

Lublin 29.04.2026 r.

dr hab. Anna Sroka-Bartnicka, prof. UM
Samodzielna Pracownia Translacyjnych Badań Biomedycznych
Wydział Lekarski
Uniwersytetu Medycznego w Lublinie
anna.sroka-bartnicka@umlub.edu.pl

RECENZJA pracy doktorskiej

Pana mgr inż. Kamila Kawonia

Pod tytułem „Spektroskopia molekularna i atomowa w badaniach wpływu diety ketogenicznej na rozwój blizny glejowej w modelu *in vivo* uszkodzenia mózgu”

Przygotowanej pod kierunkiem:

Promotora: dr hab. Joanny Chwiej, prof. AGH

Promotora pomocniczego: dr inż. Agnieszki Dróždź

Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Akademii Górniczo-Hutniczej im Stanisława Staszica w Krakowie, z dnia 25 lutego 2026 r. (RD-NF.510.8.2026), oraz uchwałę Nr 5/02/RD/2026 Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne z dnia 19 lutego 2026 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej mgra Kamila Kawonia zatytułowanej „Spektroskopia molekularna i atomowa w badaniach wpływu diety ketogenicznej na rozwój blizny glejowej w modelu *in vivo* uszkodzenia mózgu”.

Recenzowana rozprawa doktorska mgra Kamila Kawonia została zrealizowana w Akademii Górniczo-Hutniczej im Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej w Katedrze Fizyki Medycznej i Biofizyki pod kierunkiem promotorki, Pani dr hab. Joanny Chwiej, prof. AGH, oraz promotorki pomocniczej, Pani dr inż. Agnieszki Dróždź. Podstawa Prawna art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późn. zm.).

Problematyka podejmowana przez doktoranta doskonale koresponduje z kierunkiem badań prowadzonych w AGH w Katedrze Fizyki Medycznej i Biofizyki, Profesor Joanna Chwiej od wielu lat z powodzeniem prowadzi badania nad biomedycznym zastosowaniem metod

fizycznych i zaawansowanych metod spektroskopowych w badaniach procesów fizjologicznych i patologicznych zachodzących w komórkach i tkankach oraz do identyfikacji markerów biochemicznych chorób.

Temat rozprawy doktorskiej stanowi zatem naturalne rozwinięcie tej linii badawczej, łącząc zaawansowane techniki spektroskopowe z analizą biomarkerów lipidowych, białkowych w ocenie zmian spowodowanych w rozwoju blizny glejkowej co stanowi oryginalne zagadnienie badawcze. Tematyka pracy Pana Kawonia koncentruje się na zagadnieniach o znacznym potencjale aplikacyjnym, łącząc technologie metod mikrospektroskopii w podczerwieni, spektroskopii Ramana, fluorescencji rentgenowskiej z całkowitego odbicia TXRF oraz fluorescencji rentgenowskiej ze wzbudzeniem synchrotronowym SR-XRF. Takie podejście sprawia, że praca ta ma wartość zarówno naukową, jak i praktyczną i znacząco przyczynia się do rozwoju dyscypliny fizyki.

2. Charakterystyka i opis rozprawy

Forma rozprawy doktoranta, opiera się na omówieniu prac opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych. Oceniam, że przedstawiony przez doktoranta cykl publikacyjny, obejmujący pierwotnie trzy opublikowane prace oraz jeden artykuł pozostający na etapie recenzji, spełnia wymagania stawiane rozprawie doktorskiej. W chwili sporządzania niniejszej recenzji czwarta praca została już przyjęta do druku, co oznacza, że ostatecznie cykl tworzą cztery oryginalne prace badawcze.

[A1] Kamil Kawoń, Zuzanna Setkowicz, Agnieszka Dróżdż, Krzysztof Janeczko, Joanna Chwiej, The methods of vibrational microspectroscopy reveals long-term biochemical anomalies within the region of mechanical injury within the rat brain, *Spectrochimica Acta A Mol Biomol Spectrosc* 2021; 263, 120214. <https://doi.org/10.1016/J.SAA.2021.120214>.

