

REDAKCJA  
AGNIESZKA DECYK  
MAJA KSIĘŻOPOLSKA  
RAFAŁ STACHYRA

# WYBRANE ZAGADNIENIA Z MEDYCYNY I DIETETYKI

WYBRANE ZAGADNIENIA  
Z MEDYCYNY I DIETETYKI

REDAKCJA

AGNIESZKA DECYK  
MAJA KSIĘŻOPOLSKA  
RAFAŁ STACHYRA



REDAKCJA  
AGNIESZKA DECYK  
MAJA KSIĘŻOPOLSKA  
RAFAŁ STACHYRA

WYBRANE  
ZAGADNIENIA  
Z  
MEDYCYNY  
I DIETETYKI

ARCHAEGRAPH  
*Wydawnictwo Naukowe*

REDAKCJA:

PRZEWODNICZĄCA KOMITETU REDAKCYJNEGO: AGNIESZKA DECYK

WICEPRZEWODNICZĄCA KOMITETU REDAKCYJNEGO: MAJA KSIĘŻOPOLSKA

SEKRETARZ: RAFAŁ STACHYRA

REDAKCJA TECHNICZNA:

MAŁGORZATA BUDNIK-MINIERSKA

DAWID KOBYLAŃSKI

ALEKSANDRA JANCZAK

JAN BURBO

RECENZJA

DR JOANNA SEPIOŁO

DR INŻ. RAFAŁ ŚPIEWAK

DR HAB. PIOTR SWACHA

DR JOLANTA BUGAJSKA

KOREKTA REDAKTORSKA I SKŁAD

KAROL ŁUKOMIAK

PROJEKT OKŁADKI

KAROL ŁUKOMIAK

© COPYRIGHT BY AUTHORS & ARCHAEGRAPH

ISBN: 978-83-67527-10-1

Wersja elektroniczna dostępna na stronie internetowej wydawcy:

[www.archaegraph.pl](http://www.archaegraph.pl)

ARCHAEGRAPH  
*Wydawnictwo Naukowe*

ŁÓDŹ, WRZESIEŃ 2022

# SPIS TREŚCI

<b>Wstęp</b> .....	7
Patrycja Gazda <b>Wpływ pandemii Covid-19 na zachowania żywieniowe i styl życia ludności w Polsce i na świecie</b> .....	9
Anna Głowacka <b>Praktyczne zastosowanie trójwymiarowych modeli serca wykonanych w technologii biodruku 3D</b> .....	23
Anna Głowacka <b>Robot medyczny Robin Heart – od prototypu do innowacji w kardiochirurgii</b> .....	37
Anna Głowacka <b>Uczenie maszynowe z zastosowaniem konwolucyjnych sieci neuronowych w neurohistopatologii z wykorzystaniem bazy Digital Brain</b> .....	51
Adrianna Wąsik <b>Wzory rekomendowane do wyliczania osmolalności u dzieci do 2 lat</b> .....	63
Agnieszka Decyk, Kinga Ziętara <b>Ortoreksja - współczesne zaburzenie odżywiania związane z nieprawidłowymi wzorcami żywienia</b> .....	91



# WSTĘP

*Wybrane zagadnienia z medycyny i dietetyki* jest wynikiem współpracy młodych badaczy reprezentujący jedno z największych uniwersytetów w Polsce, takich jak: Uniwersytet Rzeszowski, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie czy Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

W niniejszym monografii zawarte zostały prace młodych badaczy, pracowników naukowych, studentów wiodących uczelni krajowych realizujących badania i dydaktykę w dziedzinie nauk medycznych oraz nauk o zdrowiu, którzy prezentują wyjątkowe spojrzenie na otaczającą rzeczywistość.

Dziękuję wszystkim zaangażowanym w długofalowy proces tworzenia poniższej monografii, w szczególności recenzentom za cenne i życzliwe wskazówki merytoryczne, dzięki którym publikacja przybrała ostateczny kształt, Wydawnictwu Naukowemu ArchaeGraph, członkom Redakcji Technicznej. Mam głęboką nadzieję, że przyczyni się ona do dalszego rozwoju wiedzy z zakresu medycyny czy dietetyki oraz stanie się inspiracją do tworzenia nowych projektów naukowych.

*Agnieszka Decyk*  
Redaktor naczelna





# WPŁYW PANDEMII COVID-19 NA ZACHOWANIA ŻYWIENIOWE I STYL ŻYCIA LUDNOŚCI W POLSCE I NA ŚWIECIE

**Streszczenie:** Nieoczekiwana izolacja społeczna wywołana pandemią COVID-19 zmieniła nawyki żywieniowe wśród społeczeństwa polskiego oraz innych krajów. Pandemia COVID-19 zmusiła wiele krajów do wprowadzenia rygorystycznych reżimów sanitarnych, włączając w to środki dystansowania społecznego. Nie ulega wątpliwości, że odpowiedni styl życia, połączony z przestrzeganiem racjonalnej diety i aktywności fizycznej jest kluczowym elementem w prewencji chorób, w tym choroby zakaźnej COVID-19. Praca została przygotowana na podstawie gruntownej analizy piśmiennictwa i dotyczy wpływu pandemii COVID-19 na zachowania żywieniowe i styl życia wśród społeczeństwa polskiego na tle innych krajów.

**Słowa kluczowe:** pandemia Covid-19, nawyki żywieniowe, aktywność fizyczna, styl życia

## WPROWADZENIE

Pandemia COVID-19 doprowadziła do wielu zmian społecznych. W większości krajów wprowadzone nadzwyczajne restrykcje, włączając w to izolację społeczną, kwarantannę, ograniczenie przemieszczania się, spowodowały wzrost poczucia niepokoju, lęku, strachu. Wymóg izolacji, dystansowania społecznego przyczyniły się do zmiany stylu życia, w tym nawyków żywieniowych i aktywności fizycznej wśród wielu społeczeństw. Badania naukowe od lat potwierdzają, że dieta i styl życia znacząco wpływają na ogólny stan

---

<sup>1</sup> Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie

zdrowia fizycznego i psychicznego. Dobrze zbilansowana dieta ma ogromny wpływ na funkcjonowanie organizmu, w tym również układu odpornościowego. Błędy żywieniowe mogą pogorszyć odpowiedź immunologiczną, a tym samym zwiększyć podatność organizmu na infekcje, w tym również na zakażenie COVID-19, szczególnie wśród osób z grupy zwiększonego ryzyka, u których zdiagnozowano również inne przewlekłe choroby współistniejące np. cukrzycę, nadciśnienie tętnicze, które nasilają stan zapalny i wiążą się z cięższym przebiegiem tej choroby (Gao i in. 2020). Mając na uwadze rosnący problem szerzenia się pandemii COVID-19 w skali światowej, analiza wpływu COVID-19 na zachowania żywieniowe wśród ludzi jest niewątpliwie zasadna. Niniejsza praca miała na celu zwiększenie świadomości kształtowania zachowań prozdrowotnych wśród społeczeństw.

## NAWYKI ŻYWIENIOWE PODCZAS COVID-19 W POLSCE

Wybuch epidemii koronawirusa COVID-19 pod koniec grudnia 2019 roku w Wuhan w prowincji Hubei w Chinach, którego Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) ogłosiła pandemią COVID-19, przyczynił się do wprowadzenia rygorystycznych reżimów sanitarnych oraz izolacji społecznej z zachowaniem środków mających na celu utrzymanie dystansu społecznego. W większości krajów wdrożono nadzwyczajne działania mające na celu ograniczenie rozprzestrzeniania się tej choroby zakaźnej, włączając w to izolację społeczną, kwarantannę. Zmiany te wpłynęły na styl życia, w tym na odżywianie oraz aktywność fizyczną. W rezultacie tych ograniczeń nastąpił wzrost siedzącego trybu życia, poczucia niepewności, niepokoju, lęku, stresu, które mogą prowadzić do podjadania, ewentualnego przyrostu masy ciała u niektórych osób. Obawa przed niedoborem żywności przyczyniła się do masowych zakupów żywności o długotrwałym okresie przydatności do spożycia. Odpowiednio zbilansowana dieta, skoncentrowana na warzywach, owocach, białku zwierzęcym i roślinnym, produktach pełnoziarnistych oraz bogatych w nienasycone kwasy tłuszczowe odgrywa ważną rolę w prawidłowym funkcjonowaniu organizmu człowieka, w szczególności podczas pandemii COVID-19. Istotne jest, aby w czasie wysokiego ryzyka infekcji utrzymać właściwy stan odżywienia, który prowadzi do skuteczniejszej obrony immunologicznej. Dostarczenie organizmowi człowieka odpowiedniej ilości składników pokarmowych, witamin, minerałów, przeciwutleniaczy pozytywnie wpływa na utrzymanie przez niego dobrego stanu zdrowia oraz zmniejsza podatność na

infekcje. Dodatkowo zaobserwowano, że dystans społeczny i stres związany z pandemią COVID-19 doprowadziły do złych zachowań zdrowotnych, które dotyczą chorób niezakaźnych i mogą zakłócać odporność (Jontez i in. 2021).

Istnieją dowody na to, że kwarantanna, szczególnie obowiązkowa może powodować wyczerpanie, zaburzenia emocjonalne, złość, bezsenność, objawy depresyjne. Na całym świecie, również w Polsce izolacja społeczna wywołana pandemią COVID-19 zmieniła styl życia i nawyki żywieniowe, ponieważ duża część osób była zmuszona do pozostania w domu przez dłuższy czas, najczęściej z nieograniczonym dostępem do żywności. W badaniu przeprowadzonym wśród 1097 Polaków w wieku  $\geq 18$  lat określono wpływ ogólnokrajowej kwarantanny na nawyki żywieniowe i konsumpcyjne w Polsce. Zaobserwowano, że w czasie kwarantanny 43,5% osób spożywało więcej posiłków oraz 51,8% podjadało między posiłkami, tą tendencję zauważono najczęściej u osób otyłych. Przy wyższych wartościach BMI występowało częstsze podjadanie oraz zwiększone spożywanie żywności. Największą skłonność wykazywały osoby z nadwagą (BMI od 25,0 do 29,9 kg/m<sup>2</sup>) i otyłością (BMI  $\geq 30,0$  kg/m<sup>2</sup>). Ponadto jedna trzecia ankietowanych spożywała codziennie słodczy, przy czym w tej grupie osób w codziennej diecie nie występowały świeże owoce i warzywa. Spożycie świeżych warzyw i owoców było stosunkowo niskie, tylko 62,7% badanych zadeklarowało ich codzienne spożycie. Ta obserwacja wskazuje na to, że świadomość żywieniowa wśród osób otyłych jest niewystarczająca (Sidor i Rzymki 2020). Warto zaznaczyć, że przeciwzapalne i przeciwutleniające działanie związków zawartych w warzywach i owocach takich jak np. polifenole, karotenoidów przyczynia się do zmniejszenia stresu oksydacyjnego (Bacchetti i in. 2019). Wśród wszystkich badanych osoby otyłe spożywały najmniejsze ilości warzyw, owoców, roślin strączkowych oraz wykazywały największe skłonności do spożycia fast-foodów, słodczy, słonych przekąsek, mięsa. Należy również podkreślić, że analiza badań przeprowadzonych przez Montonen i in. w 2013 roku wynika, że dieta obfitująca w produkty typu fast-food oraz spożywanie nadmiernej ilości przetworzonego i czerwonego mięsa może stymulować stany zapalne i zwiększać stres oksydacyjny, wobec tego ważne jest, aby spożywanie ich nie dominowało nad spożyciem warzyw i owoców. Co więcej, u 30,3% ankietowanych stwierdzono wzrost masy ciała. (Montonen i in. 2013). Także w podobnym badaniu przeprowadzonym w Polsce przez Błaszczuk-Bębenek i in. w 2020 roku wśród 312 respondentów biorących udział, aż u ponad 2/3 uczestników stwierdzono zmianę masy ciała, przy czym 45,86% badanych miało nadwagę. Co najprawdopodobniej wiązało się ze spożywaniem słodkich przekąsek takich jak:

herbatniki, ciasta, batony czekoladowe oraz słonych w postaci chipsów, krakersów, precli (Błaszczyk-Bębenek i in. 2020).

Jak doniesiono zwiększona masa ciała, a w szczególności otyłość ma związek z cięższym przebiegiem klinicznym COVID-19 i wyższym ryzykiem zgonu. W związku z tym istotne jest, aby osoby z nadwagą i otyłością przestrzegały indywidualnych strategii żywieniowych opartych na dobrze zbilansowanej diecie. Dodatkowo podczas izolacji społecznej zwiększyło się spożycie alkoholu i palenie tytoniu. To przyczynia się do zwiększenia podatności na zakażenie SARS- Co-V-2 oraz pogarsza przebieg tej choroby zakaźnej, osłabiając tym samym mechanizmy odporności wrodzonej i nabytej (Sidor i Rzymiski 2020). Osoby spożywające zbyt duże ilości alkoholu są bardziej narażone na infekcje bakteryjne i wirusowe, w tym także na COVID-19 oraz choroby wątroby, trzustki oraz choroby układu krążenia (Bakaloud i in. 2021).

## NAWYKI ŻYWIENIOWE PODCZAS COVID-19 NA ŚWIECIE

Należy zaznaczyć, że w okresie pandemii COVID-19 zaobserwowano zmianę stylu życia, w tym nawyków żywieniowych u znacznego odsetka populacji światowej. Jak wskazuje międzynarodowe badanie przeprowadzone przez Ammar i in. w 2020 roku wśród 1047 ankietowanych osób złe nawyki żywieniowe mogą prowadzić do dodatniego bilansu energetycznego, a to może prowadzić do przyrostu masy ciała. Przypuszcza się, że spożywanie większej ilości żywności skorelowane jest w głównej mierze ze zmianą zachowań spowodowanych kwarantanną. Wyniki tego badania ukazały negatywne zmiany nawyków żywieniowych wśród badanych osób. Nastąpiło zwiększenie spożycia produktów charakteryzujących się wysoką zawartością barwników, cukrów prostych i tłuszczów, głównie nasyconych kwasów tłuszczowych, które mają szkodliwy wpływ na organizm człowieka. Ponadto ankietowani deklaruwali podjadanie między posiłkami, niekontrolowane ich spożywanie oraz ogółem spożycie większej ilości potraw (Ammar i in. 2020).). Podobne włoskie badanie wśród 602 ankietowanych osób w wieku od 18 do 79 lat wykazało, że prawie połowa uczestników była skłonna do zwiększenia ilości spożytej żywności w celu poprawy swojego samopoczucia. Przypuszcza się, że izolacja społeczna wywołana pandemią COVID-19 wywarła wpływ na wzmacnianie głodu emocjonalnego, który odnosi się do reakcji na negatywne emocje np. lęk, depresja, stres. Aż 86% badanych spostrzegło, że nie jest w stanie odpowiednio kontrolować

swojej diety (Di Renzo i in. 2020). W innym z badań przeprowadzonym z udziałem 686 dorosłych Peruwiańczyków, wykazano, że około 50% uczestników, którzy przybrali na wadze, codziennie spożywało głównie słodkie przekąski między posiłkami. Wyniki tego badania wskazują na powiązanie pomiędzy niewłaściwymi nawykami żywieniowymi, a lękiem, stresem, zaburzeniami psychicznymi (Agurto i in. 2021).

Dodatkowo Yang i inni dokonując analizy nawyków żywieniowych wśród 2702 Chińczyków wykazali, że u 38,2 % badanych zwiększyło się spożycie przekąsek, które najprawdopodobniej powiązane jest ze stanami lękowymi, depresją, nudą podczas izolacji społecznej (Yang i in. 2021). Co więcej, podobną zależność zauważono w badaniu przeprowadzonym w 2020 roku wśród społeczeństwa chilijskiego. W badaniu wzięło udział 700 uczestników z przewagą liczebną wśród kobiet. Wyniki badania wykazały, że u 51,3% badanych osób wzrosła ilość spożywanych posiłków, a 30% zadeklarowało, że codziennie spożywa żywność typu fast-food. Ponadto zaobserwowano również niskie spożycie wody, roślin strączkowych, tylko raz w tygodniu oraz spożywanie potraw smażonych  $\geq 3$  razy w tygodniu. Nawyki żywieniowe, które negatywnie wpływają na stan zdrowia człowieka, najczęściej są przyczyną wzrostu masy ciała. Wśród nich wymienia się wysokie spożycie żywności o niskiej jakości, z dużą zawartością cukrów prostych, sodu i tłuszczów nasyconych, potraw smażonych oraz niskie spożycie roślin strączkowych takich jak: fasola, groch, bób. Biorąc pod uwagę rośliny strączkowe, ich niska gęstość energetyczna, wysoka zawartość białka i błonnika pokarmowego, który reguluje perystaltykę jelit oraz niski indeks glikemiczny, przyczynia się do zapobiegania chorobom metabolicznym oraz umożliwia utrzymanie prawidłowych wskaźników masy ciała. Zgodnie z Piramidą Zdrowego Żywienia i Aktywności fizycznej rekomendowane jest zastępowanie mięsa nasionami roślin strączkowych chociaż w 1-2 posiłkach tygodniowo. Dodatkowo zalecane jest unikanie potraw smażonych w dużej ilości tłuszczu i produktów zawierających tłuszcze nasycone, gdyż ich nadmiar w diecie zwiększa ryzyko infekcji w przypadku chorób wirusowych. Należy zaznaczyć, że w tym badaniu uczestnicy nie przestrzegali podstawowych zasad zbilansowanej diety. Negatywne postawy żywieniowe podczas kwarantanny wpłynęły na wzrost masy ciała wśród badanych osób. Niezrównoważona dieta oraz niewłaściwe nawyki żywieniowe powodują zwiększenie stresu oksydacyjnego oraz ograniczają odpowiedź immunologiczną organizmu. Warto podkreślić, że właściwy styl życia, w tym nawyki żywieniowe mogą zabezpieczać przed wzrostem masy ciała podczas pandemii COVID-19 (Reyes-Olavarria i in. 2020).

Pandemia COVID-19 spowodowała oprócz negatywnych zmian nawyków żywieniowych, które można również zauważyć w badaniu obserwacyjnym wykonanym przez Deschasaux- Tanguy i in. we Francji w 2021 roku wśród 37 252 uczestników w średnim wieku, gdzie u 35% uczestników spostrzeżono średni przyrost masy ciała o 1,8 kg, zwiększone podjadanie więcej niż raz dziennie zgłosiło 21,1%, przy czym 18,9% podjadało każdego dnia, przynajmniej 3 razy dziennie, głównie poprzez wzrost spożycia słodczy, ciastek, ciasteczek, czekolady, także pozytywne tendencje związane z odżywianiem. Badania w tym zakresie ograniczają się zasadniczo do analiz obserwacyjnych i retrospektywnych. Należy zauważyć, że w powyższym badaniu przeprowadzonym we Francji w 2021 roku 14,1% respondentów stwierdziło, że ich dieta uległa poprawie. Spadek masy ciała o średnio 2,0 kg zaobserwowano u 23% badanych. W grupie osób, które deklarowały korzystne zmiany związane z odżywianiem, występowało zwiększone spożycie świeżych warzyw owoców oraz ryb, unikanie słodczy oraz niektórych produktów min. pizzy, słonych przekąsek, samodzielne przygotowywanie posiłków. Zmiany te najprawdopodobniej przypisuje się chęci prowadzenia zrównoważonej i zbilansowanej diety, w celu poprawy odporności organizmu (Deschasaux- Tanguy i in. 2021).

