health and Medical Sciences, University of Copenhagen, Denmark; Department of Cardiology, Copenhagen University Hospital - Rigshospitalet, Copenhagen, Denmark; Steno Diabetes Center Copenhagen, Copenhagen, Denmark
- **"How-to... publish an original research paper"** - ekspert: Dr. Théo Pezel, Department of Cardiology, University Hospital of Lariboisière, AP-HP, Université Paris Cité, Paris, France; MASCOT-UMRS 942, Inserm, University Hospital of Lariboisière, AP-HP,

Paris, France, MIRACL.ai laboratory (Multimodality Imaging for Research and Analysis Core Laboratory and Artificial Intelligence), University Hospital of Lariboisière, AP-HP, Paris, France;

- **"How-to... publish a case report"** - ekspert: Assoc. Prof. Julia Grapsa, Cardiovascular Department, Guys and St Thomas NHS Trust, London, United Kingdom
- **"How-to... apply for Horizon Europe grants"** - ekspert: Michela Rial, Institute of Clinical Physiology, Italian National Research Council.
- **"How-to... design an observational study/registry"** - ekspert: Prof. Danilo Neglia, Cardiovascular Department, Fondazione Toscana Gabriele Monasterio, Pisa, Italy

Dodatkowo, współtworzyłam EACVI Research and Innovation News, kwartalny przegląd najnowszych publikacji z zakresu obrazowania sercowo-naczyniowego ([https://www.escardio.org/Sub-specialty-communities/European-Association-of-Cardiovascular-Imaging-\(EACVI\)/Research-and-Publications/EACVI-Research-and-Innovation-News](https://www.escardio.org/Sub-specialty-communities/European-Association-of-Cardiovascular-Imaging-(EACVI)/Research-and-Publications/EACVI-Research-and-Innovation-News)). Inicjatywa ta, realizowana przez EACVI Research & Innovation Committee, a w chwili obecnej przez Scientific Initiatives Committee, dostarcza aktualnych informacji o najciekawszych i najbardziej znaczących pracach naukowych, opatrzonych komentarzami członków komisji i zaproszonych ekspertów.

W kadencji 2024-2026 zostałam wybrana na członkinię trzech komisji EACVI: Heart Imagers of Tomorrow (HIT) Committee, Scientific Initiatives Committee oraz Shared Interest Groups (SIGs) Committee. Moja działalność w tych strukturach koncentruje się na wspieraniu i aktywnym udziale w innowacyjnych inicjatywach badawczych, rozwijaniu współpracy międzynarodowej oraz zaangażowaniu w projekty edukacyjne dla młodych specjalistów w zakresie multimodalnego obrazowania układu sercowo-naczyniowego. W ramach zespołu HIT pełnię funkcję współbadacza i koordynatora Polskich ośrodków w dwóch międzynarodowych rejestrach: European Association of Cardiovascular Imaging Multiple and Mixed Valvular Disease Registry (EACVI-MMVD) oraz EACVI Study on Multimodality Cardiovascular Imaging of Inflammatory Cardiovascular Diseases (EACVI-INFLAME). W ramach działalności w Scientific Initiatives Committee kontynuuję współprowadzenie projektu How-to - Research Toolkit oraz współtworzę kwartalny newsletter EACVI Research and Innovation News. Równolegle angażuję się w rozwój kolejnych inicjatyw naukowych i edukacyjnych, obecnie znajdujących się na etapie opracowywania.

6.2. *DONIESIENIA NA MIĘDZYNARODOWYCH I KRAJOWYCH KONFERENCJACH NAUKOWYCH*

Wybrane doniesienia naukowe prezentowane na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych których jestem autorem lub współautorem:

28th Annual Scientific Sessions of the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, Washington DC, USA, 29.01-02.02.2025.

Borodzicz-Jazdzyk S, Vink CEM, de Mooij GW, van de Wiel MA, Benovoy M, Götte MJW. Stress T1 Mapping and Quantitative Perfusion Cardiac Magnetic Resonance in Patients with Suspected Obstructive Coronary Artery Disease.

de Mooij, GW, Vink CEM, **Borodzicz-Jazdzyk S**, de Jong EAM, Woudstra J, van de Hoef TP, Chamuleau SAJ, Eringa EC, Götte MJW, Appelman Y. Cardiac magnetic resonance T1 mapping reactivity in patients with angina with non-obstructive coronary artery disease.