[A2] Kamil Kawoń, Marzena Rugiel, Zuzanna Setkowicz, Katarzyna Matusiak, Aldona Kubala-Kukuś, Ilona Stabrawa, Karol Szary, Zuzanna Rauk, Joanna Chwiej, Ketogenic diet influence on the elemental homeostasis of internal organs is gender dependent, *Scientific Reports* 2023 13:1 13 (2023) 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45611-4>.

[A3] Kamil Kawoń, Zuzanna Setkowicz, Zuzanna Rauk, Joanna Chwiej, Vibrational spectroscopy methods reveal biochemical changes associated with the glial scar formation after traumatic brain injury, *Spectrochimica Acta A Mol Biomol Spectrosc* 2025; 345, 126782. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2025.126782>.

[A4] Kamil Kawoń, Zuzanna Setkowicz, Zuzanna Rauk, Mateusz Czyżycki, Aleksandra Wilk, Anna Sławek, Jakub Cieślak, Giuliana Aquilanti, Ilaria Carlomagno, Agnieszka Dróżdż, Joanna Chwiej, Modulatory role of the ketogenic diet in glial scar formation after traumatic brain injury

Do pełnych tekstów publikacji dołączono streszczenie pracy w języku polskim i angielskim oraz wstęp teoretyczny, liczący 28 stron, który wprowadza czytelnika w tematykę rozprawy, a także przedstawia informacje dotyczące cele i zakres pracy, materiały i metody, streszczenia artykułów, dyskusja oraz podsumowanie..

Odpowiednio dobrane piśmiennictwo, liczące 109 pozycji, w przeważającej części pochodzi z ostatnich lat jest wykorzystane i zacytowane właściwie. Jest to głównie literatura fachowa, anglojęzyczna, publikowana w znanych, liczących się czasopismach. Jej wykorzystanie w pracy, zarówno we wstępie, jak i w dyskusji, świadczy o umiejętności korzystania z zasobów piśmiennictwa naukowego oraz o dobrym tematycznym rozeznaniu.

Nadrzędnym celem rozprawy było zbadanie wpływu w diety ketogenicznej na proces formowania się blizny glejowej w mózgu poprzez analizę zmian w składzie molekularnym.

Publikacja A1

W publikacji zastosowano mikrospektroskopię wibracyjną do oceny długotrwałych zmian biochemicznych w obrębie mechanicznego uszkodzenia mózgu szczura. Doktorant wykazał obecność utrzymujących się, długoterminowych anomalii biochemicznych w miejscu urazu oraz potwierdzili przydatność metod spektroskopowych do ich wykrywania. Najważniejszy wniosek poznawczy tej pracy można ująć tak, że pourazowe uszkodzenie mózgu nie ogranicza się do zmian ostrych, lecz pozostawia długotrwały ślad biochemiczny w tkance, możliwy do uchwycenia metodami FTIR/Raman. Ma to znaczenie, ponieważ pokazuje, że mikrospektroskopia może służyć do badania przewlekłych następstw urazu na poziomie molekularnym, a nie tylko zmian morfologicznych czy histopatologicznych. Najważniejsze znaczenie metodologiczne pracy polegało na wykazaniu, że metody mikrospektroskopii wibracyjnej są czułym narzędziem do lokalizacji i charakterystyki zmian biochemicznych w uszkodzonym mózgu, co stworzyło podstawę dla dalszych badań tego zespołu nad blizną glejową, urazowym uszkodzeniem mózgu i wpływem diety ketogenicznej. Późniejsze publikacje rozwijały właśnie ten kierunek, analizując zmiany biochemiczne związane z formowaniem blizny glejowej po TBI.