W innym z badań dokonanych na terytorium Włoch, Hiszpanii, Brazylii, Kolumbii i Chile w 2020 roku, z udziałem młodzieży w wieku od 10 do 19 lat wykazano, że pandemia COVID-19 poprawiła nawyki żywieniowe. W badanej grupie nastolatków wzrosło spożycie warzyw, owoców, roślin strączkowych. Jak wynika z badania 43% uczestników spożywało codziennie warzywa, przy czym 33,2% ankietowanych deklarowało, że spożywało co najmniej jeden owoc dziennie. Co więcej, wśród badanej grupy nastolatków zmniejszyło się spożycie fast-foodów w porównaniu z sytuacją sprzed pandemii COVID-19. Aż 64% uczestników spożywało żywność typu fast-food mniej niż raz w tygodniu. Warto jednak zaznaczyć, że sytuacja ta odnosi się tylko do części badanych osób. W związku z powyższym, potrzeba większej liczby badań na szeroką skalę, które dokładniej przeanalizują nawyki żywieniowe, dzięki czemu będzie możliwe wyciągnięcie rzetelniejszych wniosków (Ruiz-Roso i in. 2020).

## AKTYWNOŚĆ FIZYCZNA A COVID-19

Regularna aktywność fizyczna w połączeniu ze zbilansowaną dietą jest nieodłącznym elementem zdrowego stylu życia. Istnieje wiele korzyści

zdrowotnych wynikających z aktywności fizycznej. Zrównoważony wysiłek fizyczny poprawia ogólny stan zdrowia człowieka oraz zmniejsza ryzyko wielu chorób min. udaru mózgu, choroby wieńcowej serca, nadciśnienia, cukrzycy typu 2, otyłości, insulinooporności, osteoporozy, reumatoidalnego zapalenia stawów i niektórych nowotworów takich jak: rak piersi, rak endometrium, rak jelita grubego (Booth, Roberts i Laye 2012). Istnieje wiele badań potwierdzających, że aktywność fizyczna prowadzi do poprawy wyników zdrowotnych, na które składają się: obniżenie poziomu trójglicerydów, zmniejszenie poziomu cholesterolu LDL, poprawa homeostazy glukozy i wrażliwości na inulinę, obniżenie ciśnienia krwi, poprawa czynności serca, zmniejszenie krzepliwości krwi, zapalenia ogólnoustrojowego oraz zmniejszenie otyłości brzusznej i lepszą kontrolę masy ciała. Wykazano również, że trening fizyczny może przyczyniać się do obniżenia stanu zapalnego, po przez spadek poziomu białka C-reaktywnego, które dotyczy większości chorób przewlekłych (Mamcarz, Barylski i Wełnicki 2021).

Co więcej, aktywność fizyczna zmniejsza stany lękowe i depresyjne, przez co poprawia stan psychiczny organizmu. Metaanaliza przeprowadzona przez Herring i in. w 2010 roku, zawierająca 40 badań dowiodła, że trening fizyczny zmniejsza objawy lęku u osób z chorobami przewlekłymi, w szczególności chorobami układu krążenia, zaburzeniami psychicznymi, stwardnieniem rozsianym (Herring, O'connor i Dishman 2010).

Dodatkowo siedzący tryb życia przyspiesza wtórne starzenie się organizmu, które wywołane jest chorobami oraz czynnikami środowiskowymi takimi jak np. palenie tytoniu. Warto zaznaczyć, że Departament Zdrowia i Opieki Zdrowotnej Stanów Zjednoczonych uznał, że osoby nieaktywne w ciągu całego swojego życia mają o 30% wyższe ryzyko zgonu w porównaniu z osobami aktywnymi fizycznie. Stąd też regularna i odpowiednia aktywność fizyczna zmniejsza ryzyko przedwczesnej śmierci. Wskutek tego, wiele doniesień naukowych sugeruje, że brak aktywności fizycznej przez całe życie skraca średnią długość życia (Booth, Laye i Roberts 2011).

Pandemia COVID-19 ograniczyła aktywność fizyczną społeczeństw. Z powodu ograniczeń zmniejszył się wysiłek fizyczny na świeżym powietrzu. Rygorystyczne wymogi kwarantanny, które wprowadziły samoizolację i dystans społeczny, spowodowały spadek aktywności fizycznej oraz zwiększyły zachowania siedzące. Z badań przeprowadzonych przez Bronikowską i in. w 2021 roku w Polsce wśród 127 uczniów szkół ponadgimnazjalnych z Wielkopolski, wynika, że 86,6% uczestników miało niedostateczny poziom aktywności fizycznej. Ponadto wykazano negatywny wpływ pandemii COVID-19



na aktywność fizyczną wśród dzieci i młodzieży. Nałożone ograniczenia z powodu COVID-19 przyczyniły się do zamknięcia szkół oraz prowadzenia lekcji w trybie online, co doprowadziło do siedzącego trybu życia, przy drastycznym spadku wysiłku fizycznego wśród badanej grupie młodzieży. Wyniki te mogą wskazywać na potrzebę motywowania młodzieży przez rodziców i nauczycieli wychowania fizycznego w podejmowaniu racjonalnej aktywności fizycznej (Bronikowska i in. 2021). Należy zauważyć również, że Kołota i in. w 2021 roku stwierdzili, że poziom aktywności fizycznej wśród 1334 nastolatków nie zmienił się, porównując okres przed i po pandemii COVID-19. Ta sytuacja może wynikać z faktu, że badanie zostało przeprowadzone w czerwcu 2020 roku, kiedy była możliwość wykonywania przez badaną grupę respondentów aktywności fizycznej na świeżym powietrzu, w tym jazdy na rowerze, biegania, z zachowaniem dystansu społecznego (Kołota i Głąbska 2021).

Dodatkowo należy podkreślić, że uzyskane wyniki prewencyjnego badania dokonanego w USA i przeprowadzone na ich podstawie analizy wskazują na obniżenie poziomu aktywności fizycznej wśród badanej grupy liczącej 1310 dzieci i młodzieży w wieku od 3 do 18 lat w USA podczas pandemii COVID-19. Zaobserwowano, że zmiany aktywności fizycznej zależne były od wieku, przy czym w największym stopniu zauważono je wśród uczniów szkół średnich, a wśród dzieci wieku przedszkolnym zmiany te były znikome. Potrzebna jest dalsza analiza w celu określenia czynników zmniejszających aktywność fizyczną wśród dzieci i młodzieży (Tulchina-Francis i in. 2021).

Analiza wielu badań wskazuje na, że większość osób nie przestrzega światowych zaleceń dotyczących aktywności fizycznej, które zalecają, by dorośli i osoby starsze wykonywali tygodniowo co najmniej 150-300 minut aerobowej aktywności fizycznej o umiarkowanej intensywności, przy czym osoby dorosłe i seniorzy powinni poświęcić min. 75-150 min intensywnej aktywności fizycznej (WHO 2020). Zgodnie z wynikami badań przeprowadzonych przez Castañeda-Babarro i inni w 2020 roku w Hiszpanii wśród 3800 osób dorosłych, podkreśla się spadek stopnia aktywności podczas pandemii COVID-19. Odsetek osób nieaktywnych, które nie spełniły 75 min aktywności fizycznej tygodniowo znacznie wzrósł, a siedzący tryb życia w badanej grupie osób istotnie się wydłużył (Castañeda-Babarro i in. 2020). Wzrost siedzącego stylu życia wynikającego ze spędzania dłuższej ilości czasu siedząc np. przed ekranem monitora, można było zauważyć również w badaniu przeprowadzonym w 2021 roku w czterech krajach zachodnich (Francja, Australia, Wielka Brytania, USA). Z wyników badań wynika, że czas siedzenia wydłużył się o ok. 2 godziny, z czego młodzi ludzie wykazywali większą tendencję do spędzania

większej ilości czasu siedząc, w porównaniu z innymi grupami wiekowymi. Ustalenia te wskazują na niepokojący spadek aktywności fizycznej wśród młodych ludzi, co może w przyszłości prowadzić do niekorzystnych konsekwencji zdrowotnych (Karageorghis i in. 2021).

Ponadto dystans społeczny spowodowany pandemią COVID-19 może prowadzić do negatywnych konsekwencji dla zdrowia fizycznego osób starszych. Jak wynika z obszernego przeglądu Sepúlveda-Loyola i in. z 2020 roku, badającego wpływ dystansu społecznego na zdrowie fizyczne wśród 20 069 uczestników, u dużej części osób starszych odnotowano spadek aktywności fizycznej. Brak aktywności fizycznej oraz wzmożony siedzący tryb życia wiąże się z występowaniem dodatkowych chorób współistniejących wśród osób starszych. Dlatego należy zapobiegać konsekwencjom zdrowotnym u osób starszych związanym z izolacją społeczną wywołaną chorobą zakaźną COVID-19. Sytuacja, odnośnie publikacji naukowych dotyczących wpływu pandemii COVID-19 na aktywność fizyczną społeczeństw ciągle się zmienia, dlatego wyciągnięcie dokładnych wniosków jest ograniczone. Wiele kwestii pozostaje niejednoznacznych, dlatego istnieje potrzeba większej ilości badań w tym zakresie (Sepúlveda-Loyola i in. 2020).

## HIGIENA SNU PODCZAS COVID-19

Sen odgrywa ważną rolę dla zdrowia fizycznego i psychicznego. Dodatkowo sen reguluje emocje oraz funkcje odpornościowe organizmu. Długotrwałe prowadzenie trybu życia z ograniczoną ilością snu prowadzi do niekorzystnych konsekwencji dla zdrowia min. cukrzycy, nadciśnienia, depresji (Morin i in. 2020). Dowiedziono, że sen poprawia odporność organizmu, wpływając na poprawę zdrowia po przebytych stanach chorobowych (Krueger i in. 2016).

Strach i niepewność wywołane pandemią COVID-19 wpłynęły na jakość snu. Zaburzenia snu wpływają negatywnie na funkcjonowanie organizmu. Nieregularny sen oraz zbyt mała jego ilość mogą upośledzać układ odpornościowy w walce z patogenami, wywoływać stany prozapalne oraz zwiększać podatność na infekcje. Izolacja społeczna, niepokój, stres sprzyja słabej jakości snu oraz zwiększa podatność organizmu na bezsenność (Mello i in. 2020).

Warto zaznaczyć, że objawy bezsenności i zmęczenia były częstsze niż depresja. Potwierdzają to badania przeprowadzone w Chinach w 2021 roku, w którym wzięło udział prawie 57 000 respondentów, przy czym u 29,2% stwierdzono bezsenność, a 27,9% miało depresję. Co więcej, niewystarczająca

ilość snu oraz zaburzone cykle snu mogą zwiększać podatność na choroby wirusowe, w tym chorobę zakaźną COVID-19 (Becker 2021). W badaniu wykonanym we Włoszech w 2020 roku, skierowanym do 1342 uczestników w wieku od 18 do 35 lat, wykazali negatywne skutki pandemii COVID-19, które objawiały się zaburzeniami snu, depresją, lękiem. Spadek jakości snu stwierdzono u osób z wyższym poziomem depresji i lęku (Cellini i in. 2020). Uważa się też, że pandemia COVID-19 w niektórych przypadkach sprzyjała wydłużeniu czasu snu. Tą zależność przedstawił Lee i in. w 2020 roku wśród 25 217 badanych osób ze Stanów Zjednoczonych i 16 krajów europejskich, w tym Polski. Wyniki ukazują, że badani wydłużyli średni czas trwania snu od około 11,3 min. do 18,6 min. w dni powszednie, z wyjątkiem Finlandii i Danii, w których ten czas był o połowę mniejszy. Ponadto uczestnicy ze wszystkich 16 krajów zasypiali później niż zwykle. W badanej grupie osób zwiększył się również o 52,3% udział właściwej ilości godzin przeznaczonych na sen, która wynosi od 7 do 9 godzin dziennie. Należy przeprowadzić szersze analizy, aby trafniej określić wpływ pandemii COVID-19 na jakość snu (Lee, Marek i Nálevka 2020).

## PODSUMOWANIE

Odpowiednio zbilansowana dieta w połączeniu z regularną aktywnością fizyczną oraz odpowiednią ilością snu stanowi kluczowy element prewencji wielu przewlekłych chorób, w tym choroby zakaźnej COVID-19. Izolacja, dystans społeczny oraz wynikające z nich sytuacje stresowe, doprowadziły do zmiany stylu życia i nawyków żywieniowych wśród społeczeństw. Pogłębienie niewłaściwych wzorców żywieniowych niesie za sobą szkodliwe konsekwencje zdrowotne prowadzące do rozwoju wielu schorzeń m.in. otyłości, cukrzycy, nadciśnienia tętniczego i wielu innych. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań podaje się, iż pandemia COVID-19 przyczyniła się do wzrostu zaburzeń odżywiania. Stres, niepokój, lęk wpłynął na postawy żywieniowe wśród społeczeństw, predysponując jej część do wprowadzenia złych zachowań żywieniowych (Heitzman 2020).

Analiza licznych badań umożliwiła udzielenie odpowiedzi na to jaki wpływ na styl życia i zwyczaje żywieniowe wywarła pandemia COVID-19. Badania wykazały, że u większości osób zaobserwowano nasilenie podjadania pomiędzy posiłkami, nieregularne spożywanie posiłków, włączenie do diety żywności typu fast-food, zjadanie stresu, połączone z niską aktywnością fizyczną, głównie wśród osób otyłych. To przyczyniło się do zwiększenia

podatności na SARS-CoV-2 oraz przypuszcza się, że pogarsza przebieg tej choroby zakaźnej, osłabiając tym samym mechanizmy odporności wrodzonej i nabytej. W grupie zwiększonego ryzyka zakażenia COVID-19 pozostawały osoby otyłe, u których zdiagnozowano również inne choroby współistniejące np. cukrzycę. Ta niepokojąca obserwacja dowodzi, że świadomość żywieniowa osób otyłych jest niewystarczająca. Autorzy badań podkreślają, że złe wzorce postępowania żywieniowego wśród osób z otyłością, predysponują występowanie poważniejszych powikłań oraz śmiertelności na COVID-19 w grupie tych osób (Yu i in. 2021).

Reasumując, zróżnicowana, optymalna dieta wraz z regularną aktywnością fizyczną chroni organizm przed wieloma czynnikami chorobotwórczymi, w tym także może złagodzić objawy choroby zakaźnej COVID-19.

## BIBLIOGRAFIA

- Agurto H. S., Alcantara-Diaz A. L., Espinet-Coll E. i in.  
2021 *Eating habits, lifestyle behaviors and stress during the COVID-19 pandemic quarantine among Peruvian adults*. PeerJ, 9, 1-13.
- Ammar A., Brach M., Trabelsi K., Chtourou H., Boukhris O. i in.  
2020 *Effects of COVID-19 Home Confinement on Eating Behaviour and Physical Activity: Results of the ECLB-COVID19 International Online Survey*. Nutrients, 12(6).
- Bacchetti T., Turco I., Urbano A., Morresi C., Ferretti G.  
2019 *Relationship of fruit and vegetable intake to dietary antioxidant capacity and markers of oxidative stress: A sex-related study*. Nutrition, 61.
- Bakaloudi D. R., Jeyakumar D. T., Jayawardena R., Chourdakis M.  
2021 *The impact of COVID-19 lockdown on snacking habits, fast-food and alcohol consumption: A systematic review of the evidence*. Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland).
- Becker P. M.  
2021 *Overview of sleep management during COVID-19*. Sleep medicine.
- Błaszczyk-Bębenek E., Jagielski P., Bolesławska I., Jagielska A. i in.  
2020 *Nutrition Behaviors in Polish Adults before and during COVID-19 Lockdown*. Nutrients, 12(10).

- Booth F. W., Laye M. J., Roberts M. D.  
2011 *Lifetime sedentary living accelerates some aspects of secondary aging.* J Appl Physiol, 111(5).
- Booth F. W., Roberts C. K., Laye M. J.  
2012 *Lack of exercise is a major cause of chronic diseases.* Comprehensive Physiology, 2(2).
- Bronikowska M., Krzysztozek J., Łopatka M., Ludwiczak M., Pluta B.  
2021 *Comparison of Physical Activity Levels in Youths before and during a Pandemic Lockdown.* International journal of environmental research and public health, 18(10).
- Castañeda-Babarro A., Arbillaga-Etxarri A., Gutiérrez-Santamaría B., Coca A.  
2020 *Physical Activity Change during COVID-19 Confinement.* International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(18).
- Cellini N., Canale N., Mioni G., Costa S.  
2020 *Changes in sleep pattern, sense of time and digital media use during COVID-19 lockdown in Italy.* Journal of sleep research, 29(4).
- Deschasaux-Tanguy M., Druésne-Pecollo N., Esseddik Y. i in.  
2021 *Diet and physical activity during the coronavirus disease 2019 (COVID-19) lockdown (March-May 2020): results from the French Nutri-Net-Santé cohort study.* The American journal of clinical nutrition, 113(4).
- Di Renzo L., Gualtieri P., Cinelli G., Bigioni G., Soldati L., Attinà A. i in.  
2020 *Psychological Aspects and Eating Habits during COVID-19 Home Confinement: Results of EHLC-COVID-19 Italian Online Survey.* Nutrients, 12(7).
- Gao YD, Ding M, Dong X, Zhang JJ, Kursat Azkur A, Azkur D. i in.  
2021 *Risk factors for severe and critically ill COVID-19 patients: A review.* Allergy, 76(2).
- Heitzman J.  
2020 *Impact of COVID-19 pandemic on mental health.* Psychiatr Pol.;54(2).
- Herring M. P., O'connor P. J., Dishman R. K.  
2010 *The Effect of Exercise Training on Anxiety Symptoms Among Patients: A Systematic Review.* Arch Intern Med., 170(4).

- Jontez N. B., Novak K., Kenig S., Petelin A., Jenko Pražnikar Z., Mohorko N.  
2021 *The Impact of COVID-19-Related Lockdown on Diet and Serum Markers in Healthy Adults*. *Nutrients*, 13(4).
- Karageorghis C. I., Bird J. M., Hutchinson J. C., Hamer M. i in.  
2021 *Physical activity and mental well-being under COVID-19 lockdown: a cross-sectional multinational study*. *BMC Public Health*, 21(1).
- Kołota A., Głąbska D.  
2021 *COVID-19 Pandemic and Remote Education Contributes to Improved Nutritional Behaviors and Increased Screen Time in a Polish Population-Based Sample of Primary School Adolescents: Diet and Activity of Youth during COVID-19 (DAY-19) Study*. *Nutrients*, 13(5).
- Krueger J. M., Frank M. G., Wisor J. P., Roy S.  
2016 *Sleep function: Toward elucidating an enigma*. *Sleep Medicine Reviews*, 28.
- Lee P. H., Marek J., Nálevka P.  
2020 *Sleep pattern in the US and 16 European countries during the COVID-19 outbreak using crowdsourced smartphone data*. *European Journal of Public Health*, 31(1).
- Mamcarz A., Barylski M., Wełnicki M.  
2021 *Lipidologia*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, wyd. 1.
- Mello M. T., Silva A., Guerreiro R. C., Da-Silva, F. R., Esteves A. M. i in.  
2020 *Sleep and COVID-19: considerations about immunity, pathophysiology, and treatment*. *Sleep science (Sao Paulo, Brazil)*, 13(3).
- Montonen J., Boeing H., Fritsche A., Schleicher E., Joost H. G. i in.  
2013 *Consumption of red meat and whole-grain bread in relation to biomarkers of obesity, inflammation, glucose metabolism and oxidative stress*. *European Journal of Nutrition*, 52(1).
- Morin C. M., Carrier J., Bastien C., Godbout R.  
2020 *Sleep and circadian rhythm in response to the COVID-19 pandemic*. *Can J Public Health*, 111(5).
- Reyes-Olavarría D., Latorre-Román P. Á., Guzmán-Guzmán I. P. i in.  
2020 *Positive and Negative Changes in Food Habits, Physical Activity Patterns, and Weight Status during COVID-19 Confinement: Associated Factors in the Chilean Population*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15).