CMR2024 Scientific Sessions: The Global CMR Conference, London, UK, 25-27.01.2024.

Borodzicz-Jazdzyk S, Vink CEM, Demirkiran A, Hoek R, de Mooij GW, Hofman MBM, Wilgenhof A, Appelman Y, Benovoy M, Götte MJW. Quantitative Perfusion Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging: clinical implementation of a simplified dual-bolus workflow.

Hopman LHGA, Beunder KP, **Borodzicz-Jazdzyk S**, Götte MJW, van Halm VP. Loss of Capture of Conduction System Pacemaker Caused by Fibrosis Surrounding the Lead Revealed by Post-implantation CMR Imaging: A Case Report.

Nederlandse Vereniging Voor Cardiologie Najaarscongres, Arnhem, NL, 3.11- 4.11.2023.

de Mooij GW, **Borodzicz-Jazdzyk S**, Götte MJW. Qualitative versus Quantitative Stress Perfusion CMR Imaging for Detection of Obstructive CAD, A Restrospective Study.

17th The International Society for Magnetic Resonance in Medicine BeNeLux, Hilversum, NL, 17.01.2025.

de Mooij GW, **Borodzicz-Jazdzyk S**, Visch JE, Germans T, van der Velden J, Götte MJW. Oxygentation-Sensitive Cardiac Magnetic Resonance: Non-Invasive and Needle-Free Alternative for Assessment of Myocardial Oxygenation – Initial Clinical Experience.

EuroEcho-Imaging 2024, Berlin, Germany, 11-13.12.2024.

Unger A, Mandoli GE, Neglia D, Romero Dorta E, Kagiya N, **Borodzicz-Jazdzyk S**, Velegraki E, Coisne A, Uygur B, Afana A, Florence J, Delgado V, Petersen S, Pezel T. Rational and design of EACVI-MMVD study: an international registry on multimodality imaging for mixed and multiple valvular heart disease.

European Society of Cardiology Congress 2024, London, UK, 30.08-02.09.2024.

Vink CEM, **Borodzicz-Jazdzyk S**, De Jong EAM, Woudstra J, van de Hoef TP, Chamuleau SAJ, Eringa EC, Gotte MJW, Appelman Y. Quantitative perfusion by cardiac magnetic resonance analysis reveals compromised myocardial perfusion in patients with angina with non-obstructive coronary artery disease.

van Driel B, Schoonvelde S, **Borodzicz-Jazdzyk S**, Huurman R, Visch J, Robbers L, van den Aardweg J, Germans T, Michels M, van der Velden J. Effect of trimetazidine dihydrochloride therapy on myocardial external efficiency in preclinical individuals with an HCM sarcomeric gene mutation.

European Heart Rhythm Association Congress 2024, Berlin, Germany, 7-9.04.2024.

Hopman LHG, Solis-Lemus SA, Hofman MBM, Bhagirath P, **Borodzicz-Jazdzyk S**, van Pouderoijen N, Krafft AJ, Schmidt M, Allaart CP, Niederer SA, MJW Gotte. Impact of iNAV and dNAV 3D LGE-CMR on the assessment of atrial fibrosis in atrial fibrillation patients.

26th Annual Scientific Sessions of the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, San Diego, USA, 25-28.01.2023

Borodzicz-Jazdzyk S, Vink CEM, Hoek R, Hofman MBM, Somsen YBO, de Winter RW, Knaapen P, Benovoy M, Gotte MJW. Differences in qualitative and fully-automated quantitative assessment of adenosine stress perfusion CMR in a real-world population of patients - potential clinical consequences.

Hoek R, **Borodzicz-Jazdzyk S**, van Diemen PA, Somsen YBO, de Winter RW, Jukema RA, Rajmakers PG, Knuuti J, Maaniitty T, Underwood RS, Nagel E, Robbers LF, Demirkiran A, von Bartheld MB, Driessen RS, Danad I, Gotte MJW, Knaapen P. Diagnostic Performance of Quantitative Cardiac Magnetic Resonance Imaging in Patients with Prior Coronary Artery Disease.