Publikacja A2

W pracy Doktorant oceniał wpływ diety ketogenicznej na homeostazę pierwiastkową wątroby, nerek i śledziony, oznaczając metodą TXRF stężenia fosforu (P), siarki (S), potasu (K), wapnia (Ca), żelaza (Fe), miedzi (Cu), cynku (Zn) oraz selenu (Se). Uzyskane wyniki wykazały, że

najistotniejsze zmiany dotyczyły przede wszystkim wątroby i nerek, a ich charakter był wyraźnie zależny od płci. Najsilniejszy wpływ diety ketogenicznej stwierdzono w wątrobie. U samców obserwowano obniżenie stężenia wszystkich analizowanych pierwiastków z wyjątkiem żelaza, co wskazuje na szerokie zaburzenie homeostazy pierwiastkowej obejmujące P, S, K, Ca, Cu, Zn i Se. U samic zmiany miały charakter bardziej wybiórczy i dotyczyły głównie obniżenia stężenia Cu, Zn i Se, co sugeruje, że odpowiedź wątroby na dietę ketogeniczną była u nich bardziej ograniczona do mikroelementów. Odmienny wzorzec zmian stwierdzono w nerkach. U samców dieta ketogeniczna wiązała się ze wzrostem stężenia Fe, Zn i Ca, natomiast u samic ze wzrostem P i Ca. Szczególnie istotna była obserwacja zwiększonej akumulacji wapnia w nerkach u obu płci, przy czym efekt ten był wyraźnie silniejszy u samic. W śledzienie zmiany były mniej nasilone: u samców odnotowano wzrost Fe, a u samic wzrost S, co wskazuje, że narząd ten był mniej podatny na działanie diety ketogenicznej niż wątroba i nerki, choć również ujawniał płciowo odmienny wzorzec odpowiedzi. Całość wyników prowadzi do wniosku, że dieta ketogeniczna nie tylko modyfikuje profil pierwiastkowy narządów wewnętrznych, ale czyni to w sposób narządowo- i płciowo-zależny. Największe zaburzenia dotyczą wątroby, natomiast w nerkach szczególne znaczenie może mieć wzrost stężenia wapnia, potencjalnie istotny z punktu widzenia bezpieczeństwa metabolicznego tej interwencji.

Publikacja A3

Doktorant wykazał, że proces formowania blizny glejowej po urazowym uszkodzeniu mózgu wiąże się z wyraźnymi zmianami biochemicznymi w obrębie uszkodzonej tkanki, możliwymi do identyfikacji za pomocą metod spektroskopii wibracyjnej. Analiza FTIR wskazywała przede wszystkim na zmiany w obrębie pasm amidowych białek, w tym amidu I ($\sim 1650\text{ cm}^{-1}$) i amidu II ($\sim 1540\text{ cm}^{-1}$), co odzwierciedlało przebudowę struktur białkowych towarzyszącą gliozie. Istotne różnice dotyczyły również pasm związanych z lipidami błonowymi, zwłaszcza w zakresie $\sim 2920\text{ cm}^{-1}$ i $\sim 2850\text{ cm}^{-1}$, odpowiadających drganiom CH_2 , oraz pasma $\sim 1740\text{ cm}^{-1}$, związanego z grupami estrowymi lipidów. Zmiany obserwowano także w rejonie $\sim 1230\text{--}1240\text{ cm}^{-1}$ i $\sim 1080\text{ cm}^{-1}$, przypisywanym fosforanom i kwasom nukleinowym, co mogło odzwierciedlać przebudowę tkanki i aktywność komórkową w miejscu urazu. Zastosowanie technik FTIR i Ramana pozwoliło zatem na uchwycenie molekularnych następstw TBI oraz wykazanie, że rozwój blizny glejowej posiada własną, rozpoznawalną sygnaturę biochemiczną. Istotnym osiągnięciem tej pracy było potwierdzenie wysokiej przydatności mikrospektroskopii wibracyjnej do badania procesów naprawczych i wtórnych zmian zachodzących w ośrodkowym układzie nerwowym po urazie. Wyniki te mają znaczenie zarówno poznawcze, ponieważ poszerzają wiedzę o biochemicznych mechanizmach towarzyszących gliozie

pourazowej, jak i metodologiczne, wskazując na wartość FTIR i spektroskopii Ramana jako narzędzi do identyfikacji markerów molekularnych związanych z przebudową tkanki nerwowej po urazie.