- Ruiz-Roso M. B., De Carvalho Padilha P., Mantilla-Escalante D. C. i in.  
2020 *Covid-19 Confinement and Changes of Adolescent's Dietary Trends in Italy, Spain, Chile, Colombia and Brazil*. *Nutrients*, 12(6).
- Sepúlveda-Loyola W., Rodríguez-Sánchez I., Pérez-Rodríguez P. i in.  
2020 *Impact of Social Isolation Due to COVID-19 on Health in Older People: Mental and Physical Effects and Recommendations*. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 24(9).
- Sidor A., Rzymiski P.  
2020 *Dietary Choices and Habits during COVID-19 Lockdown: Experience from Poland*. *Nutrients*, 12(6).
- Tulchin-Francis K., Stevens W., Jr Gu, X., Zhang T., Roberts H. i in.  
2021 *The impact of the coronavirus disease 2019 pandemic on physical activity in U.S. children*. *Journal of Sport and Health Science*, 10(3).
- World Health Organization.  
2020 *Who guidelines on physical activity and sedentary behaviour*.
- Yang G. Y., Lin X. L., Fang A. P., Zhu, H. L.  
2021 *Eating Habits and Lifestyles during the Initial Stage of the COVID-19 Lockdown in China: A Cross-Sectional Study*. *Nutrients*, 13(3).
- Yu W, Rohli KE, Yang S, Jia P.  
2021 *Impact of obesity on COVID-19 patients*. *J Diabetes Complications*, 35(3).

## IMPACT OF PANDEMIC COVID-19 ON NUTRITIONAL BEHAVIOUR AND LIFESTYLE OF POPULATION IN POLAND AND THE WORLD

**Abstract:** The unexpected social isolation caused by the COVID-19 pandemic has changed eating habits in Polish society and in other countries. The COVID-19 pandemic has forced many countries to introduce strict health regulations, including measures of social distancing. There is no doubt that an adequate lifestyle, combined with a healthy diet and exercise is a key element in preventing disease, including the infectious disease COVID-19. The work was prepared based on an analysis of the literature and concerns relationships between the impact of the COVID-19 pandemic on dietary and lifestyle behaviour in Polish society compared to other countries.

**Keywords:** pandemic COVID-19, nutritional behaviour, physical activity, lifestyle

# PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE TRÓJWYMIAROWYCH MODELI SERCA WYKONANYCH W TECHNOLOGII BIODRUKU 3D

**Streszczenie:** Celem artykułu jest przybliżenie aktualnego zastosowania trójwymiarowych modeli serca wykonanych w technologii biodruku w planowaniu interwencji chirurgicznych, komunikacji pomiędzy lekarzami a pacjentami, w przed- i pooperacyjnej edukacji pacjenta oraz w szkoleniach medycznych. Praca ma na celu ocenę roli trójwymiarowych modeli i korzyści z ich wykorzystania w wymienionych dziedzinach. Biodrukowanie gałąź inżynierii materiałowej, zajmująca się budowaniem trójwymiarowych konstrukcji, zazwyczaj zawierających komórki biologiczne. Aktualnie biodruk 3D pozwala na wizualizację skomplikowanych patologii serca w zrozumiały i przejrzysty sposób. Wpływa to na lepsze poznanie danej patologii serca, zarówno w przypadku pacjenta, jak i lekarzy specjalistów. Kolejną grupą, której biodruk może przynieść korzyści, są studenci medycyny. W przyszłości biodruk może znaleźć zastosowanie w transplantologii i umożliwić drukowanie spersonalizowanych narządów w warunkach laboratoryjnych. Ze względu na liczne możliwości zastosowania biodruku trójwymiarowego, istotne jest upowszechnianie wiedzy na jej temat.

**Słowa kluczowe:** sztuczne serce, biodrukowanie trójwymiarowe, planowanie interwencji chirurgicznych, edukacja pacjentów

## 1. WPROWADZENIE

Postępy w dziedzinie biodrukowania trójwymiarowego (3D) umożliwiły wytwarzanie geometrycznie złożonych rusztowań tkankowych. W procesie tym używane są biotusze i hydrożele, których właściwości mechaniczne są porównywalne z żywymi tkankami i narządami. Dalsze prace badawcze

---

<sup>1</sup> Kolegium Nauk Medycznych, Uniwersytet Rzeszowski



nad technologią biodruku trójwymiarowego mogą w przyszłości pozwolić na stworzenie serca dla osoby oczekującej na przeszczep i zrewolucjonizować oblicze transplantologii. Zminimalizuje ono również problemy związane z odrzucaniem przeszczepu oraz przyjmowaniem leków immunosupresyjnych. Aktualnie technologia biodruku nie osiągnęła jeszcze poziomu pozwalającego na tworzenie sztucznych narządów. Z powodzeniem znajduje ona jednak zastosowanie w innych dziedzinach. Celem artykułu jest przeanalizowanie zastosowań dla trójwymiarowego modelu serca ludzkiego wykonanego w technologii biodruku. Celem podocznym jest opis technologii biodruku. W niniejszej pracy podjęto się próby weryfikacji następującej hipotezy: trójwymiarowe modele serca ludzkiego wykonane w technologii biodruku znajdują zastosowanie w dziedzinach takich jak: planowanie interwencji kardiochirurgicznych, symulacje operacji, komunikacja z pacjentem i jego przed- i pooperacyjna edukacja, a także szkolenia medyczne dla studentów i lekarzy. Artykuł przygotowano z wykorzystaniem metody przeglądu literatury, korzystając z internetowych baz danych PubMed oraz GoogleScholar.

## 2. TECHNOLOGIA BIODRUKU TRÓJWYMIAROWEGO

Biodrukowanie 3D jest dziedziną interdyscyplinarną, łączącą zastosowanie wiedzy dotyczącej biomateriałów, obrazowania, modelowania i technologii obliczeniowych w dziedzinie biomedycyny i inżynierii materiałowej. Początkiem biodruku było przystosowanie technologii druku 3D do celów biologicznych. Konwencjonalne biodrukowanie 3D koncentruje się na tworzeniu struktur 3D bez komórek, podczas gdy najnowsze technologie biodrukowania 3D pozwalają na szybkie i dokładne tworzenie struktur 3D z wykorzystaniem komórek. W dziedzinie kardiochirurgii biodrukowanie 3D zostało zastosowane do tworzenia różnych elementów serca, takich jak mięsień sercowy, czy zastawki serca. Biodrukowanie wykorzystuje materiały pochodzenia biologicznego (biotusze), składające się z żywych komórek, biomateriałów (hydrożeli) i różnych małych cząsteczek (np. czynników wzrostu). Biodrukowanie 3D to szybko rozwijająca się technologia, wykazująca duży potencjał w medycynie regeneracyjnej (Bon Kang 2018).

Pierwszym krokiem w biodruku serca jest skorzystanie z techniki obrazowania metodą rezonansu magnetycznego 4D (MRI). Generuje się czasowe i przestrzenne wizualizacje przepływu 3D, w celu zobrazowania serca w kolejnych etapach cyklu sercowego. Kolejnym etapem jest stworzenie modelu obliczeniowego dynamiki płynów (CFD) w celu porównania z fizycznymi

parametrami przepływu. Dzięki temu biodrukowane modele zachowują wysoką wierność w porównaniu z danymi referencyjnymi (klinicznymi). Adaptacja tych możliwości do złożonych, biodrukowanych konstrukcji 3D umożliwia nowy poziom kontrolowanej inżynierii materiałowej, szczególnie w tkankach, w których występuje przepływ, takich jak serce (Cetnar i in. 2019).

W procesie biodrukowania wykorzystywane są biotusze, czyli biomateriały wykorzystywane do tworzenia modeli 3D. Dzielą się one ze względu na ich zastosowanie w wytwarzaniu konkretnych tkanek i narządów. Biotusze powinny zapewniać biokompatybilność i odpowiednie właściwości fizyczne, aby zapewnić łatwość drukowania i długotrwałą funkcjonalność po osadzeniu komórek. Istnieją biotusze przeznaczone do regeneracji tkanki chrzęstnej, kostnej oraz nerwowej. Trwają badania prowadzone w kierunku opracowania biotuszy stosowanych w odbudowie skóry, naczyń krwionośnych, a także wątroby. Do tej pory do tworzenia rusztowań najczęściej wykorzystywane były hydrożele na bazie naturalnych biopolimerów, takich jak alginian, żelatyna, kolagen, fibryna, kwas hialuronowy, chitosan i agaroz. Korzystano również z wielu polimerów syntetycznych, takich jak glikol etylenowy. Oprócz pełnienia roli rusztowania, mogą one również utrzymywać żywotność i promować aktywność wdrukowanych żywych komórek. Ostatnio badania koncentrują się na możliwym zastosowaniu odkomórkowanej macierz zewnątrzkomórkowej (dECM). Należy ona do biomateriałów kompozytowych pochodzenia naturalnego. Techniki biodrukowania 3D umożliwiają szybką produkcję modeli, cechujących się wysoką precyzją i kontrolą nad rozmiarem, porowatością i kształtem (Bon Kang 2016, Mandrycky i in. 2016).

Oprócz biomateriałów, kolejnym składnikiem biotuszków są komórki. Biodrukowanie na ogół wymaga dużej gęstości komórek, aby zachować funkcjonalność po drukowaniu. Należy zastosować optymalną szybkość w drukowaniu dla każdego typu komórek, starannie dostosowując szybkość wytłaczania biotuszu, aby zapewnić wysoką żywotność komórek i ich funkcje. Większość obecnych technologii koncentruje się na biodrukowaniu pojedynczych komórek. Pozwala to na większą elastyczność w wytwarzaniu tkanek na mniejszą skalę i wymaga mniejszego wysiłku w przygotowaniu biotuszków. Opracowywana jest technologia pozwalająca na drukowanie agregatów komórek. Umożliwi to skrócenie czasu wytwarzania większych tkanek i wpłynie na znacznie wyższą żywotność komórek dzięki ochronie komórek we wnętrzach sferoid od naprężeń występujących podczas biodrukowania. Ograniczenia biodrukowania 3D obejmują brak powtarzalności, stabilność konstrukcji i żywotność komórek. Stabilność mechaniczna konstrukcji, nawet z podporami

protektorowymi, jest słaba, łatwo się łamie i ogranicza złożoność geometryczną. Utrzymanie wystarczającej sterylności, temperatury, składników odżywczych i mechanicznej osłony dla żywotności komórek komplikuje podejście do biodrukowania 3D (Zhang 2016).

### 3. MOŻLIWE ZASTOSOWANIA DLA MODELI SERCA WYKONANYCH W TECHNOLOGII BIODRUKU

Istnieje możliwość, że w przyszłości biodrukowanie będzie alternatywą dla transplantacji organów pochodzących od dawców. Wiele osób codziennie umiera w oczekiwaniu na przeszczep serca. Biodruk 3D może uratować tysiące istnień ludzkich, eliminując potrzebę wykorzystania narządów pochodzących od dawcy (Morris 2018). Obecnie nie jest możliwe zastosowanie biodrukowanego modelu serca w transplantologii. Istnieją jednak inne dziedziny, w których dokładny model serca, utworzony na bazie skanów MRI może przynieść korzyści dla lekarzy klinicystów lub ich pacjentów. Biodruk 3D znajduje szerokie zastosowanie w medycynie personalizowanej, w planowaniu interwencji chirurgicznych, edukacji medycznej oraz komunikacji z pacjentem.

### 4. PLANOWANIE INTERWENCJI CHIRURGICZNYCH

Ocena przedoperacyjna za pomocą modeli druku 3D pomaga zmniejszyć niepewność dotyczącą specyficznych cech anatomicznych pacjenta. Technologia druku 3D może przyczynić się do poprawy wyników przeprowadzanych interwencji chirurgicznych, ponieważ precyzyjne przedoperacyjne zrozumienie złożonej anatomii serca może znacząco skrócić zabieg. Skrócony zostaje czas operacji, w którym pacjent pozostaje pod wpływem znieczulenia ogólnego oraz wspomagania krążeniowo-oddechowego, co pozytywnie wpływa na rekonwalescencję. Szczególnie cenne są modele serca umożliwiające symulację procedur chirurgicznych, takich jak: zamknięcie ubytków przegrody, rekonstrukcja łuku aorty lub operacja przełączania tętnic. Modele druku 3D są również wykorzystywane do zabiegów interwencyjnych w celu sprawdzenia, czy rozmiar i kształt urządzenia będą pasować do specyficznej anatomii pacjenta. Modele 3D z pewnością dostarczają chirurgom jasnych i niepodważalnych informacji. Dzięki modelom wykonanych w technologii druku 3D, złożona anatomia może być zrozumiana natychmiast i nie wymaga

wyjaśnienia za pomocą niejednoznacznej terminologii, która funkcjonuje w opisie skomplikowanych i rzadko występujących patologii (Yoo i in. 2016).

Biodrukowane modele serca konkretnego pacjenta są coraz częściej wykorzystywane w kardiologii i kardiochirurgii. Ich zastosowanie w dziedzinie wrodzonych wad serca (WWS) oceniane jest jako szczególnie wartościowe. WWS charakteryzuje się złożonymi anomaliami sercowymi, o wysokim zróżnicowaniu osobniczym. Anatomia układu sercowo-naczyniowego u dzieci z wrodzoną wadą serca jest specyficzna dla danego dziecka, co wymaga dostosowanych operacji chirurgicznych dla każdego przypadku. Obecnie dostępne metody obrazowania nie umożliwiają uzyskania kompleksowej przestrzennej wizualizacji struktur serca. Rozwiązaniem tego problemu mogą być drukowane modele 3D pochodzące z danych obrazowania serca pacjenta. Ponieważ klatka piersiowa i rozmiary serca pacjenta są małe u dzieci, rzeczywista scena chirurgiczna jest trudna do sprawdzenia, szczególnie z pozycji asystenta podczas operacji. Gdyby sterylizowane modele pokazujące ważną anatomię chirurgiczną serca pacjenta zostały przekazane zespołowi chirurgicznemu, podstawowa procedura operatora byłaby ułatwiona dzięki precyzyjnej i usprawnionej pomocy asystentów. Ponadto modele druku 3D wykonane z elastycznego materiału mogą być wykorzystywane do ćwiczeń chirurgicznych przed rzeczywistą operacją. Spersonalizowane modele 3D serca mogą wspomagać planowanie przedoperacyjne i symulację procedur kardiologicznych (Sun i in. 2019).

Trójwymiarowy model serca znajduje również zastosowanie w planowaniu bezpośredniej przezskórnej plastyki pierścienia zastawki dwudzielnej. Jednym z pierwszych etapów tej operacji jest wprowadzenie cewnika do lewej komory przez aortę i umieszczenie jego końcówki między mięśniami brodawkowatymi w okolicy pierścienia zastawki. Należy wcześniej określić jaką wielkość cewnika prowadzącego będzie optymalna w przypadku konkretnego pacjenta. Wykonanie trójwymiarowego modelu serca na etapie przygotowania do zabiegu umożliwia personalizowany dobór rozmiaru cewnika. Zapewnia to swobodne manewrowanie wewnątrz komory. Na podstawie modelu można określić również możliwości ułożenia cewnika w odpowiednich miejscach docelowych, jak również możliwości manewrowania cewnikiem między mięśniami brodawkowatymi. Zastosowanie modelu 3D znacznie ułatwiło bezpieczne przeprowadzenie zabiegu, w wyniku którego uzyskano redukcję niedomykalności zastawki mitralnej. Opisane liczne zastosowania modelu serca stworzonego przy użyciu technik druku 3D dowodzą, że może być on pomocnym narzędziem wykorzystywanym na etapie przygotowania

do zabiegów przezskórnych u pacjentów z chorobami strukturalnymi serca (Dankowski i in. 2014). W przypadku symulacji chirurgicznej materiały drukowane są nadal dalekie od ideału, a reprezentacja zastawek serca jest ograniczona. Materiał drukowany nie przedstawia właściwości tkankowych mięśnia sercowego, ograniczając ocenę odpowiedzi tkanek na zabieg chirurgiczny lub zastosowanie wyrobów medycznych (Yoo i in. 2016).

## 5. EDUKACJA MEDYCZNA

Biodrukowane modele serca stanowią przydatne narzędzie w edukacji medycznej i szkoleniach. Wykazano, że wydrukowane w 3D modele serca służą jako nowatorskie narzędzie nauczania w edukacji medycznej i szkoleniach medycznych. Badania wykazały znaczną poprawę uczenia się rezydentów i studentów medycyny oraz pewności w radzeniu sobie ze złożonymi przypadkami kardiochirurgicznymi. Stosowanie modeli 3D pobudza zainteresowanie studentów wrodzonymi wadami serca i poprawia wyniki edukacji medycznej. Wykorzystanie modeli 3D w edukacji medycznej ma kilka zalet: po pierwsze, w porównaniu ze zwłokami jest znacznie tańsze, co z kolei może złagodzić finansowe, etyczne, kulturowe i logistyczne trudności związane z utrzymywaniem programu nauczania opartego na zwłokach. Drugą zaletą, w porównaniu z obrazami obrazkowymi, diagramami i konwencjonalną echokardiografią, które są dwuwymiarowe, a zatem koncepcyjnie trudne dla początkujących uczniów, daje prawdziwą relację przestrzenną, umożliwiając namacalną manipulację strukturami poza- i wewnątrzsercowymi. Po trzecie, w porównaniu do gotowych modeli anatomicznych, nawet te o wysokiej jakości są raczej schematyczne i nie pokazują zakresu zmienności występującej w różnych populacjach ludzkich pod względem zdrowia i choroby. Przewagę wykorzystania wydruków 3D potwierdziło badanie *Three-dimensional printing models in congenital heart disease education for medical students: a controlled comparative study*. Studenci uczący się przy pomocy modeli 3D uzyskali wyższe wyniki zarówno w ramach testu wiedzy, jak i kwestionariuszu samooceny. Również wyniki z pytań otwartych wykazały zwiększone zainteresowanie studentów kardiologią i kardiochirurgią (Wei i in. 2018)

Edukacja medyczna podlega nie tylko ograniczeniom ekonomicznym, ale także względom etycznym, prawnym i kulturowym, które ograniczają dostępność zwłok. Nowoczesna technologia i druk 3D oferują możliwe rozwiązania w tej dziedzinie i zostały wykorzystane do modelowania anatomii człowieka w różnych warunkach. Obsługa modeli 3D angażuje wzrok i dotyk

uczniów, aby szybko zrozumieć wady anatomiczne, w tym złożone zjawiska, takie jak krzyżujące się połączenia przedsionkowo-komorowe. Modele 3D zostały wykorzystane w badaniu *Three-dimensional Printed Cardiac Models: Applications in the Field of Medical Education, Cardiovascular Surgery, and Structural Heart Interventions* do nauczenia charakterystyki morfologicznej tetralogii Fallota. Lekcje, podczas których korzystano z modeli 3D, były pozytywniej oceniane przez uczniów, co znalazło odzwierciedlenie w wyższych wynikach satysfakcji uczniów i wyższych wskaźnikach zapamiętywania przekazywanych informacji (Valverde i in. 2017).

Podczas badania *Utility of 3D Printed Cardiac Models for Medical Student Education in Congenital Heart Disease: Across a Spectrum of Disease Severity* studenci medycyny wzięli udział w warsztatach składających się z różnych stanowisk dydaktycznych. Na stanowisku wydrukowanym w 3D studenci wypełnili ankietę przed i po interwencji oceniającą ich wiedzę na temat każdej zmiany sercowej w skali Likerta. W warsztatach wzięło udział 45 studentów medycyny. Wiedza uczniów istotnie poprawiła się dla każdej zmiany. Wydrukowane modele 3D, próbki patologii i wyjaśnienia ustne okazały się najbardziej pomocne. Uczniowie „zdecydowanie zgodzili się”, że wydrukowane modele 3D sprawiły, że byli pewniejsi w wyjaśnianiu innym wrodzonej anatomii serca i że zalecają wykorzystanie modeli 3D w przyszłych sesjach edukacyjnych. Drukowane modele serca w 3D powinny być uwzględniane w edukacji studentów medycyny, szczególnie w przypadku zmian chorobowych, które wymagają kompleksowego zrozumienia relacji przestrzennych (Smerling i in. 2019).

