

dr hab. n. med. i n. o zdr. Zofia Dzięcioł-Anikiej
Zakład Fizjoterapii Spersonalizowanej Narządu Ruchu
Uniwersytet Medyczny w Białymstoku

Białystok, 27.08.2026 r.

*Per
pogoda*

Z-ca Przewodniczącej
Rady Dyscypliny Nauki Medyczne

prof. dr hab. Tomasz Grzybowski

Ocena rozprawy doktorskiej mgr. Macieja Biernackiego

pt. „**Badanie morfometryczne mięśni stożka rotatorów u płodów człowieka
z wykorzystaniem zaawansowanych metod statystycznych**”

Promotor: dr hab. n. med. Mariusz Baumgart, prof. UMK

Uchwałą Rady Dyscypliny Nauki Medyczne Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera w Bydgoszczy z dnia 22.04.2026r. została mi powierzona ocena rozprawy doktorskiej mgr. Macieja Biernackiego, przeprowadzonej pod kierunkiem dr hab. n. med. Mariusza Baumgarta, prof. UMK.

Przedstawiona rozprawa doktorska stanowi wartościowe opracowanie z zakresu anatomii rozwojowej i morfometrii mięśni stożka rotatorów w okresie prenatalnym. Autor podjął temat nowatorski i trudno dostępny w piśmiennictwie, wykorzystując materiał płodowy oraz cyfrową analizę obrazu do opracowania modeli wzrostu badanych mięśni. Na podkreślenie zasługuje spójność tematyczna cyklu publikacji oraz konsekwentna realizacja założonych celów badawczych.

Główne cele pracy zostały jasno zdefiniowane i obejmowały:

- Zbadanie ewentualnych różnic płciowych i lateralnych w zakresie badanych parametrów mięśni stożka rotatorów u płodów człowieka.
- Przeprowadzenie analizy morfometrycznej mięśni stożka rotatorów u płodów ludzkich (parametrów liniowych i płaszczyznowych) w celu uzyskania zakresu ich wartości normatywnych.
- Poznanie dynamiki wzrostu wszystkich badanych parametrów mięśni stożka rotatorów u płodów człowieka oraz opracowanie modeli matematycznych o najlepszym dopasowaniu.

Materiał i metodyka

Materiał badawczy obejmował 36 płodów ludzkich: 17 płci męskiej i 19 płci żeńskiej w wieku od 18 do 30 tygodni, które pochodziły z poronień samoistnych oraz porodów przedwczesnych pozbawionych ciężkich wad genetycznych. Wiek płodów w badaniu określono na podstawie długości ciemieniowo-siedzeniowej. Materiał został pozyskany przed rokiem 2000 i przechowywany był w zbiorach Katedry Anatomii Prawidłowej Collegium Medicum w Bydgoszczy UMK w Toruniu.

Komisja Bioetyczna Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera wyraziła pozytywną opinię oraz wydała zgodę na przeprowadzenie badań będących tematem rozprawy (nr KB 505/2024).

Protokół badawczy obejmował cztery etapy:

- Pierwsza część badań obejmowała precyzyjną obustronną preparację anatomiczną mięśni: nadgrzebieniowego, podgrzebieniowego, podłopatkowego oraz obłego mniejszego, które następnie fotografowano aparatem Canon EOS 70D(W).

- Druga część przeprowadzona została z wykorzystaniem programu NIS Elements AR 3.0 do morfometrycznego badania w cyfrowej analizie obrazu w wysokiej rozdzielczości. Następnie dla każdego z mięśni dokonano pomiarów liniowych i płaszczyznowych.

- Trzecia część badania dotyczyła analizy statystycznej wyników badań pomiarowych.

Wyniki badań zostały poddane analizie statystycznej. Rozkład zmiennych sprawdzano za pomocą testu W Shapiro–Wilka, a jednorodność wariancji oceniano testem Fishera. W pracy wyniki przedstawiono jako średnie arytmetyczne z odchyleniem standardowym (SD). Do porównania średnich zastosowano test t–Studenta dla zmiennych niezależnych oraz jednoczynnikową analizę wariancji. W przypadku testów post–hoc wykorzystano test Tukey'a. Gdy wariancje były różne, zastosowano test nieparametryczny Kruskala–Wallisa.

Badania dynamiki rozwojowej analizowanych parametrów przeprowadzone zostały w oparciu o liniową i krzywoliniową analizę regresji. Ocenę dopasowania estymowanych krzywych do wyników pomiarowych przeprowadzono na podstawie współczynnika determinacji (R^2). Zależność między zmiennymi oceniano również przy użyciu współczynnika korelacji Pearsona (r).