Publikacja A4

Doktorant wykazał, że dieta ketogeniczna może modulować proces formowania blizny glejowej po urazowym uszkodzeniu mózgu, oraz że połączone zastosowanie FTIR, spektroskopii Ramana i mikroskopii fluorescencji rentgenowskiej stanowi skuteczne narzędzie do kompleksowej oceny zmian biochemicznych i pierwiastkowych zachodzących w tkance nerwowej. Badanie ma istotną wartość poznawczą i metodologiczną, ponieważ rozwija nowoczesne podejście multimodalne do analizy procesów naprawczych w mózgu. Istotnym wynikiem było wykazanie, że FTIR, Raman i mikroskopia fluorescencji rentgenowskiej dostarczają komplementarnych informacji o przebudowie tkanki po TBI. FTIR i Raman pozwoliły na topograficzną i półilościową ocenę zmian biomolekularnych w miejscu uszkodzenia i w korze sąsiadującej, natomiast synchrotronowa XRF umożliwiła mapowanie pierwiastków takich jak P, S, K, Ca, Fe, Cu i Zn w obrębie rozwijającej się blizny glejowej. To pokazuje, że proces bliznowacenia ma zarówno wymiar biochemiczny, jak zmiany pierwiastkowe.

Przedstawione wnioski są spójne i potwierdzają założone tezy badawcze. Po przeczytaniu całości nasuwa mi się jednak kilka komentarzy o których chciałabym porozmawiać podczas obrony:

1. W publikacji [A1] wykazano obecność długotrwałych anomalii biochemicznych w miejscu mechanicznego uszkodzenia mózgu, natomiast w pracach [A3] i [A4] szczególną uwagę poświęcono zmianom związanym z formowaniem blizny glejowej. Proszę wyjaśnić, które zmiany spektroskopowe uważa Pan za najbardziej charakterystyczne dla samego urazu, a które za bardziej swoiste dla procesu formowania blizny glejowej, oraz w jaki sposób można te dwa zjawiska od siebie odróżnić na podstawie danych FTIR i Raman.
2. W pracy [A2] wykazano, że wpływ diety ketogenicznej na homeostazę pierwiastkową narządów wewnętrznych ma charakter zależny od płci. Proszę odnieść ten wynik do badań przedstawionych w publikacji [A4] i odpowiedzieć, czy oraz w jaki sposób płeć może wpływać na odpowiedź tkanki nerwowej na dietę ketogeniczną po urazowym

uszkodzeniu mózgu, zwłaszcza w kontekście procesów związanych z rozwojem blizny glejowej.

3. W publikacji [A4] zastosowano podejście multimodalne, łączące FTIR, spektroskopię Ramana oraz mikroskopię fluorescencji rentgenowskiej (XRF). Proszę wskazać, jakie unikalne informacje wnosi każda z tych technik do interpretacji procesu bliznowacenia glejowego oraz która z nich, Pana zdaniem, okazała się najbardziej wartościowa z punktu widzenia identyfikacji markerów zmian pourazowych.
4. Cały cykl publikacji sugeruje, że dieta ketogeniczna moduluje zarówno profil biochemiczny, jak i pierwiastkowy badanych tkanek. Proszę wyjaśnić, czy na podstawie uzyskanych wyników można mówić o jednoznacznie ochronnym działaniu diety ketogenicznej po urazowym uszkodzeniu mózgu, czy raczej o działaniu złożonym i zależnym od kontekstu biologicznego. Które wyniki najbardziej wspierają Pana interpretację?
5. Niestety, przy redagowaniu pracy Autor popełnił kilka błędów edytorskich, np. str 15 „Crytran” powinno być „Ctrystran co oczywiście nie wpływa na wartość merytoryczną rozprawy.