Nauczanie anatomii i morfologicznych relacji różnych narządów opiera się na wykorzystywaniu w tym celu odpowiednio wypreparowanych ludzkich zwłok całościowych lub preparatów częściowych. Stosując to podejście, trudno jest jednak zgromadzić wystarczające doświadczenie w kolejnych etapach edukacji, gdzie kluczowe jest poznanie patologii danego narządu. Podczas specjalizacji z chirurgii wspomaganie i obserwowanie operacji chirurgicznych daje pośrednie doświadczenie. Takie podejście jest niewystarczające, aby poprawić umiejętności operacyjne i intuicyjne zrozumienie złożonych patologii charakteryzujących daną chorobę. Szczególnie istotne jest to w operacjach wykorzystujących laparoskopię i endoskopię. Wielu stażystów musi rozwijać swoje umiejętności chirurgiczne podczas prawdziwych zabiegów chirurgicznych. Ponadto coraz trudniej jest dokonać sekcji zwłok ludzkich, z takich powodów, jak kulturowa dezaprobatą dla sekcji ciała ludzkiego i wzmocnienie praw pacjenta. Możliwe jest wykorzystanie specyficznych dla pacjenta modeli 3D

do szkolenia młodych chirurgów. Niedawno opracowana technologia zapewnia bardziej realistyczne fantomy, które naśladują prawdziwe tkanki twarde i miękkie. Możliwe jest utworzenie fragmentów modelu o różnej konsystencji i gęstości. Ćwicząc z tymi symulującymi modelami, stażyści i chirurdzy mogą zyskać pewność siebie przed wykonaniem prawdziwych operacji (Sun i in. 2019). Pierwszym krokiem w kierunku wykorzystania wydrukowanych modeli 3D w edukacji medycznej byłoby założenie lokalnych bibliotek 3D. Modele można łatwo tworzyć na podstawie skanów CT i echokardiografii 3D wykonywanych podczas rutynowej obserwacji pacjenta. Dostępnych jest kilka wersji oprogramowania do przeprowadzania procesów segmentacji i modelowania. Modele te są trwałe, a koszt wydrukowanego modelu jest przystępny, ze względu na wysoką dostępność drukarek 3D (Karsenty i in. 2019).

## 6. KOMUNIKACJA Z PACJENTEM

Otwarta i zrozumiała komunikacja pomiędzy lekarzem a pacjentem odgrywa kluczową rolę w przestrzeganiu zaleceń przez pacjenta oraz w samym leczeniu klinicznym. Biodrukowane modele serca mogą ją wspomagać, pozwalając na zaprezentowanie pacjentom skomplikowanych patologii serca w prosty sposób. Tradycyjne podejście do tej kwestii, to jest stosowanie diagramów lub wizualizacji 2D do wyjaśnienia skomplikowanych patologii serca nie pozwala lekarzom skutecznie komunikować się z pacjentami lub rodzicami małoletnich pacjentów z powodu trudności w przekazywaniu w ten sposób niuansów relacji między strukturami serca. Modele drukowane w 3D są w stanie wyeliminować to ograniczenie, ponieważ pacjenci nie mają problemów w docenianiu przestrzennego związku między strukturami serca, poprawiając w ten sposób komunikację lekarz-pacjent. Badanie przeprowadzone przez zespół prof. Giovanniego Biglino (Biglino i in., 2015a) po raz pierwszy próbowało ilościowo określić korzyści ze stosowania podczas pracy z pacjentami modeli drukowanych 3D. Dziewięćdziesięcioro ośmiu rodziców pacjentów z WWS zostało losowo przydzielonych do dwóch grup, z których 45 przypisano do grupy badawczej, której podczas wizyty pokazano modele 3D serc ich dzieci, a 53 do grupy kontrolnej, która podczas konsultacji nie otrzymała takiego modelu. Rodzice zostali poproszeni o wypełnienie dwóch krótkich kwestionariuszy: pierwszego przed konsultacją z lekarzem i drugiego po konsultacji, badających pojęcie o stanie zdrowia własnego dziecka, zdolność nazwania przypadłości jego serca oraz zrozumienie planowanych interwencji lub procedur. Zarówno kardiolodzy, jak i rodzice ocenili wydrukowane

modele 3D jako bardzo przydatne. Modele drukowane w 3D nie doprowadziły jednak do zwiększenia wiedzy rodziców o WWS i zrozumienia stanu serca ich dziecka. Ponadto stwierdzono, że konsultacje z wykorzystaniem modeli drukowanych w 3D trwały dłużej niż te przeprowadzone bez nich. Ta sama grupa przeprowadziła inne badanie określające wpływ stosowania modeli serca z nadrukiem 3D na ułatwianie konsultacji między lekarzem a młodymi ludźmi z WWS (Biglino i in., 2015b). Zaangażowano dwudziestu nastoletnich pacjentów z WWS (przedział wiekowy 15–18 lat) z zastosowaniem tego samego podejścia, jak w poprzednim badaniu, obejmującego wypełnienie dwóch kwestionariuszy – przed i po konsultacjach z lekarzami. Pozytywne odpowiedzi stwierdzono w badaniu z wykorzystaniem modeli drukowanych 3D ze znaczną poprawą wiedzy małych pacjentów na temat WWS, pewności w wyjaśnianiu warunków innym i ogólnej satysfakcji. Większość uczestników wskazała, że modele drukowane w 3D poprawiły jakość ich wizyt klinicznych, jednak 30% z nich wyraziło odczuwanie większego niepokoju o swój stan zdrowia po zobaczeniu modeli 3D własnego serca (Sun i in. 2019). Eksperymenty zespołu prof. Biglino udowodniły, że mimo pewnych dysproporcji w zrozumieniu stanu zdrowia pacjentów występujących między rodzicami dzieci z WWS i samymi małoletnimi (z większym poziomem zrozumienia u pacjentów), zastosowanie modeli 3D serca wspomaga samą komunikację lekarz-pacjent, mimo wydłużenia samego czasu sesji (Biglino i in., 2015b).

W badaniu *Application of 3D printing in the surgical planning of hypertrophic obstructive cardiomyopathy and physician-patient communication: a preliminary study* wykorzystano wydrukowany w 3D model serca, aby poinformować pacjenta i jego krewnych o stanie zdrowia pacjenta, w celu ułatwienia zrozumienia strategii leczenia chirurgicznego i jego potencjalnego efektu. Po rozmowie pacjenci i ich krewni wypełnili kwestionariusz, aby ocenić skuteczność rozmowy i wskazać swoje preferencje do komunikowania się z chirurgiem za pomocą wydrukowanego w 3D prototypu serca. Kwestionariusz zawierał pytania dotyczące wpływu modelu 3D na zrozumienie planu chirurgicznego oraz stanu pacjenta, preferencji dotyczących używania modelu wydrukowanego w 3D w przyszłych konsultacjach oraz ogólnego poziomu zadowolenia z rozmowy przedoperacyjnej. Wyniki wahały się od 1 do 10 punktów; jeden punkt wskazywał, że model był beзуżyteczny, a dziesięć punktów wskazywało, że model był bardzo przydatny. Pacjenci wysoko ocenili rolę modelu 3D w rozmowach przedoperacyjnych, a wynik komunikacji wyniósł  $9,11 \pm 0,38$  punktu. Wydrukowany w 3D prototyp serca do zilustrowania



anomalii serca i strategii chirurgicznej uzyskał zadowalające wyniki. ponadto było to również bardzo pomocne dla pacjentów i członków rodziny (Hong-Chang i in. 2018).

## 7. WNIOSKI

Upowszechnienie technologii biodruku w praktyce lekarskiej wpłynie pozytywnie na proces planowaniu interwencji chirurgicznych, szczególnie w przypadku patologii cechujących się wysokim zróżnicowaniem osobniczym. Korzyści odniosą również studenci medycyny oraz stażyści i osoby wybierające specjalizację z chirurgii. Udowodniono, że użycie modeli 3D pozwala na lepsze zrozumienie omawianego tematu i zastosowanie tej wiedzy w praktyce. Biodruk 3D może usprawnić również komunikację lekarza z pacjentem. Technologia ta została oceniana jako pomocna w zrozumieniu planu chirurgicznego oraz stanu pacjenta. Pacjenci preferują konsultacje podczas których używa się modelu wydrukowanego w 3D. Odnotowano również wzrost ogólnego poziomu zadowolenia z rozmowy przedoperacyjnej. Z przeprowadzonej analizy wynika, że trójwymiarowe modele serca ludzkiego wykonane w technologii biodruku znajdują zastosowanie w dziedzinach takich jak: planowanie interwencji kardiochirurgicznych, symulacje operacji, komunikacja z pacjentem i jego przed- i pooperacyjna edukacja, a także szkolenia medyczne dla studentów i lekarzy.

Istnieją również obszary dla poprawy biodruku 3D. Podstawową barierą na drodze do jeszcze bardziej realistycznych modeli serca jest ograniczony wybór materiałów, które posiadają elastyczne właściwości podobne do tkanki ludzkiej. Uzyskanie realistycznego modeli pozwalałoby na wykonanie symulacji chirurgicznej najbardziej zbliżonej do praktyki, obejmującej cięcie i szycie struktur serca. Właściwości mechaniczne opracowanych dotychczas materiałów nadal różnią się od biologicznych tkanek serca. Drukarki 3D mogą generować jedynie statyczny model serca. Najodpowiedniejszym byłby model dynamiczny. Pozwoliłby on na ocenę cech serca podczas cyklu skurczu i rozkurczu. Przyszły rozwój technologii druku powinien mieć na celu stworzenie drukowanych w 3D dynamicznych modeli serca, które umożliwiają wykrywanie zarówno zmian anatomicznych, jak i fizjologicznych podczas cyklu sercowego. Ponieważ drukowanie 3D wciąż się rozwija, a edukacja oparta na symulacji staje się coraz szerzej wykorzystywana, oczekuje się, że ta nowatorska technologia będzie miała szerokie zastosowanie w medycynie.

## PODSUMOWANIE

Trójwymiarowe modele serca stworzone w technologii biodruku znajdują zastosowanie w planowaniu przedoperacyjnym w przypadku wielu rodzajów interwencji kardiologicznych: zamknięcie ubytków przegrody, rekonstrukcja łuku aorty i procedura przełączania tętnic. Zapewniają również pomoc w edukacji medycznej dla studentów oraz lekarzy w trakcie specjalizacji. Użycie modeli serca 3D usprawnia komunikację pomiędzy lekarzem a pacjentem oraz wpływa na lepsze zrozumienie stanu zdrowia pacjenta.

## BIBLIOGRAFIA

- Biglino G, Capelli C, Wray J  
 2015a *3D-manufactured patient-specific models of congenital heart defects for communication in clinical practice: feasibility and acceptability*, BMJ Open.
- Biglino G., Capelli C., Leaver L.K., Schievano S., Taylor A.M.  
 2015b *Involving patients, families and medical staff in the evaluation of 3D printing models of congenital heart disease*. Communication & Medicine, 12.
- Bon Kang G., Dong Jin C., Sang Jun P., Young-Jin K., Chun-Ho K.  
 2016 *Three-dimensional printing: basic principles and applications in medicine and radiology*. Korean journal of radiology, 17(2).
- Bon Kang G., Dong Jin C., Sang Jun P., Young-Jin K., Chun-Ho K.  
 2018 *3D bioprinting technologies for tissue engineering applications*. Advances in Experimental Medicine and Biology, 1078.
- Cetnar A., Tomov M., Theus A., Lima B., Vaidya A., Serpooshan V.  
 2019 *3D bioprinting in clinical cardiovascular medicine*. In 3D Bioprinting in Medicine (pp. 149-162). Springer, Cham.
- Dankowski R., Baszko A., Sutherland M., Firek L., Kałmucki P. in.  
 2014 *3D heart model printing for preparation of percutaneous structural interventions: description of the technology and case report*. Kardiologia Polska (Polish Heart Journal), 72(6).

- Hong-Chang G., Yang W., Jiang D., Chang-Wei R., Jin-Hua L. i in.  
2018 *Application of 3D printing in the surgical planning of hypertrophic obstructive cardiomyopathy and physician-patient communication: a preliminary study.* Journal of thoracic disease, 10(2).
- Karsenty C., Guitarte A., Dulac Y.  
2021 *The usefulness of 3D printed heart models for medical student education in congenital heart disease.* BMC Med Educ 21.
- Mandrycky C., Wang Z., Kim K., Kim D.H.  
2016 *3D bioprinting for engineering complex tissues.* Biotechnology Advances 34(4).
- Morris S.  
2018 *Future of 3D printing: How 3D bioprinting technology can revolutionize healthcare?.* Birth Defects Research, 110(13).
- Smerling J., Marboe C.C., Lefkowitz J.H.  
2019 *Utility of 3D Printed Cardiac Models for Medical Student Education in Congenital Heart Disease: Across a Spectrum of Disease Severity.* Pediatr Cardiol, 40.
- Sun Z., Lau I., Wong Y.H., Yeong C.H.  
2019 *Personalized Three-Dimensional Printed Models in Congenital Heart Disease.* Journal of Clinical Medicine, 8(4).
- Valverde I.  
2017 *Three-dimensional Printed Cardiac Models: Applications in the Field of Medical Education, Cardiovascular Surgery, and Structural Heart Interventions, Revista Española de Cardiología (English Edition),*70(4).
- Wei S., Yunbin X., Siping H., Peng H., Xicheng D.  
2018 *Three-dimensional printing models in congenital heart disease education for medical students: a controlled comparative study.* BMC Med Educ 18.
- Yoo, S.J., Giannopoulos, A., Mitsouras, D.  
2016 *Applications of 3D printing in cardiovascular diseases.* Nat Rev Cardiol, 13.
- Yoo S.J., Thabit O., Kim E.K.  
2016 *3D printing in medicine of congenital heart diseases.* 3D Print Med 2, 3.

Zhang Y. S., Yue K., Aleman J., Mollazadeh-Moghaddam K., i in.  
2017 *3D bioprinting for tissue and organ fabrication*. Annals of biomedical engineering, 45(1).

## PRACTICAL APPLICATION OF THREE-DIMENSIONAL HEART MODELS MADE IN BIOPRINTING TECHNOLOGY

**Abstract:** The aim of this article is to present the current application of three-dimensional heart models made with the use of 3D printing technology in planning surgical interventions, communication between doctors and patients, in pre- and post-operative patient education and in medical training. The aim of the work is to assess the role of three-dimensional models and the benefits of their use in these areas. Bioprinting is a branch of tissue engineering that deals with building three-dimensional structures, usually containing biological cells. Currently, 3D bio-printing allows you to visualize complex cardiac pathologies in an understandable and transparent way. This contributes to a better understanding of a given heart pathology, both in the case of the patient and medical specialists. Medical students are another group that may benefit from bio-printing. In the future, bioprint may find application in transplantology and enable the printing of personalized organs in laboratory conditions. Due to the numerous possibilities of using three-dimensional biodegradation, it is important to disseminate knowledge about it.

**Keywords:** artificial heart, threedimensional bioprinting, planning of surgical interventions, patient education



# ROBOT MEDYCZNY ROBIN HEART – OD PROTOTYPU DO INNOWACJI W KARDIOCHIRURGII

**Streszczenie:** Praca przeglądowa przedstawia rozwój rodziny robotów chirurgicznych Robin Heart (RiH). Celem artykułu jest porównanie funkcjonalności poszczególnych prototypów oraz modeli na podstawie przeglądu literatury. Praca opisuje modele: RiH 0, RiH 1, RiH 2, RiH 3, RiH Vision, RiH mc2, RiH PortVisionAble i RiH Tele, RiH 8. Temat robotyki medycznej jest szczególnie aktualny, ze względu na intensywny rozwój tej dziedziny na przestrzeni ostatnich 30 lat oraz możliwości, jakie otwiera przed lekarzami wielu specjalizacji. Polska rodzina robotów RiH może ułatwić przeprowadzanie operacji kardiochirurgicznych oraz z powodzeniem konkurować z robotem Da Vinci. Robin Heart Vision ma być pierwszym robotem, który zostanie wprowadzony na rynek i znajdzie zastosowanie w salach operacyjnych.

**Słowa kluczowe:** Robin Heart, robotyka medyczna, kardiochirurgia

## 1. WPROWADZENIE

W ostatnich dekadach nastąpił intensywny rozwój robotyki, w tym robotów medycznych. Obiecujące wyniki zwiastują intensywny rozwój tej dziedziny i są zapowiedzią innowacyjnych rozwiązań w praktyce lekarskiej. Z możliwości robotów medycznych korzystają lekarze licznych specjalizacji: chirurgii ogólnej i onkologicznej, ginekologii, urologii transplantologii (Zdrojewicz i in. 2014). Obecnie do najczęściej wykorzystywanych robotów medycznych należą telemanipulatory kontrolowane przez lekarzy. Główną ich zaletą jest precyzja, powtarzalność, możliwość standaryzacji oraz multiplikacji czynności

---

<sup>1</sup> Kolegium Nauk Medycznych, Uniwersytet Rzeszowski

na wiele pacjentów i działania na odległość w ramach wykonywanych usług medycznych. Trwają prace nad polską rodziną robotów Robin Heart (RiH). Projekt zainicjował i prowadzi Zbigniew Nawrat. Finansowanie projektu opierało się na środkach pochodzących z grantów Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, z funduszy własnych Fundacji Rozwoju Kardiologii (FRK) oraz uzyskanych od sponsorów. Kierownikiem pierwszego grantu był prof. Zbigniew Religa (Nawrat 2011). Istnieje zapotrzebowanie na roboty kardiologiczne, pozwalające na przeprowadzenie operacji endoskopowych w zakresie pomostowania aortalno-wieńcowego lub chirurgii wad zastawkowych serca. Praca przeglądowa przedstawia rozwój rodziny robotów chirurgicznych Robin Heart. Celem artykułu jest porównanie funkcjonalności poszczególnych prototypów oraz modeli na podstawie przeglądu literatury. Praca opisuje modele: Robin Heart 0, Robin Heart 1, Robin Heart 2, Robin Heart 3, Robin Heart Vision, Robin Heart mc2, Robin Heart PortVisionAble i Robin Heart Tele, Robin Heart 8. Polska rodzina robotów Robin Heart może ułatwić przeprowadzanie operacji kardiologicznych oraz z powodzeniem konkurować z robotem Da Vinci. Robin Heart Vision ma być pierwszym robotem, który zostanie wprowadzony na rynek i znajdzie zastosowanie w salach operacyjnych. Celem pracy jest przedstawienie historii powstania rodziny RiH, opisanie dotychczasowych efektów oraz perspektyw wdrożenia w praktyce lekarskiej. W niniejszej pracy postawiono następującą hipotezę: rodzina robotów Robin Heart oferuje innowacyjne rozwiązania w dziedzinie kardiologii. Artykuł przygotowano z wykorzystaniem metody przeglądu literatury, korzystając z internetowej bazy danych Google Scholar.