- Czwarta część niniejszej pracy doktorskiej stanowi przegląd literatury na temat analizy morfometrycznej mięśni stożka rotatorów u płodów człowieka. Zgromadzone dane zostały przeanalizowane w odniesieniu do dostępnych w aktualnej literaturze doniesień naukowych dotyczących rozwoju mięśni stożka rotatorów, a także związanych z nimi zagadnień klinicznych w aspekcie postnatalnym.

Wyniki badań

Rozprawa prezentuje szczegółowe wyniki badań uzyskane w cyklu prac.

Artykuł nr 1 - Quantitative anatomy of the growing supraspinatus muscle in the human fetus.

Zaprezentowane w artykule wyniki badań oparte zostały na podstawie następujących pomiarów mięśni nadgrzebieniowych:

1. długości – na podstawie wyznaczenia odległości między przyczepem początkowym i końcowym w projekcji grzbietowej,
2. szerokości w okolicy kąta górnego łopatki – na podstawie wyznaczenia odległości między brzegiem granicznym górnym i dolnym w projekcji grzbietowej,
3. szerokości mięśnia w okolicy wcięcia górnego łopatki – na podstawie wyznaczenia odległości między brzegiem granicznym górnym i dolnym w projekcji grzbietowej,
4. obwodu mięśnia – na podstawie wykonania obrysu całego mięśnia w projekcji grzbietowej,
5. pola powierzchni rzutu – na podstawie wykonania obrysu mięśnia w projekcji grzbietowej.

Badanie polegało na ocenie dynamiki rozwojowej mięśnia nadgrzebieniowego z zastosowaniem precyzyjnej dysekcji anatomicznej, cyfrowej analizy obrazu (NIS Elements AR 3.0) oraz analizy statystycznej.

W badanym materiale płodowym mięsień nadgrzebieniowy rozwijał się typowo. Analiza statystyczna nie wykazała różnic płciowych i bilateralnych w zakresie wszystkich badanych parametrów. Wszystkie zaprezentowane modele wzrostu wykazywały się istotnością statystyczną ($p > 0.05$) i odpowiednio wysoką wartością współczynnika determinacji (R^2). Fakt ten upoważnił mnie do zbadania dynamiki rozwojowej badanych parametrów bez uwzględniania płci i wieku. Dynamika rozwojowa szerokości i obwodu mięśnia przebiegała zgodnie z funkcją liniową, odpowiednio $y = -2.988 + 0.386 \times \text{age} \pm 0.168$ ($R^2 = 0.98$) dla szerokości oraz $y = -19.7016 + 3.381 \times \text{age} \pm 2.036$ ($R^2 = 0.97$) dla obwodu mięśnia. W zakresie długości i pola powierzchni rzutu mięśnia nadgrzebieniowego odnotowano logarytmiczny

model wzrostu: $y = -71.382 + 30.972 \times \ln(\text{age}) \pm 0.565$ ($R^2 = 0.98$) dla długości oraz $y = -721.769 + 266.141 \times \ln(\text{age}) \pm 6.170$ ($R^2 = 0.98$) dla pola powierzchni.

Artykuł nr 2 - *Quantitative anatomy of the infrapinatus muscle in the human fetus.*

W obrębie mięśni podgrzebieniowych wykonano następujące pomiary:

1. wymiar poprzeczny – na podstawie wyznaczenia największej odległości między przyczepem początkowym i końcowym w projekcji grzbietowej
2. wymiar pionowy – na podstawie wyznaczenia odległości między brzegiem granicznym górnym i dolnym mięśnia w projekcji grzbietowej – od okolicy grzebienia łopatki, w kierunku kąta dolnego łopatki,
3. wymiar skośny – na podstawie wyznaczenia odległości od końcowej granicy mięśnia w okolicy trójkąta grzebienia łopatki prostopadle do brzegu bocznego mięśnia
4. obwód – na podstawie wykonania obrysu całego mięśnia w projekcji grzbietowej
5. pole powierzchni rzutu – na podstawie wykonania obrysu mięśnia w projekcji grzbietowej.

W obrębie badanego materiału płodowego mięsień podgrzebieniowy rozwijał się typowo. Wartości wszystkich badanych parametrów mięśnia podgrzebieniowego wzrastały wprost proporcjonalnie wraz z wiekiem płodu. Wszystkie zaprezentowane poniżej modele wzrostu wykazywały się istotnością statystyczną ($p > 0.05$) i wysoką wartością współczynnika determinacji (R^2). Opracowano następujące liniowe modele wzrostu mięśnia podgrzebieniowego: $y = -4.024 + 0.903 \times \text{age} \pm 0.621$ ($R^2 = 0.96$) dla wymiaru poprzecznego, $y = -3.089 + 1.321 \times \text{age} \pm 0.897$ ($R^2 = 0.97$) dla wymiaru pionowego, $y = -1.161 + 0.632 \times \text{age} \pm 0.444$ ($R^2 = 0.97$) dla wymiaru skośnego, $y = -293.512 + 23.228 \times \text{age} \pm 19.650$ ($R^2 = 0.95$) dla obwodu, $y = -13.575 + 3.851 \times \text{age} \pm 1.938$ ($R^2 = 0.97$) dla pola powierzchni rzutu.