Vink CEM, **Borodzicz-Jażdżyk S**, Hoek R, Benovoy M, Appelman Y, Götte MJW. Technical optimization of dual-bolus scanning protocol for quantitative perfusion cardiovascular magnetic resonance - initial results.

Experimental Biology 2019, Orlando, Florida, USA, 6-9.04.2019.

Borodzicz S, Czarzasta K, Wojciechowska M, Puchalska L, Głowczyńska R, Kołodzińska A, Opolski G, Cudnoch-Jędrzejewska A. Inflammatory cell death-related proteins as potential biomarkers in Takotsubo syndrome.

22nd Annual Congress of the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI), Mediolan, Italy, 05-08.12.2018.

Borodzicz S, Głowczyńska R, Czarzasta K, Wojciechowska M, Kołodzińska A, Opolski G, Cudnoch-Jędrzejewska A. Echocardiographic assessment of Takotsubo syndrome female rat model induced by isoprenaline.

Wybrane wykłady na zaproszenie:

EACVI HIT Summer School on Lifetime Management of Patients with Heart Valves Diseases and Cardiac Devices. Dubrovnik, Croatia, 29-30.06.2024. Interactive & hands-on session - Analyzing MR protocols: Screening for intervention; Interactive & hands-on session - Analyzing MR protocols: Follow-up & complications.

Ogólnopolska Konferencja Sekcji Kardiologicznego Rezonansu Magnetycznego I Tomografii Komputerowej Oraz Sekcji Kardiologii Nuklearnej PTK, Warszawa, 4-5.04.2025. Przypadek kliniczny - diagnostyka multimodalna.

Warszawskie Dni Kardiologii Akademickiej 2025, Warszawa, 14-15.03.2025. Miejsce MR w codziennej praktyce kardiologicznej.

Warszawskie Dni Kardiologii Akademickiej 2024, Warszawa, 7-8.03.2024. Wykorzystanie rezonansu magnetycznego u pacjentów z przewlekłym zespołem wieńcowym.

XXVI Międzynarodowy Kongres Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego, Katowice, 22-24.09.2024. Patofizjologia zespołu Takotsubo - badania eksperymentalne w modelach zwierzęcych.

6.3. ROZDZIAŁY W MONOGRAFIACH

Współtworzyłam następujące rozdziały w monografiach:

Cudnoch-Jędrzejewska A, Kowara M, **Borodnicz-Jażdżyk S**, Puchalska L, Wojciechowska M, Momot K. Fizjologia serca. W: Fizjologia i patofizjologia: podręcznik dla studentów. T. 1. Edra Urban & Partner; 2024. s. 87-145.

Wojciechowska M, **Borodnicz-Jażdżyk S**, Kleszczewska M. Niewydolność serca. W: Fizjologia i patofizjologia: podręcznik dla studentów. T. 1. Edra Urban & Partner; 2024. s. 183–192.

Borodnicz-Jażdżyk S, Szykuła D. Farmakoterapia praktyczna. W: Intensywna terapia kardiologiczna (Wydanie II). Wydawnictwo Lekarskie PZWL; 2023. s. 334-354.

Borodnicz-Jażdżyk S, Szykuła D. Farmakoterapia praktyczna. W: Intensywna terapia kardiologiczna. Wydawnictwo Lekarskie PZWL; 2021. s. 324-343.

Borodnicz-Jażdżyk S. Zespół metaboliczny - definicja, stratyfikacja ryzyka, postępowanie terapeutyczne. W: Egzamin z kardiologii: Repetytorium nie tylko dla zdających. T. 2. Wydawnictwo Lekarskie PZWL; 2023. s. 309-314.

Borodnicz-Jażdżyk S, Kowara M, Cudnoch-Jędrzejewska A. Fizjologia i patofizjologia gospodarki lipidowej. W: Lipidologia. Wydawnictwo Lekarskie PZWL; 2021. s. 15-21.

Kołodzińska A, **Borodnicz S**. Patofizjologia. W: Zespół takotsubo. ITEM Publishing; 2019. s. 25–43.

Borodnicz S, Śmietanowska M, Cudnoch-Jędrzejewska A. Regulacja czynności serca w spoczynku i podczas wysiłku fizycznego. W: Częstość rytmu serca. Medical Education; 2018. s. 11–18.