## 2. CEL POWSTANIA RIH

Projekt robota RiH (RiH) powstał jako odpowiedź na potrzebę wprowadzenia w pełni funkcjonalnego narzędzia do małoinwazyjnych operacji na sercu (Nawrat 2008). Narzędzie to zwiększyłoby precyzję operacji endoskopowych, pozwalając wykonać pomostowanie aortalno-wieńcowe (ang. *coronary artery bypass grafting*, CABG) lub chirurgię zastawek serca. Automatyzacja procesów związanych z przeprowadzaniem interwencji medycznych pozwala wyeliminować czynniki ryzyka, takie jak błąd ludzki. Ze względu na charakter pracy lekarza chirurga, szczególnie istotne jest tworzenie komfortowych warunków pracy, co umożliwi dłuższą i efektywniejszą pracę. Staje się to możliwe dzięki robotom chirurgicznym, nowoczesnym narzędziom mechatronicznym i nowoczesnym metodom planowania operacji. Wprowadzenie robotów

chirurgicznych umożliwia standaryzację wykonywania zabiegów chirurgicznych. Dzięki zastosowaniu robotów i związanego z nimi oprogramowania możliwe jest skorygowanie ruchu, przeskalowanie oraz zniwelowanie drżenia. Pozwala to na wprowadzenie podstawowych obowiązujących standardów. Roboty medyczne oferują nowe standardy oraz możliwości leczenia: zwiększają skuteczność, powtarzalność (standaryzacja) i zmniejszenie inwazyjności zabiegów chirurgicznych. Telemanipulatory chirurgiczne (endoskopowy system wideo i narzędzia) czasami jedyna szansa dla wielu pacjentów na wykonanie niezwykle precyzyjnych i bezpiecznych operacji. Zastosowanie robotów kardiochirurgicznych wiąże się z licznymi korzyściami: zapewnia niezawodne oraz powtarzalne wyniki operacyjne, zmniejsza ból pacjenta i skraca czas rekonwalescencji (Nawrat i in. 2003, Chuchnowska 2003b, Biradar 2013).

Ergonomia jest najistotniejszym z wymagań stawianym manipulatorom głównym. Zapewnia ona intuicyjne sterowanie robotem. Istnieje kilka podejść do sterowania robotem w chirurgii laparoskopowej. Nie uwzględniają one jednak faktu, że narzędzie laparoskopowe znajduje się w ciele pacjenta i nie jest obserwowane bezpośrednio przez chirurga, ale za pomocą kamery laparoskopowej, której położenie i orientacja może się zmieniać. Wyeliminowanie nieintuicyjnej kontroli nad tradycyjnymi narzędziami laparoskopowymi powinno być jedną z największych zalet korzystania z robotów chirurgicznych w porównaniu z konwencjonalnymi operacjami (Chuchnowska 2003a, Nawrat, Kostka, Małota 2011).

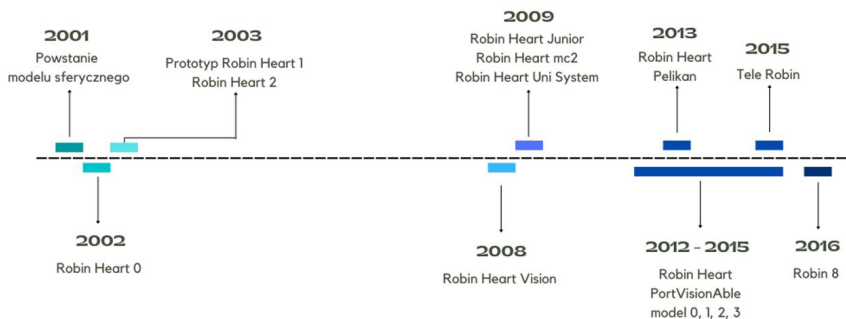
Wprowadzenie na rynek polskiego robota RiH może dawać wielokrotnie tańszą alternatywę dla istniejących rozwiązań tego typu. Aktualnie z pomocą robota Da Vinci, który jest obecnie najpopularniejszym robotem medycznym, na całym świecie co roku wykonywanych jest 600 tys. operacji. Większość z nich to zabiegi ginekologiczne i urologiczne. W porównaniu z metodami klasycznymi, operacje kardiochirurgiczne przeprowadzane przy pomocy robotów Da Vinci nie przekładają się na znacząco lepsze efekty. Przyczyną jest sposób przestrzennego zobrazowania i możliwości tych robotów. RiH może pokonać te ograniczenia i zaproponować innowacyjne rozwiązania dla zidentyfikowanych problemów. Konstrukcja obu robotów jest podobna, oba mają kinematykę sferyczną ze środkiem kuli znajdującym się poza mechanizmem. Różnią się one budową głównych manipulatorów i sposobem sterowania, co wpływa na precyzję podczas przeprowadzania operacji kardiologicznych (Nawrat i in. 2003, Nawrat i in. 2019).



### 3. HISTORIA PROJEKTU

Rodzina robotów medycznych RiH powstała w Fundacji Rozwoju Kardiologii im. Prof. Zbigniewa Religi w Zabrze. W ramach projektu nawiązano współpracę ze specjalistami z kilku ośrodków akademickich i przedsiębiorstw. W latach 2000-2003 powstały trzy pierwsze modele robotów rodziny RiH. RiH 0, RiH 1 i RiH 2 różnią się między sobą m.in. technologią sterowania i mocowania (Podsędkowski 2003). RiH Vision powstawał w latach 2007-2008. Jego zastosowanie obejmuje sterowanie położeniem endoskopowego toru wizyjnego. W 2009 roku powstał RiH mc2. Oferował on możliwość precyzyjnego działania w małym obszarze pola operacji. Powstała również ergonomiczna konsola RiH Shell pozwalająca na sterowanie robotem. Kolejną z innowacji są narzędzia mechatroniczne systemu RiH Uni. Mogą być mocowane na ramieniu robota lub w specjalnym uchwycie ręcznym (Nawrat, 2012a). Kolejne lata (2011-2016) przyniosły powstanie robota toru wizyjnego RiH PortVisionAble i RiH Tele. Efektem prac zespołu Robin Heart Team jest licząca już prawie 10 prototypów i modeli polska rodzina robotów RiH. RiH Vision ma być pierwszym robotem, który zostanie wprowadzony na rynek i znajdzie zastosowanie w salach operacyjnych (Nawrat i in. 2016). Chronologia powstania poszczególnych modeli przedstawiona jest na rysunku (patrz Rys.1.).

**Rysunek 1.** Rodzina robotów RiH – chronologia powstania modeli.



Opracowanie własne na podstawie: Nawrat, Z. *RiH surgical robot: Description and future challenges*. In Control Systems Design of Bio-Robotics and Bio-mechatronics with Advanced Applications (pp. 75-113). Academic Press. 2020

#### 4. ROBOTY MEDYCZNE RiH 0 (2002), 1 (2003), 2 (2003), 3 (2007)

Robot kardiochirurgiczny Robin Heart jest manipulatorem kopiującym. Zbudowany jest z dwóch lub więcej ramion narzędziowych, jednego ramienia trzymającego kamerę oraz układu ruchu i sterowania. Poprzez sterowanie ruchem końcówki roboczej narzędzia przymocowanego do ramienia wykonywane są poszczególne zadania w ramach zabiegu chirurgicznego. Mechanizm jest osiągnięty kinematycznie za pomocą mechanizmu typu zdalnego centrum ruchu (ang. *Remote Center of Motion*, RCM) umożliwia realizację mechanicznie ustalonej stałopunktowości robota (Nawrat i in. 2010). Ramię RiH 1 ma konstrukcję sferyczną, której punkt środkowy jest przesunięty na zewnątrz mechanizmu. Podczas zabiegu ramię jest ułożone w taki sposób, aby środek kuli pokrywał się z otworem w ciele pacjenta. Ramię zostało zaprojektowane do montażu na niezależnej kolumnie, stojącej obok stołu operacyjnego. Za prace projektowe i konstrukcyjne odpowiednio odpowiadali, w latach 2000-2009: mechanika – zespół prowadzony przez Leszka Podśkowskiego (RiH 0, 1) i Krzysztofa Mianowskiego (RiH 2) (Malota i in. 2002, Nawrat i in. 2003b, Nawrat i in. 2004). W 2007 roku w ramach zleconego projektu badawczego stworzono RiH 3 (RH3) z wymiennymi narzędziami chirurgicznymi. Kinematyka i podstawowe parametry konstrukcyjne tych ramion były zbliżone do tych z RiH 1. Ramiona i narzędzia zostały zaprojektowane i wykonane w Instytucie Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej. Dalsze badania dotyczyły zmniejszenia przestrzeni kolizyjnej manipulatora oraz stworzenia układu sprzężenia zwrotnego siły na narzędziu (Podśkowski 2005).

Po udanej operacji chirurgicznej świni przeprowadzonej w 2009 roku przez zestaw polskich robotów RiH 1, zespół naukowy Instytutu Obrabiarek i Inżynierii Produkcji Politechniki Łódzkiej postanowił skoncentrować się na nowych aspektach funkcjonalności robota. Jednym z nich była uproszczona procedura wymiany narzędzi. Dotychczas zarówno robot RiH, jak i robot Da Vinci, potrzebowały około 2 minut, aby wykonać taką akcję. W poprzedniej wersji RiH 1 wymagane było odłączenie całego nadgarstka narzędzia zintegrowanego z tuleją podłączony do jednostki napędowej. Podczas cyklu wymiany narzędzia, trzeba było opuścić ciało pacjenta, wykonać demontaż narzędzia, pozyskać nowe, zamontować go na robocie i wsunąć z powrotem w ciało pacjenta. Podczas 2-godzinnej operacji chirurgicznej procedura wymiany narzędzi może powtórzyć się ponad 50 razy. Skutkuje to wydłużeniem

czasu operacji o 30-50 minut, czyli o około 25-40%. Procedura wymaga również aktywności ze strony asystenta operacyjnego, którego biegłość wpływa również na czas zmiany narzędzia. Dzięki opracowaniu nowego zestawu efektorów końcowych możliwości polskiego robota RiH o kolejną innowacyjną cechę. Możliwość tej nie ma robot da Vinci, który w tej chwili jako jedyny wykonuje operacje serca. Stworzono również zautomatyzowany magazynu efektorów końcowych wykorzystywanego do wymiany narzędzi podczas operacji (Nawrat 2008, Podseńkowski 2009, Kobierska 2012, Nawrat i in. 2013).

## 5. RIH VISION (2008)

W 2007 roku w ramach zleconego projektu badawczego stworzono dwa dodatkowe ramiona: RiH Vision (RiH Vision) przeznaczone do podtrzymywania kamery laparoskopowej. Jest to najprostszy, jednoramienny robot należący do rodziny RiH, sterowany pilotem. Został opracowany na podstawie projektu RiH 1. Waży kilka kilogramów i mieści się w walizce. Jego podstawową funkcją jest trzymanie toru wizyjnego stole operacyjnym może zastąpić asystenta, który trzyma tor wizyjny i przesuwa kamerę w miejsce operacji podczas gdy chirurg używa klasycznych narzędzi laparoskopowych. Jest przygotowany do wdrożenia klinicznego (Nawrat i in. 2016). Posiada następujące parametry: – ramię o kinematyce sferycznej o 4 stopniach swobody i zakresach przemieszczeń 187°, 117°, 340° oraz 400 mm (całkowity ruch), 165 mm (efektywny ruch w polu operacji), – dokładność pozycjonowania końcówki ramienia nie gorsza niż 0,1 mm. Robot nie został wdrożony, ze względu na upadek przedsiębiorstwa, które miało podjąć się produkcji i wprowadzenia go na rynek. Model ten powstał w zespole: mechanicy Krzysztof Lis, Krzysztof Lechrich, Łukasz Mucha, elektronika i oprogramowanie pod kierunkiem Kamila Rohra (Nawrat i in. 2008, Nawrat 2010).

## 6. RIH MC2 ORAZ NARZĘDZIE MECHATRONICZNE RIH UNI SYSTEM (2009)

To największy do tej pory robot z rodziny RiH – sterowany przez jednego operatora – zastępuje trzy osoby przy stole operacyjnym: chirurga asystującego (dwa narzędzia), operator toru wizyjnego (endoskop) oraz głównego chirurga (dwa narzędzia chirurgiczne). Po raz pierwszy wprowadzono w nim platformę narzędziową, w postaci pełnego mini robota chirurgicznego. Został on zamontowany na jednym ramieniu robota. Dzięki temu niektóre operacje

zamiast 3 chirurgów, może wykonywać jeden specjalista podpięty do konsoli RiH Shell, za pomocą której steruje się całym urządzeniem. Dodatkowy ekran dotykowy konsoli umożliwi zmianę parametrów sterowania: usunięcie drżenia oraz przeskalowanie ruchu. Za prace projektowe i konstrukcyjne odpowiadał Marek Ciembroniewicz, natomiast oprogramowanie wykonał Paweł Kostka. W tym samym roku, co RiH mc2 (2009) powstała również wersja dydaktyczna - RiH Junior (Podsekowski 2014, Nawrat i in. 2016).

W styczniu 2009 r. na modelu zwierzęcym (świniach) wykonano pierwsze eksperymentalne operacje robotami systemu RiH mc2. Przeprowadzono operację laparoskopową usunięcia woreczka żółciowego oraz elementy operacji naprawczych zastawki mitralnej i trójdzielnej (Nawrat 2011). W maju 2010 r. przeprowadzono pierwszy eksperyment RiH mc2 na modelu zwierzęcym - przeprowadzono operację wszczepienia pomostowania aortalno-wieńcowego u świni (Nawrat 2012).

## 7. ROBIN HEART PORTVISIONABLE MODEL 0, 1, 2, 3 (2012-2015)

W 2012 r. podjęto działania projektowe nowego robota. W projekcie wykorzystano odmienne założenia konstrukcyjne i technologiczne. Prowadzone są prace nad lekkim, przenośnym robotem toru wizyjnego o nazwie RiH PortVisionAble, który charakteryzuje się następującymi parametrami: ramię o kinematyce sferycznej o 4 stopniach swobody i zakresach przemieszczeń 120°, 160°, 270° i 150 mm; rozdzielczość pozycjonowania końcówki ramienia: nie mniej niż 0,5 mm. Funkcje systemu: możliwość zamocowania endoskopów wybranych w czasie realizacji projektu producentów oraz manualne sterowanie położenia kamery.

Dzięki wykorzystaniu robota RiH PortVisionAble chirurg uzyskuje lekkie, przenośne zrobotyzowane stanowisko sterowania położeniem kamery endoskopowej. Możliwe staje się również wykorzystanie osiągnięć telemedycyny. Realizacja zadania wykonania robota z jednej strony odpowiednio precyzyjnego, z drugiej zaś w sposób łatwy przenoszonego i montowanego w typowych warunkach sali operacyjnej jest przede wszystkim wyzwaniem technologicznym i konstrukcyjnym. RiH PortVisionAble będzie oferowany wraz z systemem telemedycznym do przesyłania obrazu na odległość i możliwość uczestniczenia w operacji doradcy i uczniów przebywających w znacznej odległości od sali operacyjnej (Lis i in. 2014).

## 8. ROBIN HEART PELIKAN (2013)

RiH Pelikan to manipulator dedykowany dla operacji laparoskopowych przeznaczony dla toru wizyjnego. Jego zadaniem jest podtrzymywanie oraz manipulacja kamerą endoskopową, umożliwiającą obserwację pola operacyjnego. Chirurg prowadzący operację laparoskopową steruje położeniem robota, a co za tym idzie, wpływa na orientację kamery oraz obrazu wyświetlanego na ekranie monitora. Istotnymi funkcjonalnościami robota są: możliwość montażu do stołu operacyjnego, pozwalająca na łatwiejsze uzyskanie właściwego położenia podczas zmiany pozycji stołu operacyjnego oraz mała waga. W związku z tym, iż nośność standardowego stołu operacyjnego jest mała w miejscach umożliwiających mocowanie manipulatora, jego masa musiała zostać mocno ograniczona. Manipulator jest urządzeniem mobilnym i możliwy jest jego transport w poręcznej walizce. Posiada modułową konstrukcję, umożliwiającą łatwy i szybki montaż oraz serwis manipulatora (Nawrat i in. 2016b).

W celu minimalizacji masy część elementów konstrukcyjnych manipulatora wykonano metodą wydruku 3D z materiału będącego mieszanką tworzywa ABS oraz poliwęglanu (PC) (ang. *polycarbonate and acrylonitrile butadiene styrene*, PC/ABS). Elementy nośne wykonano w postaci nierozłącznie połączonych przegubów ze stopu aluminium i rurek kompozytowych z włókna węglowego. Model ten powstał w zespole: mechanicy Krzysztof Lis, Krzysztof Lechrich, Łukasz Mucha, elektronika i oprogramowanie pod kierunkiem Kamila Rohra (Mucha i in. 2016).

## 9. TELEROBIN (2015)

RiH Tele to innowacyjny telemanipulator pracujący w systemie Master-Slave. Został skonstruowany z lekkich materiałów. Posiada zautomatyzowaną mikro-platformę dwóch narzędzi wykonawczych i toru wizyjnego. Systemem sterowania RiH Tele dysponuje torem pomiarowym dla badań opóźnień, precyzji i warunków bezpieczeństwa podczas zdalnych telemanipulacji na duże i małe odległości. Platforma odwzorowująca pełny system 2+1 (2 narzędzia + tor kamery obrazowej). Istnieje możliwość zastąpienia toru wizyjnego przez narzędzie w przypadku zabiegów, gdzie nie jest on wymagany.

Podczas zrobotyzowanej operacji zakładana jest na główne ramię telemanipulatora zamiennie z pojedynczym narzędziem lub częścią optyczną toru wizyjnego. Podczas etapu prototypowania wyłoniono kilka wersji, spośród których kilka zakończonych projektem CAD zostało porównanych. Brano

pod uwagę m.in. zakres pracy i zasięg mikroramion, wagę platformy, użyte mikronapędy. Jako efekt optymalizacji wykonany został prototyp platformy złożonej z trzech ramion o 4 stopniach swobody.

Zasadniczą zaletą wynalazku jest znaczne zwiększenie funkcjonalności pojedynczego ramienia wsporcze roboty chirurgicznego z jednoczesnym wyeliminowaniem wzajemnej kolizyjności zespołu ramion narzędziowych. Zachowano małą wagę całego zespołu ramion narzędziowych oraz dodatkowo zapewniono duży zakres ruchu każdego ramienia narzędziowego oraz zamocowanych na nich instrumentów chirurgicznych. Funkcjonalność urządzenia zostaje zwiększona poprzez możliwość stosowania większej ilości narzędzi w tym samym czasie. Są one mocowane są bezpośrednio na przyrządzie. Zwiększony zostaje również zakres ruchu – pracy dla każdego narzędzia oraz możliwość wstępnego usytuowania-ustawienia narzędzia – położenia punktu stałego na ciele pacjenta dla każdego z narzędzi indywidualnie bez konieczności zmiany położenia robota względem pacjenta. RiH Tele przeznaczony jest do wykonywania małoinwazyjnych zabiegów chirurgicznych za pomocą narzędzi wsuwanych przez naturalne lub specjalnie wykonywane otwory w powłokach ciała pacjenta. Znajdzie zastosowanie również w innych zabiegach medycznych wymagających znacznej precyzji i telemanipulacji, czyli sterowania na odległość funkcjami wykonawczymi narzędzi (Nawrat i in. 2016, Radó i in. 2018).

Robot RiH Tele był wykonany w Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii im. prof. Zbigniewa Religi (FRK) w ramach projektu „TeleRobinSurgery – opracowanie i badania nowych rozwiązań technicznych dla zdalnie sterowanych operacji chirurgicznych za pomocą robotów RiH”. PBS1/A3/2/2012 kierowanego przez dr inż. Pawła Kostkę. Projekt, wykonanie, wdrożenie robota było realizowane przez zespół Robin Heart Team Pracowni Biocybernetyki FRK kierowany przez Zbigniewa Nawrata, za część mechaniczną odpowiadali Krzysztof Lis, Krzysztof Lehrich, Łukasz Mucha (Nawrat, Krawczyk 2019).