Artykuł nr 3 - Digital image analysis of the rotator cuff muscle in the human fetus based on the subscapularis muscle.

Zaprezentowane w artykule wyniki oparte zostały na poniżej opisanych pomiarach mięśni podłopatkowych u płodów człowieka:

1. wymiaru poprzecznego – ustalony na podstawie odległości między górnym a dolnym brzegiem granicznym mięśnia w projekcji grzbietowej – od okolicy górnego kąta łopatki w kierunku kąta dolnego łopatki,
2. wymiaru pionowego przyśrodkowego – określony w połowie wymiaru poprzecznego między górnym a dolnym brzegiem mięśnia w projekcji grzbietowej,
3. wymiaru pionowego pośrodkowego mięśnia – określony względem górnego i dolnego brzegu mięśnia na wysokości wyrostka kruczego łopatki w projekcji grzbietowej,
4. wymiaru pionowego bocznego – określony na podstawie największej odległości między przyczepem początkowym a końcowym w projekcji grzbietowej,
5. obwodu – uzyskany poprzez wykonanie obrysu całego mięśnia w projekcji grzbietowej,
6. pola powierzchni rzutu – na podstawie obrysu mięśnia w projekcji grzbietowej.

W zakresie poddanego badaniu materiału płodowego, mięsień podłopatkowy wykazywał typowy rozwój. Analiza statystyczna nie wykazała różnic płciowych i bilateralnych w zakresie wszystkich badanych parametrów.

W odniesieniu do wszystkich badanych wymiarów mięśnia podłopatkowego zaobserwowano wprost proporcjonalny wzrost analizowanych parametrów. Wyznaczono następujące liniowe modele wzrostu dla mięśnia podłopatkowego: $y = -4.305 + 1.301 \times \text{age} \pm 0.122$ ($R^2 = 0.98$) dla wymiaru poprzecznego, $y = 5.502 + 1.182 \times \text{age} \pm 0.621$ ($R^2 = 0.96$) w zakresie wymiaru pionowego przyśrodkowego, $y = -1.382 + 0.903 \times \text{age} \pm 0.621$ ($R^2 = 0.95$) dla wymiaru pionowego pośrodkowego, $y = -2.898 + 0.493 \times \text{age} \pm 0.221$ ($R^2 = 0.97$) dla wymiaru pionowego bocznego. Konsekwentnie model wzrostu obwodu i pola powierzchni rzutu mięśnia podłopatkowego również wykazywał charakter liniowy: $y = -18.137 + 4.086 \times \text{age} \pm 0.932$ ($R^2 = 0.98$) dla obwodu oraz $y = -477.184 + 35.898 \times \text{age} \pm 0.223$ ($R^2 = 0.99$) dla pola powierzchni rzutu mięśnia.

Artykuł nr 4 - Quantitative anatomy of the rotator cuff muscle in the human fetus based on the teres minor muscle.

W omawianym artykule jako parametry badawcze posłużyły następujące pomiary:

1. długość – określona na podstawie największej odległości między przyczepem początkowym a końcowym w projekcji grzbietowej,
2. szerokość – ustalona na podstawie największej odległości między górnym a dolnym brzegiem mięśnia w projekcji grzbietowej – mierzonej prostopadłe do brzegów granicznych mięśnia w okolicy szyjki chirurgicznej kości ramiennej,
3. obwód mięśnia – uzyskany poprzez wykonanie obrysu całego mięśnia w projekcji grzbietowej,
4. pole powierzchni rzutu – na podstawie obrysu mięśnia w projekcji grzbietowej.

Praca wchodząca w skład cyklu prac dotyczących morfometrii stożka rotatorów u płodów człowieka dotyczyła oceny dynamiki rozwojowej mięśnia obłego mniejszego. Podobnie do wcześniej analizowanych mięśni na całym materiale płodowym mięsień obły mniejszy również rozwijał się typowo. Analiza statystyczna nie wykazała różnic płciowych i bilateralnych w zakresie wszystkich badanych parametrów. Wszystkie zaprezentowane modele wzrostu wykazywały się istotnością statystyczną ($p > 0.05$) i odpowiednio wysoką wartością współczynnika determinacji (R^2).