Ocena dorobku naukowego

Podsumowując, stwierdzam, że treść recenzowanej pracy odpowiada tytułowi, a sposób jej zredagowania oceniam jako bardzo dobry. Badania przeprowadzone przez Doktoranta stanowią nowoczesny i oryginalny wkład w poszukiwanie spektralnych biomarkerów, podczas zmian biochemicznych w trakcie procesu gojenia się ran glejaka. Doktorant wykazał się odpowiednią wiedzą teoretyczną oraz posiadaniem umiejętności do samodzielnego prowadzenia eksperymentów naukowych i prawidłowego interpretowania wyników. W mojej opinii, przedstawioną pracę doktorską należy ocenić bardzo wysoko. Wobec szerokiego zakresu prezentowanych badań i bardzo wartościowych wyników, które zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych. Doktorant może pochwalić się siedmioma wystąpieniami na międzynarodowych konferencjach.

Ponadto Doktorant odbył trzy staże/wyjazdy naukowe za granicą. W dniach 27.02.2023–31.03.2023 przebywał na 5-tygodniowym stażu w Grenoble (Francja) w ramach HERCULES SCHOOL: Neutrons & Synchrotron Radiation for Science, finansowanym ze środków STER

NAWA. Następnie odbył dwa tygodniowe wyjazdy naukowe do Elettra Sincrotrone Trieste (Włochy): 27.11.2023–03.12.2023 w związku z grantem nr 20230125 oraz 26.11.2024–03.12.2024 w związku z grantem nr 20240069.

Doktorant otrzymał minigrant IDUB AGH w ramach działania D4 – Minigranty uczelniane dla doktorantów (edycja III) na realizację badań pt. „Metody wielowymiarowej analizy wariancji dla potrzeb eksploracji danych spektralnych z mikrospektroskopii FTIR i Ramana pod kątem obiektywnej diagnostyki glejaka wielopostaciowego”. Ponadto realizował badania jako wykonawca projektu NCN SONATA-BIS pt. „Techniki spektroskopowe i mikroskopowe w nano-sondowaniu, modelowaniu i rozpoznaniu interakcji pomiędzy erytrocytami i komórkami śródbłonna naczyniowego na poziomie molekularnym” (UMO-2020/38/E/ST4/00197), w ramach którego pobierał stypendium naukowe w okresie od lipca 2022 r. do września 2025 r. Na koniec chciałam podkreślić całokształt pracy Doktoranta.

Dorobek naukowy związany bezpośrednio z tematyką pracy doktorskiej to 4 prace o łącznym IF ok 17,7. Lista pozostałych publikacji (spoza rozprawy) wygląda równie imponująco jest to 8 publikacji o łącznym IF ~34,4. Sumarycznie całościowy dorobek Doktoranta to 12 publikacji o sumarycznym IF ok 52,1.

Pan mgr Kamil Kawoń jest pierwszym autorem wszystkich wskazanych publikacji w cyklu rozprawy oraz w sposób czytelny określił swój indywidualny wkład w przygotowanie każdej z nich. Rozprawa zawiera szczegółowe informacje jaki był wkład poszczególnych współautorów w powstanie prac (oświadczenia współautorów publikacji oraz manuskryptów), co pozwala na ocenę zakresu zaangażowania doktoranta. Z przedstawionych informacji wynika, że brał on udział w formułowaniu koncepcji badań, opracowaniu metodologii, wykonywaniu pomiarów, analizie danych oraz przygotowaniu pierwotnych wersji manuskryptów. Charakter i zakres tych działań, w połączeniu z rolą pierwszego autora, wskazują, że udział doktoranta w powstaniu przedłożonych publikacji był istotny, a w wielu przypadkach można go uznać za wiodący.

Podsumowując jest to bardzo imponujący dorobek.

3. Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa **spełnia wymagania** określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn.zm.) i wnioskuję o jej **dopuszczenie do dalszych etapów postępowania** o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

Biorąc pod uwagę wkład wniesiony przez doktoranta w badania opisane w rozprawie do rozwoju fizyki, a w szczególności ocenie zmian biochemicznych w procesie formowania się

blizny glejaka, identyfikacji markerów zmian pourazowych zaliczam rozprawę do kategorii wybitnie dobrej i zasługującej na wyróżnienie. **Tym samym wnioskuję o uznanie rozprawy doktorskiej pana Kamila Kawonia za wyróżniającą się.**

dr hab. Anna Sroka-Bartnicka, prof. UM