## 10. ROBIN 8 (2016)

RiH 8 został opracowany jako zrobotyzowany tester robotów i narzędzi chirurgicznych, symulujący każdy kontakt z tkanką (fizyka tkanki) oraz wszelkie zakładane ograniczenia przestrzeni roboczej. Obecnie, ze względu na swoje właściwości kinematyczne, umożliwiające pełną swobodę wyboru trajektorii, jest uważany za robota potencjalnie przydatnego w okulistyce (Nawrat 2020).

## PODSUMOWANIE

Innowacyjne rozwiązania zastosowane w robotach Robin Heart umożliwiają osiągnięcie bardziej ergonomicznego stanowiska pracy lekarza chirurga. Technologie, takie jak: intuicyjne sterowanie położeniem endoskopowego toru wizyjnego, narzędzia mechatroniczne systemu RiH Uni i uproszczona procedura ich wymiany mają znaczący wpływ na skrócenie czasu operacji. Dzięki wbudowanemu ekranowi dotykowemu konsola RiH Shell umożliwia zmianę parametrów sterowania: usunięcie drżenia oraz przeskalowanie ruchu. W modelu RiH Pelikan wyeliminowano wzajemną kolizyjność zespołu ramion narzędziowych, dzięki czemu możliwe jest stosowanie większej ilości narzędzi w tym samym czasie. Dzięki zastosowanej technologii możliwe będzie przeprowadzenie kardiochirurgicznych operacji endoskopowych, m.in. pomostowania aortalno wieńcowego lub chirurgii zastawek. Wymienione cechy robotów z rodziny Robin Heart to innowacyjne rozwiązania w dziedzinie kardiochirurgii.

Robot Robin Heart jest gotowy do wprowadzenia na rynek, jako polska, wielokrotnie tańsza alternatywa dla robota Da Vinci. Trwają poszukiwania producenta dla robota toru wizyjnego RiH PortVisionAble. Kolejnym etapem, po wprowadzeniu RiH PortVisionAble do sali operacyjnej, jest powrót do multizestawowego robota RiH mc2 i narzędzi mechatronicznych. Pozytywne wyniki badań eksperymentalnych na modelu zwierzęcym potwierdziły skuteczność opracowanych robotów medycznych urządzeń i narzędzi mechatronicznych. RiH może stanowić przełom w technice wykonywania operacji małoinwazyjnych.

## BIBLIOGRAFIA

Biradar P. G., Rekha S. M.

2013 *Robin Heart (A surgeon without hand tremor)*. In National Conference on Challenges in Research & Technology in the Coming Decades (CRT 2013) (pp. 1-5). IET.

Chuchnowska, I.

2003 *Roboty kardiochirurgiczne-nadzieje i problemy*. Zeszyty Naukowe Katedry Mechaniki Stosowanej/Politechnika Śląska, 22.

2003 *Some problems of heart telesurgery*. Zeszyty Naukowe Katedry Mechaniki Stosowanej/Politechnika Śląska, 21.

- Kobierska A., Podsędkowski L., Wróblewski P., Zawiasa P.  
2012 *Nowe mechaniczne rozwiązania systemu narzędziowego robota Robin Heart*. Mechanik, 85(12).
- Lis K., Lehrich K., Mucha Ł., Nawrat Z.  
2016 *Lekki manipulator toru wizyjnego Pelikan*, Acta Bio-Optica et Informatica Medica. Inżynieria Biomedyczna, 22(3).
- Lis K., Lehrich K., Mucha Ł., Rohr K., Nawrat Z.  
2014 *Robin Heart PortVisionAble–projekt, konstrukcja i wstępne badania*. Medical Robotics Reports, 3.
- Malota Z., Granosiks G., Jezierski E., Wróblewska A., Religa Z.  
2002 *Robin Heart in 2002-Actual State of Polish Cardio-Robot* Proceedings of the Third International Workshop on Robot Motion and Control.
- Nawrat, Z.  
2010 *The Robin Heart robot – research report*. Kardiologia i Torakochirurgia Polska/Polish Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery, 8(1).  
2011 *Pierwszy eksperyment in vivo robota chirurgicznego Robin Heart mc-2-raport*. Pomiar Automatyka Robotyka, 15.  
2012 *The Robin Heart story*. Medical Robotics Reports, 1.  
2012 *State of the art in medical robotics in Poland: development of the Robin Heart and other robots*. Expert review of medical devices, 9(4).  
2020 *Robin Heart surgical robot: Description and future challenges*. In Control Systems Design of Bio-Robotics and Bio-mechatronics with Advanced Applications (pp. 75-113). Academic Press.
- Nawrat Z., Dybka W., Kostka P., Rohr K.  
2008 *Konsola sterowania robotem chirurgicznym Robin Heart*. Pomiar Automatyka Robotyka, 12.
- Nawrat Z., Kostka P.  
2008 *Robin Heart-Perspectives of application of mini invasive tools in cardiac surgery*. Medical Robotics.  
2012 *Robin Heart: przygotowania do debiutu klinicznego*. Pomiar Automatyka Robotyka, 16.
- Nawrat, Z., Kostka, P., Dybka, W., Rohr, K.  
2008 *Nowatorskie półautomatyczne narzędzia laparoskopowe Robin Heart Uni Tools*. Pomiar Automatyka Robotyka, 12.



- Nawrat Z., Kostka P., Dybka W., Rohr K., Podsędkowski L., Śliwka J. i in.  
2010 *Pierwsze eksperymenty na zwierzętach robota chirurgicznego Robin Heart*. Pomiary Automatyka Robotyka, 14(2).
- Nawrat Z., Kostka P., Małota Z.  
2011 *Ergonomiczne stanowisko operatora robota chirurgicznego Robin Heart - prace projektowe, konstrukcyjne i badawcze 2009-2010*. Pomiary Automatyka Robotyka, 15(2).
- Nawrat Z., Kostka P., Mianowski K., Małota Z., Kandora A.  
2004 *Interfejs mechaniczny użytkownika robota kardiochirurgicznego*. Pomiary Automatyka Robotyka, 7(1).
- Nawrat Z., Kostka P., Podsędkowski L., Mianowski K., Wróblewski P. i in.  
2004 *0, 1 & 2: three Robin Heart prototypes comparison and tests results*. Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania, 45(8-9).
- Nawrat Z., Krawczyk D.  
2019 *Robin Heart czyli jak pokonać odległość i wykorzystać człowieka jako element układu sterowania telemanipulatora*. Medical Robotics Reports, 8.
- Nawrat Z., Lis K., Lehrich K., Rohr K., Furjesb P., Ducso C.  
2016 *Sterowanie robotem Robin Heart Pelikan z zastosowaniem siłowego sprzężenia zwrotnego*. Acta Bio-Optica et Informatica Medica. Inżynieria Biomedyczna, 22(3).
- Nawrat Z., Malota Z., Kostka P., Religa Z.  
2003 *The preplanning and advisory system for Robin Heart-polish telemanipulator for cardiac minimal invasive surgery*. IFAC Proceedings Volumes, 36(15).
- Nawrat Z., Mucha Ł., Lis K., Lehrich K., Rohr K., Kostka P.  
2016 *Robot chirurgiczny Robin Heart Tele - następcą Robin Heart mc2*. Medical Robotics Reports, 5.
- Nawrat Z., Podsędkowski L., Mianowski K., Kostka P., Małota Z. i in.  
2003 *Robin Heart 2003*. Pomiary Automatyka Robotyka, 7(12).
- Nawrat Z., Podsędkowski L., Mianowski K., Wróblewski P., Kostka P. i in.  
2003 *Robln Heart 2003-Present state of the Polish telemanipulator project for cardiac surgery assistance*. The International journal of artificial organs, 26(12).

- Niewola A., Podsędkowski L., Wróblewski P., Zawiasa P., Zawierucha M.  
2013 *Selected aspects of Robin Heart robot control*. Archive of Mechanical Engineering.
- Podsędkowski L.  
2003 *Forward and inverse kinematics of the cardio-surgical robot with non-coincident axis of the wrist*. IFAC Proceedings Volumes 36.  
2005 *Robin Heart 0, 1, and 3—mechanical construction development*. Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, 53(1).
- Podsędkowski R., Moll J., Moll M., Frączczak Ł.  
2014 *Are the surgeon's movements repeatable? An analysis of the feasibility and expediency of implementing support procedures guiding the surgical tools and increasing motion accuracy during the performance of stereotypical movements by the surgeon*. Kardiochirurgia i Torakochirurgia Polska/ Polish Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery, 11(1).
- Podsędkowski L., Żak P.  
2009 *Tests on cardiosurgical robot Robin Heart 3*. In Robot Motion and Control. Springer, London.
- Radó J., Dücső C., Földesy P., Szébenyi G., Nawrat Z., Rohr K., Fürjes P.  
2018 *3D force sensors for laparoscopic surgery tool*. Microsystem Technologies, 24(1).
- Zdrojewicz Z., Witkiewicz W., Dołowiec A., Głód J.  
2014 *Robotyka w medycynie*, Chirurgia Polska, 16(2).

## MEDICAL ROBOT ROBIN HEART - FROM PROTOTYPE TO INNOVATION IN CARDIO SURGERY

**Abstract:** The review presents the development of the Robin Heart family of surgical robots. The aim of the article is to compare the functionality of individual prototypes and models based on a literature review. The work describes the following models: RiH 0, RiH 1, RiH 2, RiH 3, RiH Vision, RiH mc2, RiH PortVisionAble and RiH Tele, RiH 8. The topic of medical robotics is particularly topical due to the intensive development of this field over the last 30 years and the opportunities it opens up for doctors of many specializations. The Polish family of RiH robots can facilitate cardiac surgery and successfully compete with the Da Vinci robot. Robin Heart Vision is to be the first robot to be introduced to the market and will be used in operating theaters.

**Keywords:** Robin Heart, medical robotics, cardiosurgery



# UCZENIE MASZYNOWE Z ZASTOSOWANIEM KONWOLUCYJNYCH SIECI NEURONOWYCH W NEUROHISTOPATOLOGII Z WYKORZYSTANIEM BAZY DIGITAL BRAIN

**Streszczenie:** Celem artykułu jest przedstawienie możliwości konwolucyjnych sieci neuronowych (CSN) w identyfikacji obrazów neurohistopatologicznych. Praca przedstawia również możliwe zastosowania uczenia maszynowego (UM) i CSN w diagnostyce patomorfologicznej. Celem pracy było opracowanie algorytmu sztucznej inteligencji (AI) opartego na UM oraz CSN rozróżniającego pomiędzy obrazami dwóch jednostek chorobowych: mózgowej angiopatii amyloidowej oraz choroby Alzheimerera. Do stworzenia algorytmu wykorzystany został język programowania python oraz TensorFlow – biblioteka programistyczna wykorzystywana do tworzenia głębokich sieci neuronowych. Obrazy wykorzystane w UM pochodzą z bazy Digital Brain, stworzonej przez Instytut Psychiatrii i Neurologii w Warszawie. Ostatnie lata przyniosły intensywny rozwój zagadnień z obszaru AI. UM może usprawnić w przyszłości diagnostykę – skrócić czas oczekiwania na diagnozę oraz zmniejszyć jej koszty.

**Słowa kluczowe:** uczenie maszynowe, neurohistopatologia, konwolucyjne sieci neuronowe, choroby neurodegeneracyjne

---

<sup>1</sup> Kolegium Nauk Medycznych, Uniwersytet Rzeszowski

## 1. WPROWADZENIE

Celem artykułu jest przedstawienie możliwości konwolucyjnych sieci neuronowych (CSN) w identyfikacji obrazów neurohistopatologicznych, na podstawie badań przeprowadzonych przez autora. Praca przedstawia również możliwe zastosowania uczenia maszynowego (UM) i CSN w diagnostyce patomorfologicznej. Celem pracy było opracowanie algorytmu sztucznej inteligencji (AI) opartego na UM oraz CSN rozróżniającego pomiędzy obrazami dwóch jednostek chorobowych: mózgowej angiopatii amyloidowej oraz choroby Alzheimerera. Do stworzenia algorytmu zastosowany został język programowania python oraz TensorFlow – biblioteka programistyczna wykorzystywana do tworzenia głębokich sieci neuronowych. Obrazy wykorzystane w UM pochodzą z bazy Digital Brain, stworzonej przez Instytut Psychiatrii i Neurologii w Warszawie. Ostatnie lata przyniosły intensywny rozwój zagadnień z obszaru AI. UM może usprawnić diagnostykę – skrócić czas oczekiwania na diagnozę oraz zmniejszyć jej koszty. Uczenie maszynowe to jedna z dziedzin sztucznej inteligencji, w której algorytmy rozwiązują problem dzięki dużej ilości danych (Qayyum A., Anwar S. M., Awais M., Majid M. 2017). W dzisiejszych czasach wykorzystanie takich modeli jest coraz bardziej powszechne. Istnieją możliwości zastosowania UM również w medycynie (Albawi S., Mohammed T. A., Al-Zawi S. 2017). Celem pracy jest przedstawienie możliwości, jakie daje zastosowanie uczenia maszynowego w neurohistopatologii i dziedzinach pokrewnych. opisanie dotychczasowych efektów oraz perspektyw wdrożenia w praktyce lekarskiej. W niniejszej pracy postawiono następującą hipotezę: konwolucyjne sieci neuronowe są skuteczne w przypisywaniu obrazów patomorfologicznych do danych kategorii. Uczenie maszynowe (UM) to obszar sztucznej inteligencji poświęcony algorytmom, które poprawiają się automatycznie poprzez doświadczenie, czyli ekspozycję na dane. Algorytmy uczenia maszynowego budują model matematyczny pozwalający na prognozowanie lub podejmowanie decyzji (Komura D., Ishikawa S.

2018, Niazi M., Parwani A. V., Gurcan M. N. 2019). Konwolucyjne sieci neuronowe (CSN) poprzez trening uczą się, jakie cechy szczególne obrazu pomagają w jego klasyfikacji. Operację nałożenia filtra na sygnał nazywamy konwolucją. Po przetworzeniu obrazu za pomocą filtrów, pewne cechy obrazu zostają uwypuklone, co ułatwia ich rozpoznawanie. Jest to tzw. feature extraction – sieć sama znajduje cechy istotne dla przyporządkowania obrazu do danej kategorii. (Li Q., Cai W., Wang X., Zhou Y., Feng D. D., Chen M. 2014) Zarówno mózgową angiopatię amyloidową, jak i chorobę Alzheimerera

zalicza się do grupy chorób zwyrodnieniowych zwanych amyloidopatiami. Choroba Alzheimera (AD) jest chorobą neurodegeneracyjną. Kluczową rolę w jej patogenezie pełni akumulacja amyloidu Ab i białka tau. Występujące w tej chorobie zmiany neuropatologiczne (m.in. płytki neurotyczne i zbitki neurofibrylarne) doprowadzają do utraty neuronów. Mózgowa angiopatia amyloidowa (CAA, cerebral amyloid angiopathy) jest jedną z postaci choroby małych naczyń mózgowych, w której dochodzi do odkładania się białka  $\beta$ -amyloidu w ścianie tętniczek, kapilar i naczyń żylnych zlokalizowanych w korze mózgowej i oponie miękkiej (Gaweł M., Potulska-Chromik A. 2015).

## 2. CHOROBA ALZHEIMERA (AD)

Na świecie choroba Alzheimera dotyka obecnie 15-21 mln osób. W USA rocznie rejestruje się 100 000 zgonów z jej powodu. Według szacunków, w Polsce różne postacie otępienia dotyczą ok. 500 tys. osób. W przybliżeniu połowa z tych przypadków to otępienie typu choroby Alzheimera. Częstość występowania silnie koreluje z wiekiem. W populacji osób w wieku 60 lat częstość występowania choroby Alzheimera wynosi około 1%, natomiast w populacji w wieku 90 i więcej lat nawet do 50% osób może cierpieć na chorobę Alzheimera. Większość przypadków występuje po 65 roku życia, stanowiąc chorobę Alzheimera o późnym początku (LOAD - *late-onset Alzheimer's disease*), podczas gdy przypadki występujące przed 65 rokiem życia są znacznie rzadsze, stanowią mniej niż 5% wszystkich przypadków i są określane jako AD o wczesnym początku (EOAD - *early-onset Alzheimer's disease*). U 1-2% chorych choroba Alzheimera jest dziedziczona autosomalnie dominująco, ale większość przypadków tej choroby to przypadki sporadyczne. Na etiologię tej choroby składa się ekspresja różnych genów (Long J., Holtzman D. 2019).

Choroba Alzheimera jest chorobą zwyrodnieniową – amyloidozą. U podstaw jej patofizjologii leży proces neurodegeneracyjny, polegający na nieprawidłowym odkładaniu się w mózgu białka amyloidowego. Białki starcze odkładają się wewnątrz-, a następnie zewnątrzkomórkowo. Zbudowane są z nierozpuszczalnych form  $\beta$ -amyloidu. W warunkach prawidłowych białko prekursora  $\beta$ -amyloidu (APP – ang. Amyloid precursor protein) stanowi jedną ze składowych błon komórkowych neuronów oraz prawdopodobnie ma działanie neuroprotekcyjne oraz bierze udział w transporcie aksonalnym. W procesie nieprawidłowych przemian przez  $\beta$ - i  $\gamma$ -sekretazy następuje fragmentacja na nierozpuszczalne postaci  $\beta$ -amyloidu. Prowadzi to do hiperfosforylacji białka tau zapewniającego w warunkach prawidłowych stabilizację

mikrotubul. Hiperfosforylowane białko tau odkłada się w postaci zwyrodnienia neurofibrilarnego. Prowadzi to do zaniku neuronów i ich połączeń (Zabłocka A. 2006). Również zjawisko odkładania  $\beta$ -amyloidu w ścianach drobnych naczyń krwionośnych mózgu w warstwie korowej ma znaczenie w przebiegu procesów neurodegeneracyjnych. Może to prowadzić do powstania ognisk mikrokrwawień. Zmiany neurozwyrodnieniowe skutkują zanikiem neuronów i połączeń międzyneuronalnych (Gaweł, Potulska-Chromik 2015).

Do objawów klinicznych choroby zalicza się zaburzenia pamięci, orientacji w przestrzeni oraz innych funkcji poznawczych. Początek choroby Alzheimera przejawia się pod postacią łagodnych zaburzeń poznawczych (MCI). Mają one miejsce na kilka lat przed wystąpieniem pełnoobjawowej choroby. Do pierwszych objawów rozpoczynającego się procesu otępiennego należą problemy z nabywaniem nowych informacji i umiarkowana utrata pamięci bieżącej. Chory powtarza te same pytania i stwierdzenia, nie pamięta niedawnych wydarzeń. Do typowych należą problemy w orientacji w czasie i przestrzeni. Następuje zwiększenie drażliwości z powodu frustracji związanej z nieustannym zapominaniem, wzrasta poziom niepokoju, często pacjent odmawia przyjęcia proponowanej mu pomocy. Niejednokrotnie występują także zaburzenia zachowania i nastroju. Najczęstszym z nich jest depresja. Może nasilać dysfunkcje poznawcze pacjentów. Szczególne znaczenie ma to w przypadku czynności kory czołowej mózgu (Daniluk J., Borkowska A. 2008). Obecnie stosowane jest leczenie objawowe choroby Alzheimera, które może spowolnić przebieg choroby w przybliżeniu o 18 miesięcy. Wpływa ono na polepszenie funkcji poznawczych, zapobiega wystąpieniu i łagodzi zaburzenia psychotyczne, afektywne i zaburzenia zachowania (Yiannopoulou K., Sokratis G. 2020, Barczak A. 2021). Pomaga osiągnąć poprawę codziennej aktywności życiowej osób chorych. Większość dotychczasowych prób opracowania alternatywnego leczenia zakończyło się niepowodzeniem. Badane substancje nie wpływały pozytywnie na funkcje poznawcze lub powodowały wystąpienie skutków niepożądanych (Bidzan L. 2020).