Większość badanych parametrów mięśnia obłego mniejszego - szerokość, obwód i pole powierzchni rzutu wykazywała wzrost wprost proporcjonalny do wieku, natomiast długość wzrastała logarytmicznie. Opracowano następujące modele wzrostu mięśnia obłego mniejszego: $y = 54.461 + 24.109 \times \ln(\text{age}) \pm 0.578$ ($R^2 = 0.97$) dla długości, $y = 2.430 + 0.299 \times \text{age} \pm 0.551$ ($R^2 = 0.97$) dla szerokości, $y = 7.484 + 2.268 \times \text{age} \pm 0.004$ ($R^2 = 0.97$) dla obwodu oraz $y = 72.939 + 5.698 \times \text{age} \pm 0.114$ ($R^2 = 0.97$) dla pola powierzchni rzutu mięśnia.

Na uwagę zasługuje innowacyjność badań, które przedstawiają dynamikę rozwojową mięśni należących do stożka rotatorów w obrębie płodów człowieka. Uzyskane wyniki mogą być ważnym uzupełnieniem dotychczasowej wiedzy w tematyce związanej z anatomią rozwojową mięśni. Ponadto zaprezentowane w badaniach dane morfometryczne i modele wzrostu mięśni stożka rotatorów mogą być istotnym punktem odniesienia w zakresie diagnostyki i występowania potencjalnych nieprawidłowości w obrębie mięśni stożka rotatorów w okresie prenatalnym.

Wnioski

Doktorant zrealizował postawione cele, a uzyskane wnioski są przedstawione w sposób zrozumiały oraz dobrze uargumentowany.

Podsumowanie

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgr **Macieja Biernackiego** pt. „*Badanie morfometryczne mięśni stożka rotatorów u płodów człowieka z wykorzystaniem zaawansowanych metod statystycznych*” stanowi wartościowe i oryginalne opracowanie naukowe badań z zakresu anatomii rozwojowej człowieka. Autor podjął temat nowatorski, czego efektem jest opracowanie pierwszych modeli wzrostu mięśni stożka rotatorów u płodów człowieka. Rozprawa została przygotowana w formie monotematycznego cyklu czterech publikacji o łącznej punktacji IF= 3,6 oraz MNiSW = 30, opublikowanych w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, co potwierdza wysoki poziom merytoryczny prowadzonych badań oraz ich pozytywną weryfikację przez środowisko naukowe.

Na szczególne uznanie zasługuje poprawnie zaplanowana metodyka badań, staranne wykonanie preparatów anatomicznych, zastosowanie cyfrowej analizy obrazu oraz właściwy dobór metod statystycznych.

Uzyskane wyniki zostały przedstawione w sposób przejrzysty i logiczny, a ich interpretacja świadczy o dobrej znajomości problematyki badawczej oraz umiejętności prowadzenia samodzielnych badań naukowych.

Pomimo wysokiej wartości naukowej pracy, należy zwrócić uwagę na kilka elementów wymagających dyskusji.

Pewne zastrzeżenia budzi stosunkowo niewielka liczebność materiału badawczego, ograniczony przedział wieku badanych płodów, niewystarczające omówienie ograniczeń badania oraz możliwość szerszego przedstawienia praktycznych implikacji klinicznych uzyskanych wyników.

Dyskusja została przygotowana poprawnie, jednak w większym stopniu mogłaby odnosić się do praktycznego znaczenia uzyskanych modeli wzrostu dla współczesnej diagnostyki prenatalnej oraz możliwości ich wykorzystania w planowaniu leczenia wad rozwojowych narządu ruchu.

W pracy dostrzegalne są również pojedyncze uchybienia redakcyjne, w tym nieścisłości dotyczące zapisu poziomu istotności statystycznej. Uwagi te mają jednak charakter

konstruktywny i dyskusyjny, nie wpływają na wiarygodność przedstawionych wyników ani nie podważają wartości naukowej rozprawy doktorskiej.

Wnioski końcowe

Przedstawiona rozprawa doktorska w formie cyklu publikacji świadczy o dojrzałości naukowej Doktoranta, jego umiejętności samodzielnego planowania i realizacji badań oraz właściwej interpretacji uzyskanych rezultatów. Praca stanowi cenny wkład w rozwój anatomii rozwojowej człowieka i mogą stanowić punkt wyjścia do dalszych badań naukowych.

Stwierdzam zatem, że przedstawiona rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim zgodnie z art. 187 u.p.s.w.n. (Dz.U.2023 poz. 742), a co za tym idzie zwracam się do Rady Dyscypliny Nauki Medyczne Collegium Medicum w Bydgoszcz o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr **Macieja Biernackiego** i dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora nauk medycznych i nauk o zdrowiu.



.....
dr hab. n. med. i n. o zdr.

Zofia Dzięcioł-Anikiej