7. INNE

7.1. NAGRODY, STYPENDIA, WYRÓŻNIENIA

2017	Złota odznaka Studenckiego Towarzystwa Naukowego Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego za całokształt wybitnych osiągnięć naukowych odniesionych w okresie studiów
2015; 2016	Stypendium Ministra Zdrowia dla studentów za wybitne osiągnięcia
2012; 2014; 2016	Stypendium Rektora Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego dla najlepszych studentów
2017; 2018; 2019	Stypendium Rektora Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego dla najlepszych doktorantów

7.2. WYBRANE GRANTY I PROJEKTY NAUKOWE

2024-obecnie	Advanced Cardiac Magnetic Resonance Imaging for Assessment of Obstructive Coronary Artery Disease: ADVOCATE-CMR (ADVOCATE-CMR; NCT06419894; NL84828.015.23); projekt realizowany w Cardiology Department, Amsterdam University Medical Centers, Vrije Universiteit Medical Center, Amsterdam, Holandia; <i>inicjator i koordynator projektu</i>
2023	Fully automated quantitative myocardial perfusion cardiac magnetic resonance imaging for assessment of obstructive coronary artery disease: validation of a new framework against fractional flow reserve; projekt realizowany w ramach European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) Research Grant 2023 w Cardiology Department, Amsterdam University Medical Centers, Vrije Universiteit Medical Center, Amsterdam, Holandia; <i>kierownik projektu</i>
2016	Rodzaje śmierci kardiomiocytów w kardiomiopatii Takotsubo; projekt realizowany w ramach Diamentowego Grantu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (nr DI2015 003045); <i>kierownik projektu</i>

7.3. *STAŻE ZAGRANICZNE, WYBRANE SZKOLENIA*

- 2024 **Certyfikacja BROK®** (*nl. Basiscourse Regelgeving en Organisatie voor Klinisch Onderzoekers; BROK®; ang. Basic course on Regulations and Organisation for clinical investigators*)
- 2018 **Staż kliniczno-naukowy w zakresie kardiologii eksperymentalnej**
(2 miesiące) **i obrazowania sercowo-naczyniowego**
Cardiology Department, Santa Maria University Hospital, University of Lisbon, Portugalia; Physiology Institute, Faculty of Medicine, University of Lisbon, Portugalia
- 2021 **Staż kliniczno-naukowy w zakresie kardiologii, ze szczególnym**
(2 miesiące), **uwzględnieniem obrazowania CMR i CT**
2022-2024 Cardiology Department Amsterdam University Medical Centers, Vrije
(21 miesięcy) Universiteit Medical Center, Amsterdam, Holandia
- 2015 **Szkolenie dla osób odpowiedzialnych za planowanie procedur i**
doświadczeń oraz za ich przeprowadzanie; dla osób wykonujących
procedury; dla osób uśmiercających zwierzęta wykorzystywane w
procedurach.

I Wydział Lekarski, Warszawski Uniwersytet Medyczny

7.4. *CZŁONKOSTWO W KRAJOWYCH I MIĘDZYNARODOWYCH ORGANIZACJACH NAUKOWYCH*

- **European Society of Cardiology (ESC)**
 - **European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI)**
2024-2026 Heart Imagers of Tomorrow (HIT) Committee Member
2024-2026 Scientific Initiatives Committee Member
2024-2026 Shared Interest Groups (SIGs) Committee Member
2022-2024 Research & Innovation Committee Member
- **Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR)**
- **Polskie Towarzystwo Kardiologiczne (PTK)**

7.5. *FUNKCJA RECENZENTA W CZASOPISMACH NAUKOWYCH*

- European Heart Journal Cardiovascular Imaging (IF 6.700, MEiN 140 pkt, kwartył Q1)
- Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance (IF 4.200; MEiN 140 pkt, kwartył Q1)
- European Radiology (IF 4.700, MEiN 140 pkt, kwartył Q1)
- Polish Archives of Internal Medicine (IF 3.800; MEiN 200 pkt, kwartył Q1)
- Nutrients (IF 4.800; MEiN 140 pkt; kwartył Q1)
- Heart & Lung (IF 2.400; MEiN 70 pkt, kwartył Q2)