### 3. MÓZGOWA ANGIOPATIA AMYLOIDOWA (CAA)

Mózgowa angiopatia amyloidowa (CAA, cerebral amyloid angiopathy), określana także mianem kongofilnej angiopatii amyloidowej (CAA, congophilic amyloid angiopathy), jest jedną z postaci choroby małych naczyń mózgowych, w której dochodzi do odkładania się białka  $\beta$ -amyloidu w ścianie tętniczek, kapilar i naczyń żylnych zlokalizowanych w korze mózgowej i

oponie miękkiej. Mózgowa angiopatia amyloidowa, podobnie jak choroba Alzheimera, należy do grupy chorób zwyrodnieniowych - amyloidopatii. CAA występuje zarówno sporadycznie, jak i rodzinnie. Częstość występowania CAA szacuje się na 30–40 przypadków na 100 000 osób całej populacji rocznie. Jest to choroba osób w wieku podeszłym. CAA jest drugą najczęściej występującą przyczyną nieurazowych krwotoków mózgowych oraz udarów niedokrwiennych mózgu (Mendel T., Gromadzka G. 2010, Zagrajek M. 2011, Gąsecki D., Kozera G., Chwojnicky K., Nyka W. 2006, Gąsecki D., Kozera G., Chwojnicky K., Nyka W. 2006). CAA współistnieje z chorobą Alzheimera, otępieniem z ciałami Lewy'ego oraz z zespołem Downa. Ostatnie 30 lat przyniosło wzrost zainteresowania patofizjologią, genetyką, diagnostyką, różnorodnością odmian klinicznych, nowymi metodami neuroobrazowania i leczenia CCA.

Brakuje skutecznego i przeznaczonego do szerokiego stosowania leczenia CAA. Istnieją różne koncepcje leczenia antyamyloidowego, takie jak: blokowanie  $\beta$ -sekreazy, stymulacja  $\alpha$ -sekreazy, blokowanie  $\gamma$ -sekreazy, hamowanie agregacji  $\beta$ -amyloidu oraz wzrost usuwania  $\beta$ -amyloidu. Leczenie krwotoków zależy od czasu, jaki upłynął od zachorowania, oraz lokalizacji i rozległości krwawienia, i nie odbiega od ogólnie przyjętych zasad postępowania objawowego. Stosowane są leki przeciwobrzękowe, przeciwpadaczkowe oraz przeciwbólowe (Mendel T. 2015)

#### 4. BAZA PROTOKOŁÓW HISTOPATOLOGICZNYCH – DIGITAL BRAIN

W pracy eksperymentalnej wykorzystano zasoby bazy Digital Brain. Stanowi ona największy na świecie zbiór skanów preparatów mózgow ludzkich po sekcji neuropatologicznej. W skład kolekcji wchodzi zarówno fragmenty mózgow utrwalonych w zbuforowanym roztworze formaliny, jak i bloczki parafinowe, preparaty histologiczne oraz immunohistochemiczne. Skrojone 5-8  $\mu$ m preparaty zostały zabarwione metodami histologicznymi oraz metodami immunohistochemicznymi przy użyciu odpowiednich przeciwciał. Wszystkie preparaty powiązane są z odpowiednimi protokołami neuropatologicznymi. Protokoły zawierają informacje dotyczące płci, wieku pacjenta, rozpoznania klinicznego oraz rozpoznania neuropatologicznego. Materiały te są przygotowane do dalszych badań. (Digital Brain (ipin.edu.pl), 2022).

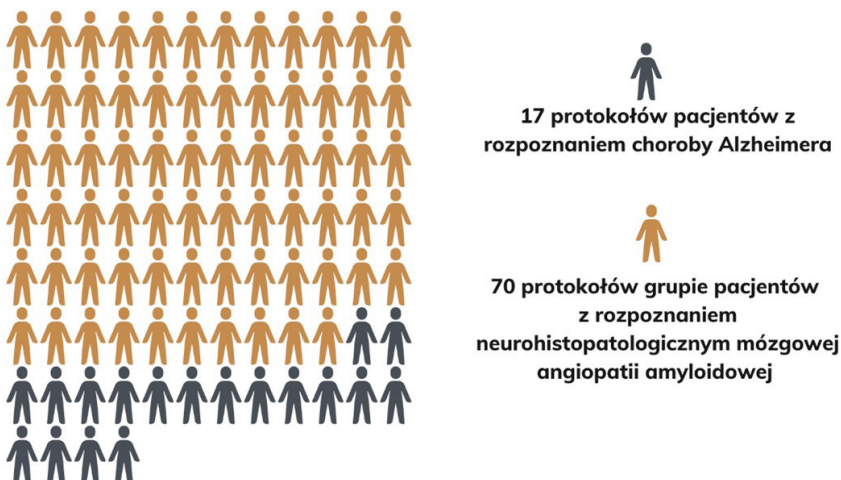


	<p><b>PROTOKÓŁ NEUROPATOLOGICZNY 6151/19</b>                      Płeć: męska                      Wiek: 92                      Data zgonu: 2019-08-03                      Data sekcji: 2019-09-03</p>	<p><b>Rozpoznanie kliniczne:</b> Uraz głowy, Złamanie kości miednicy, Złamanie kręgow kregosłupa, Krwłak podwardówkowy  <b>Rozpoznanie neuropatologiczne:</b> Miażdżycza naczyń podstawy mózgu, Angiopatía nadciśnieniowa, <b>Mózgowa angiopatía amyloidowa</b>, Zanik mózgu, Płytki amyloidowe</p>
	<p><b>PROTOKÓŁ NEUROPATOLOGICZNY 6086/14</b>                      Płeć: męska                      Wiek: 53                      Data zgonu: 2014-11-04                      Data sekcji: 2015-01-14</p>	<p><b>Rozpoznanie kliniczne:</b> Kardiomiopatía, Marskość wtroby, Choroba Wilsona (WD), Kacheksja  <b>Rozpoznanie neuropatologiczne:</b> <b>Mózgowa angiopatía amyloidowa</b>, Choroba Wilsona</p>
	<p><b>PROTOKÓŁ NEUROPATOLOGICZNY 6106/17</b>                      Płeć: żeńska                      Wiek: 70                      Data zgonu: 2017-01-05                      Data sekcji: 2017-01-24</p>	<p><b>Rozpoznanie kliniczne:</b> Rak pęcherzyka żółciowego, Cukrzyca typu 2, Nadciśnienie tętnicze (NT), Rozsiane przerzuty nowotworowe, Udar niedokrwienny mózgu  <b>Rozpoznanie neuropatologiczne:</b> Ogrupienie z ciałami Lewy'ego, Liczne zmiany niedokrwienne na obu półkulach, <b>Mózgowa angiopatía amyloidowa</b></p>

**Rysunek 1.** Przykładowe protokoły neurohistopatologiczne pacjentów z mózgową angiopatią amyloidową

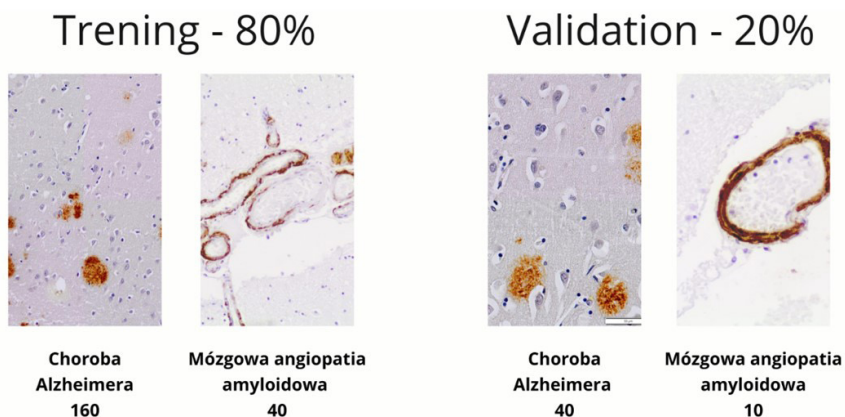
## 5. MATERIAŁY I METODY

Z bazy DigitalBrain wybrano łącznie 87 protokołów neuropatologicznych: 17 protokołów pacjentów z rozpoznaniem choroby Alzheimera oraz 70 protokołów w grupie pacjentów z rozpoznaniem neurohistopatologicznym mózgowej angiopatii amyloidowej. Odrzucono 13 protokołów, w przypadku pacjentów u których stwierdzono współwystępowanie choroby Alzheimera i mózgowej angiopatii amyloidowej. Strukturę zbiorów wybranych protokołów przedstawia Rysunek 1.



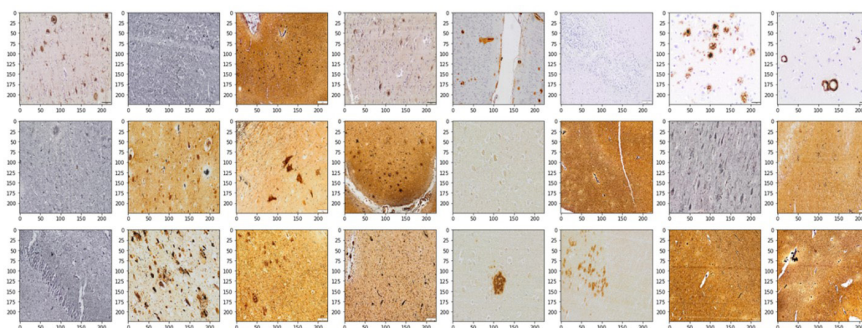
**Rysunek 2.** Struktura zbiorów wybranych protokołów neurohistopatologicznych, źródło: ryцина własna

Z wyżej wymienionych protokołów wykorzystano obrazy preparatów mikroskopowych. Nie każdy protokół zawierał skany preparatów histologicznych, dlatego pomimo obszerności bazy Digital Brain ilość obrazów użytych do trenowania sztucznej inteligencji jest stosunkowo niewielka. Zbiór dla choroby Alzheimera liczył 200 obrazów, a dla mózgowej angiopatii amyloidowej: 50 obrazów. Przed przystąpieniem do tworzenia modeli i przeprowadzeniem uczenia maszynowego losowo przydzielono obrazy w poszczególnych klasach (AD,CAA) do dwóch kategorii: Train – zbioru treningowego i Validation – zbioru walidacyjnego (Rysunek 3).



**Rysunek 3.** Utworzenie zbioru treningowego i zbioru walidacyjnego

Obrazy przydzielone miały różną wielkość, więc została ona ujednoczona do 224x224 pikseli (Rysunek 4).



**Rysunek 4.** Obrazy histopatologiczne ujednoczone do wymiarów 224x224 pikseli, archiwum własne

Warstwy tworzące razem jedną warstwę sieci konwolucyjnej zostały spłaszczone. Macierz ta stanowi wejście do standardowej sieci neuronowej, stworzonej z w pełni połączonych warstw. Przeprowadzono proces ML, złożony z 10 epok.

## 6. WYNIKI

Wykorzystano 80% obrazów (wybranych losowo) do trenowania modelu uczenia się, a pozostałe 20% obrazu do jego przetestowania. Dokładność w 1. epoce uczenia maszynowego wynosiła zaledwie 20%. W kolejnych epokach model doskonalił zdolność przyporządkowywania poszczególnych preparatów do zbioru AD lub CAA. W ostatniej, 10. epoce algorytm osiągnął dokładność rzędu 92%. Zapis procesu uczenia się algorytmu na przestrzeni 10 epok ilustruje Rysunek 5.

```
Epoch 1/10
4/4 [=====] - 18s 4s/step - loss: 3.0059 - accuracy: 0.7850 - val_loss: 4.3234 - val_accuracy: 0.2000
Epoch 2/10
4/4 [=====] - 16s 3s/step - loss: 2.1200 - accuracy: 0.4200 - val_loss: 0.5871 - val_accuracy: 0.8000
Epoch 3/10
4/4 [=====] - 16s 4s/step - loss: 0.4769 - accuracy: 0.8000 - val_loss: 0.4324 - val_accuracy: 0.8000
Epoch 4/10
4/4 [=====] - 16s 4s/step - loss: 0.3873 - accuracy: 0.8000 - val_loss: 0.3810 - val_accuracy: 0.8000
Epoch 5/10
4/4 [=====] - 15s 3s/step - loss: 0.3456 - accuracy: 0.8000 - val_loss: 0.2666 - val_accuracy: 0.8800
Epoch 6/10
4/4 [=====] - 15s 3s/step - loss: 0.2852 - accuracy: 0.8750 - val_loss: 0.2284 - val_accuracy: 0.9200
Epoch 7/10
4/4 [=====] - 16s 4s/step - loss: 0.2825 - accuracy: 0.8700 - val_loss: 0.4442 - val_accuracy: 0.7200
Epoch 8/10
4/4 [=====] - 15s 5s/step - loss: 0.2704 - accuracy: 0.8500 - val_loss: 0.3049 - val_accuracy: 0.8800
Epoch 9/10
4/4 [=====] - 16s 4s/step - loss: 0.2649 - accuracy: 0.8700 - val_loss: 0.2398 - val_accuracy: 0.9200
Epoch 10/10
4/4 [=====] - 16s 3s/step - loss: 0.2467 - accuracy: 0.8800 - val_loss: 0.1852 - val_accuracy: 0.9200
```

**Rysunek 5.** Zapis procesu uczenia się algorytmu na przestrzeni 10 epok. Na etapie pierwszej epoki dokładność wynosiła 20%. W ostatniej epoce (10.) algorytm osiągnął dokładność rzędu 92%., źródło: archiwum własne

## 7. DYSKUSJA

Stworzony model jest skuteczny w rozpoznawaniu obrazów choroby Alzheimera oraz mózgowej angiopatii amyloidowej. Przy stosunkowo niewielkiej ilości danych dokładność wyniosła 92%. W przyszłości algorytm powinien rozpoznawać dyskretnie różniące się obrazy np. określanie podtypu raka płuca lub określanie stopnia zaawansowania raka stercza.

Istnieją liczne metody, których zastosowanie wpłynie na ulepszenie modelu, skutkujące zwiększeniem jego dokładności oraz poszerzeniem zastosowań. Podstawową metodą ulepszenia modelu jest zastosowanie obszerniejszej bazy preparatów histologicznych. Dokładność, niezawodność i rzetelność oceny dokonanej przez algorytm rosną, wraz z ilością danych, użytych podczas

etapu treningu. Przy braku nowych danych możliwe jest zastosowanie techniki data augmentation. Obrazy używane w modelu ML można lekko obrócić, przesunąć, zmienić kolory lub dokonać innych mniej lub bardziej subtelnych zmian, które dadzą modelowi nowych danych.

Kolejną metodą ulepszenie modelu jest nawiązanie współpracy ze specjalistami z zakresu histologii i patomorfologii. Możliwy będzie trafniejszy dobór preparatów włączanych do bazy treningowej oraz profesjonalna ocena trafności klasyfikacji dokonanej przez model sieci neuronowej. Opinia specjalistów jest również kluczowa w kwestii oceny klinicznej przydatności modelu AI. Włączenie kolejnych jednostek do sieci neuronowej umożliwi szersze zastosowanie modelu. Preferowane byłoby przeprowadzenie uczenia maszynowego z wykorzystaniem bazy obrazów tkanek nowotworowych i nienowotworowych.

Podstawowym ograniczeniem badania jest fakt wykorzystania niezrównoważonego zbioru danych (tj. klasa AD miała większą liczbę próbek, niż klasa CAA). Z tego względu model mógł być bardziej podatny na stronniczość w stosunku do konkretnej klasy podczas podejmowania decyzji.

## 8. WNIOSKI

Na podstawie wyników potwierdzono stawianą hipotezę: konwolucyjne sieci neuronowe są skuteczne w przypisywaniu obrazów patomorfologicznych do danych kategorii. Uzyskane wyniki świadczą o wysokiej skuteczności algorytmu opartego o CSN w identyfikacji obrazów i przyporządkowywaniu ich do odpowiedniej klasy. Istnieje możliwość dalszego rozwoju algorytmu, poprzez zwiększenie ilości obrazów wchodzących w skład zbioru treningowego i walidacyjnego, wprowadzenie etapu nadzoru specjalisty nad wynikami uczenia maszynowego. W kolejnych etapach możliwe będzie włączenie obrazów innych jednostek chorobowych np. nowotworów, co znajdzie zastosowanie praktyczne w praktyce lekarskiej.

Algorytm ML posiada pewne ograniczenia. Mimo że modele AI są obiecujące w kontrolowanych eksperymentach, nie osiągnęły jeszcze takiego poziomu niezawodności, na którym można im powierzyć obowiązek podejmowania decyzji diagnostycznych. Skuteczność modeli AI wymaga potwierdzenia w praktyce. Dziedzina AI i ML jest otwarta na dalsze badania i poszukiwanie nowych możliwości zastosowania jej zdobyczy w praktyce.

## PODSUMOWANIE

Uzyskane wyniki świadczą o wysokiej skuteczności konwolucyjnych sieci neuronowych w identyfikacji obrazów i przyporządkowywaniu ich do danej kategorii. Algorytm identyfikuje obrazy tkanek do danej jednostki chorobowej z maksymalną dokładnością 92%. Wdrożenie tego typu modeli pomoże specjalistom medycznym w opracowaniu automatycznego i niezawodnego systemu zdolnego do identyfikacji patologii. Jest to szczególnie istotne w przypadku chorób nowotworowych, gdzie wczesna identyfikacja choroby znacznie zwiększa szanse na przeżycie. Wykorzystanie potencjału sztucznej inteligencji (AI), pozwala ocenić więcej przypadków w krótszym czasie oraz zmniejszyć koszty diagnostyki patomorfologicznej.

### Wkład autorski

Opracowanie danych zawartych w bazie Digital Brain, przygotowanie zbioru treningowego i walidacyjnego, przeprowadzenie procesu uczenia maszynowego, analiza wyników – Anna Głowacka

## BIBLIOGRAFIA

2020 Zasoby cyfrowej bazy danych - Digital Brain <https://digitalbrain.ipin.edu.pl/>.

Albawi S., Mohammed T. A., Al-Zawi S.

2017 *Understanding of a convolutional neural network*. In 2017 international conference on engineering and technology (ICET).

Barczak A.

2021 *Aktualne możliwości wykrywania i terapii choroby Alzheimera*. Lekarz POZ, 7.(4).

Bidzan L.

2020 *Farmakologiczne leczenie choroby Alzheimera—współczesne możliwości*. Psychiatria 17(2).

Daniluk J., Borkowska A.

2008 *Zaburzenia funkcji poznawczych i depresja w chorobie Alzheimera, zagadnienia neurobiologiczne*. Psychiatria 5(2).

- Gaweł M., Potulska-Chromik A.  
 2015 *Choroby neurodegeneracyjne: choroba Alzheimera i Parkinsona*. Postępy Nauk Medycznych 28(7).
- Gąsecki D., Kozera G., Chwojncki K., Nyka W.  
 2006 *Krwotok wewnątrzmożgowy - obraz kliniczny i aktualności w leczeniu*. Choroby Serca i Naczyń, 3(3).
- Komura D., Ishikawa S.  
 2018 *Machine learning methods for histopathological image analysis*. Computational and structural biotechnology journal, 16,.
- Li Q., Cai W., Wang X., Zhou Y., Feng D. D., Chen M.  
 2014 *Medical image classification with convolutional neural network*. In 2014 13th international conference on control automation robotics & vision (ICARCV) (pp. 844-848). IEEE.
- Long J., Holtzman D.,  
 2019 *Alzheimer Disease: An Update on Pathobiology and Treatment Strategies*, Cell, 179, (2).
- Mendel T.  
 2015 *Sporadyczna mózgową angiopatia amyloidowa — patofizjologia, objawy, diagnostyka i leczenie*. Pol Przegl Neurol 11(4).
- Mendel T., Gromadzka G.  
 2010 *Polimorfizm genu apolipoproteiny E (APOE) a ryzyko i rokowanie w krwotokach mózgowych spowodowanych przez mózgową angiopatię amyloidową*. Neurologia i Neurochirurgia Polska, 44(6).
- Niazi M., Parwani A. V., Gurcan M. N.  
 2019 *Digital pathology and artificial intelligence*. The lancet oncology, 20(5).
- Qayyum A., Anwar S. M., Awais M., Majid M.  
 2017 *Medical image retrieval using deep convolutional neural network*. Neurocomputing, 266.
- Yiannopoulou K., Sokratis G.  
 2020 *Current and future treatments in Alzheimer disease: an update.* Journal of central nervous system disease, 12.

Zabłocka A.

2006 *Choroba Alzheimera jako przykład schorzenia neurodegeneracyjnego*  
*Alzheimer's disease as neurodegenerative disorder.* Postępy Hig Med  
Dosw.(online).

Zagrajek M.

2011 *Mikrokrwawienia mózgowe.* Polski Przegląd Neurologiczny, 7(2).

## MACHINE LEARNING WITH CONVOLUTIONARY NEURAL NETWORKS IN NEURO HISTOPATHOLOGY

**Abstract:** The aim of the article is to present the possibilities of convolutional neural networks (CNN) in the identification of neurohistopathological images. The paper also presents possible applications of machine learning (ML) and CNN in pathomorphological diagnostics. The aim of the study was to develop an artificial intelligence (AI) algorithm based on ML and CNN distinguishing between images of two disease entities: cerebral amyloid angiopathy and Alzheimer's disease. The python programming language and TensorFlow were used to create the algorithm - a programming library used to create deep neural networks. The images used in the Medical University of Warsaw come from the Digital Brain database created by the Institute of Psychiatry and Neurology in Warsaw. Recent years have brought intensive development of issues in the area of AI. ML can improve diagnostics - shorten the waiting time for a diagnosis and reduce its costs.

**Keywords:** machine learning, neurohistopathology, convolutional neural networks, neurodegenerative diseases

## WZORY REKOMENDOWANE DO WYLICZANIA OSMOLALNOŚCI U DZIECI DO 2 LAT

**Streszczenie:** Organizm narażony jest na wiele egzogennych czynników fizycznych, chemicznych i biologicznych, które mogą zaburzać stabilność ustroju. Stabilność ta może być zaburzona. Celem artykułu jest porównanie wartości osmolalności oznaczonej za pomocą osmometru i obliczonej na podstawie wybranych wzorów w surowicy dzieci w wieku do 2 lat. W badaniach wykorzystano surowicę pozostałą po rutynowych oznaczeniach biochemicznych. Uzyskane wyniki zostały opracowane w czterech grupach wiekowych. W każdej próbie oznaczono stężenie jonów sodowych, potasowych, mocznika oraz osmolalność.

**Słowa kluczowe:** hiponatremia; hipernatremia, osmolalność, woda,

### WPROWADZENIE

Homeostaza jest zdolnością do zachowania stałego środowiska wewnętrznego organizmu, pomimo zmieniających się warunków zewnętrznych. Utrzymanie wewnętrznej stabilności organizmu wymaga regulowania i kontrolowania najważniejszych parametrów życiowych tj. m.in.: stanu nawodnienia organizmu, temperatury oraz wartości pH.

Organizm narażony jest na wiele egzogennych czynników fizycznych, chemicznych i biologicznych, które mogą zaburzać stabilność ustroju. Organizm dąży do utrzymania: izosmolalności (stałej osmolalności), izozonii (stałego stężenia jonów) w tym izohydrii (stałego stężenie jonów wodorowych) oraz izotonii (stałego ciśnienia osmotycznego). Podstawową rolę w utrzymaniu homeostazy pełnią nerki oraz płuca, które mają zdolność bezpośredniego reagowania na nieprawidłowości



związane z gospodarką wodno-elektrolitową organizmu (Brown, 1996).

Gospodarka wodna w organizmie jest regulowana przez kilka mechanizmów, które odpowiadają za skład i objętość płynów ustrojowych.

Osmolalność to termin rozumiany jako „*stężenie molowe wszystkich substancji osmotycznie czynnych rozpuszczonych w 1 kilogramie rozpuszczalnika (wody), niezależnie od ich masy, wielkości czy gęstości*” (Terris & Crean, 2012) Prawidłowa osmolalność surowicy w stanie fizjologicznym wynosi 289 mOsm/kg H<sub>2</sub>O. Na stężenie to wpływa przede wszystkim: stężenie jonów chlorkowych, sodowych oraz wodorowęglanów, a także glukozy i mocznika.

Wyróżnia się ponadto „*osmolalność efektywną*”, czyli tzw. „*tonię*”, na którą wpływ mają substancje obecne w ECF (Extracellular Fluid) nieprzenikające swobodnie przez błonę komórkową. Należą do nich: glukoza i jony sodowe. Ich zwiększone stężenie w przestrzeni pozakomórkowej stwarza gradient osmotyczny i wymusza przemieszczanie się wody z jednej przestrzeni do drugiej. We wzorze na osmolalność efektywną nie uwzględnia się mocznika, z uwagi na fakt, że swobodnie przenika on przez błonę komórkową. Podobnie brzmiącym terminem, lecz inaczej zdefiniowanym jest „*osmolarność*”. To liczba moli substancji osmotycznie czynnych zawartych w 1 litrze roztworu. Jednostką osmolalności jest. (Dembińska-Kieć, et al., 210)

Osmolalność można zmierzyć za pomocą osmometru jak również wyliczyć z odpowiednich wzorów zawartych w tabeli 1. Osmometr mierzy temperaturę krzepnięcia badanej surowicy. Temperatura ta jest porównywana z temperaturą krzepnięcia wody. Obniżenie temperatury krzepnięcia jest wprost proporcjonalne do osmolalności badanego roztworu. Oznaczenia osmolalności można wykonywać w surowicy, osoczu, płynie mózgowo-rdzeniowym lub moczu (Terris & Crean, 2012)

Oznaczenie osmolalności w surowicy stosowane jest w diagnostyce moczówki prostej oraz w zatruciach substancjami egzogennymi. Badanie to ma charakter uzupełniający. Osmolalność ma zastosowanie w monitorowaniu powikłań obrzęku mózgu, a także w przebiegu kwasicy ketonowej u dzieci chorych na cukrzycę typu I. Ma znaczenie w różnicowaniu nieketotycznego zespołu hipermolalnego (*Hyperglycemic Hyperosmolarstate- HHS*) (Ciechanowski, 2011) Oznaczenie osmolalności jest pomocne w ocenie wewnętrznego bilansu wodnego oraz wyjaśnieniu przyczyny poliurii (pomiar w moczu). W przewlekłej chorobie nerek ze względu na możliwość wystąpienia powikłań

neurologicznych oznaczenie osmolalności i wyliczenie luki osmotycznej mogą pełnić istotną rolę w monitorowaniu tego schorzenia.

W praktyce laboratoryjnej osmolalność w surowicy jest wyliczana na podstawie jednego z wielu dostępnych wzorów (tab.1). Jednym z najprostszych i zarazem najczęściej używanych w praktyce laboratoryjnej jest wzór *Dorwart & Chalmers*, uwzględniający stężenie jonów sodowych, glukozy oraz mocznika. Kolejne wzory uwzględniają również inne parametry takie jak: stężenia jonów potasowych, sodowych, mocznika oraz jonów magnezowych, wapniowych, chlorkowych, jak również mleczanów i wodorowęglanów. (Gus , et al., 2016) Każdy ze wzorów uwzględnia stężenie jonów sodowych. Stężenie tych jonów w surowicy jest znacznie wyższe niż stężenia innych substancji osmotycznie czynnych występujących w organizmie. Przedstawione wzory (tab.1) zawierają również współczynniki przeliczeniowe np. „2”, ze względu na to, że wlicza się również sparowany z jonem sodowym anion chlorkowy. Jednak biorąc pod uwagę to, że chlorek sodowy w surowicy ulega w 93% dysocjacji niektórzy Autorzy za współczynnik przeliczeniowy przyjmują wartość 1,86 .

**Tabela 1.** Wzory służące do oszacowania wartości osmolalności

1	$1,75[\text{Na}^+] + [\text{Glu}] + 0,5 [\text{mocznik}] + 10,1$	21	$1,86 [\text{Na}^+] + [\text{Glu}] + 0,5 [\text{mocznik}] + 9$
2	$2,63 [\text{Na}^+] - 65,4$	22	$1,86 [\text{Na}^+] + [\text{Glu}] + [\text{mocznik}] + 9$
3	$1,86 [\text{Na}^+] + [\text{Glu}] + 0,5 [\text{mocznik}]$	23	$2 [\text{Na}^+ + \text{K}^+] + [\text{Glu}] + 0,93 \times 0,5 [\text{mocznik}]$
4	$2 [\text{Na}^+ + \text{K}^+] + \text{Glu} + 0,5 [\text{mocznik}]$	24	$1,89 [\text{Na}^+] + 1,38 [\text{K}^+] + 1,08 [\text{Glu}] + 1,03 [\text{mocznik}] + 7,47$
5	$1,85 [\text{Na}^+] + 1,84 [\text{K}^+] + 1,15 [\text{iCa}^{2+}] + 1,17 [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Glu}] + 0,5 [\text{mocznik}]$	25	$1,86 [\text{Na}^+ + \text{K}^+] + [\text{Glu}] + \text{mocznik} + 10$
6	$2 [\text{Na}^+]$	26	$2 [\text{Na}^+] + 0,9 [\text{Glu}] + 0,93 \times 0,5 [\text{mocznik}] + 8$
7	$2 [\text{Na}^+] + [\text{Glu}] + 0,5 [\text{mocznik}]$	27	$0,985 [1,86 [\text{Na}^+] + 1,03 [\text{Glu}] + 1,28 \times 0,5 [\text{mocznik}]$
8	$2 [\text{Na}^+] + 7$	28	$1,36 [\text{Na}^+] + 1,6 [\text{Glu}] + 0,45 [\text{mocznik}] + 91,75$
9	$2 [\text{Na}^+] + 10$	29	$0,985 [2 [\text{Na}^+] + [\text{Glu}] + [\text{mocznik}] + 35,2]$
10	$2 [\text{Na}^+] + [\text{Glu}]$	30	$1,897 [\text{Na}^+] + [\text{Glu}] + 0,5 [\text{mocznik}] + 13,5$
11	$2,1 [\text{Na}^+]$	31	$1,9 [\text{Na}^+ + \text{K}^+] + [\text{Glu}] + 0,5 [\text{mocznik}] + 5$
12	$2 [\text{Na}^+] + [\text{Glu}] + 0,93 \times 0,5 (\text{mocznik})$	32	$1,86 [\text{Na}^+ + \text{K}^+] + [\text{Glu}] + [\text{mocznik}]$
13	$0,985 [2 (\text{Na}^+ + \text{K}^+) + \text{Glu} + 0,5 (\text{mocznik})]$	33	$2 [\text{Na}^+] + 1,15 [\text{Glu}] + [\text{mocznik}]$
14	$1,86 [\text{Na}^+] + [\text{Glu}] + 0,5 [\text{mocznik}] + 5$	34	$1,86 [\text{Na}^+ + \text{K}^+] + 1,15 [\text{Glu}] + [\text{mocznik}] + 14$
15	$2 [\text{Na}^+] + 0,9 [\text{Glu}] + 0,93 [\text{mocznik}] \times 0,5$	35	$1,09 \times [1,86 [\text{Na}^+] + [\text{Glu}] + [\text{mocznik}]$

16	$2 [\text{Na}^+] + 0,5 [\text{mocznik}]$	36	$0,985 [\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Cl}^- + \text{HCO}_3^- + \text{Lactate} + \text{Glu} + \text{mocznik} + 6,5]$
17	$[1,86 (\text{Na}^+) + [\text{Glu}] + 0,5 [\text{mocznik}] / 93$	37	$2 [\text{Na}^+] + [\text{Glu}] + [\text{mocznik}]$
18	$1,9 [\text{Na}^+ + \text{K}^+] + [\text{Glu}] + 0,5 [\text{mocznik}]$		
19	$1,8 [\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+}] + [\text{Glu}] + 0,47 \times 0,5 [\text{mocznik}]$		
20	$1,85 [\text{Na}^+] + [\text{Glu}] + 0,5 [\text{mocznik}] + 8,55$		

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Fazekas i in. 2013, s. 302–308; Rasouli i Kalantari 2005, s. 635–640.

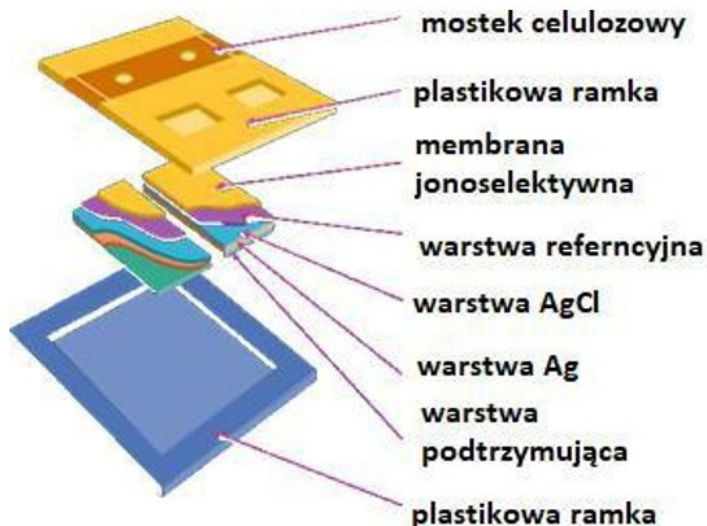
Celem artykułu jest porównanie wartości osmolalności oznaczonej za pomocą osmometru i obliczonej na podstawie wybranych wzorów w surowicy dzieci w wieku do 2 lat.

## I. MATERIAŁ I METODY

Materiałem do badań była surowica krwi, pozostała po rutynowych oznaczeniach u dzieci leczonych w Uniwersyteckim Szpitalu Dziecięcym w Krakowie. Oznaczenia osmolalności wykonano w surowicach 100 dzieci w wieku do drugiego roku życia. Do oznaczeń wybierano surowice, w których wcześniej oznaczano stężenie jonów sodowych i potasowych, glukozy oraz mocznika. Oznaczenia przeprowadzono na analizatorze Vitros<sup>®</sup>4600 (*Ortho Clinical Diagnostics Inc., USA*). Analizator kalibrowano raz na pół roku, jednakże codziennie przeprowadzano kontrolę jakości na dwóch poziomach.

### 1. Oznaczenie stężenia jonów sodowych i potasowych oraz mocznika

Oznaczenie stężenia jonów sodowych i potasowych wykonywano metodą potencjometryczną przy użyciu elektrod jonoselektywnych. Każda z elektrod zawiera odpowiednio jonofor dla jonów sodowych (metylofenylen) lub jonofor dla jonów potasowych (walinomycnę). Budowę slajdu przedstawiono na rysunku 1.

**Rys.1.** Budowa slajdu do pomiaru stężenia jonów sodowych i potasowych

Źródło: własne wg Instrukcji *For Use Na<sup>+</sup> Vitros Chemistry Products Na<sup>+</sup> Slides*, rok 2011

Oznaczenie stężenia jonów sodowych i potasowych wykonano metodą potencjometryczną przy użyciu elektrod jonoselektywnych. Każda z elektrod zawiera odpowiednio jonofor dla jonów sodowych (metylomoczniny) lub jonofor dla jonów potasowych (walinomoczniny). Budowę slajdu przedstawiono na rysunku 1. Slajd do oznaczania obu jonów składa się z dwóch części, połączonych celulozowym mostkiem. Na jedną z nich nakładano płyn referencyjny, a na drugą badaną surowicę. Każda z elektrod wytwarzała potencjał elektryczny zależny od aktywności jonów sodowych/potasowych. Po inkubacji przez 2 min przy długości fali 630 nm w temperaturze 37°C zmierzono różnicę potencjałów pomiędzy elektrodami, która była wprost proporcjonalna do stężenia jonów Na<sup>+</sup> lub K<sup>+</sup> w badanej surowicy.

Stężenie mocznika było oznaczane metodą kolorymetryczną. Budowę slajdu do oznaczania stężenia mocznika przedstawiono na rysunku 2.

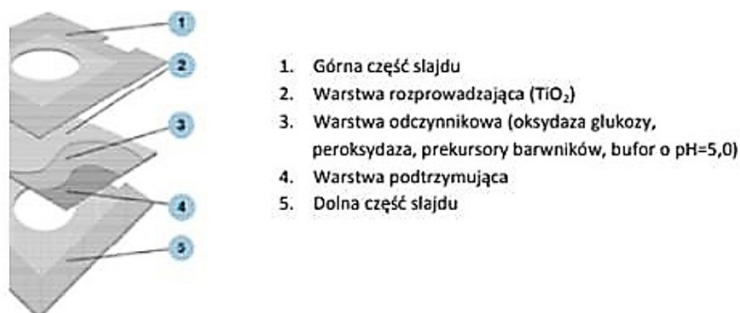
**Rysunek 2.** Budowa slajdu do oznaczania mocznika

1. Górna część slajdu
2. Warstwa rozprzewadząca ( $\text{TiO}_2$ )
3. Warstwa odczynnikowa (ureaza, bufor o  $\text{pH}=7,8$ )
4. Półprzepuszczalna membrana
5. Warstwa z indykatorem
6. Warstwa podtrzymująca
7. Dolna część slajdu

Źródło: Kittere i in. 2015, s. 1407-1423.

## 2. Oznaczenie stężenia glukozy

Oznaczenie stężenia glukozy dokonano metodą enzymatyczną przy użyciu slajdów do suchej chemii. Budowę slajdu do oznaczania stężenia glukozy przedstawiono na rysunku 3. Na slajd nałożono surowicę w ilości 10  $\mu\text{l}$ , a następnie równomiernie rozprzewadzano do niżej położonych warstw. Tu w warstwie odczynnikowej zaszła reakcja utleniania glukozy przez oksydazę glukozy do kwasu glukonowego i  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Powstały nadtlenek wodoru przenikał do warstwy wskaźnikowej slajdu. W warstwie tej zachodziła reakcja przekształcenia  $\text{H}_2\text{O}_2$  oraz aminoantypiryny i hydroksynaftalenu w chinoniminę (czerwony barwnik). Jako katalizator reakcji służyła peroksydaza. Po 5 minutach inkubacji w temperaturze  $37^\circ\text{C}$  przy długości fali 540 nm, była wprost proporcjonalne do stężenia glukozy w badanej surowicy dokonano pomiaru natężenia barwy (instrukcja obsługi 2016).

**Rys.3.** Budowa slajdu do pomiaru glukozy

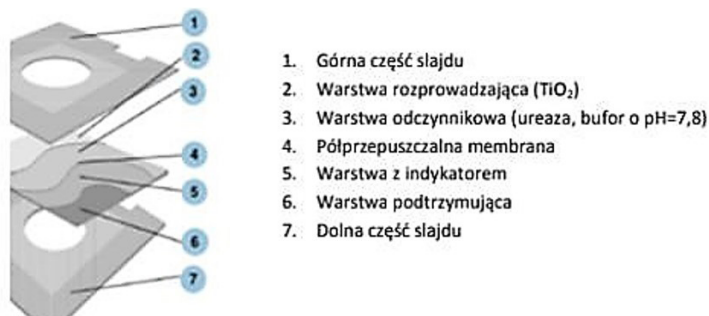
1. Górna część slajdu
2. Warstwa rozprzewadząca ( $\text{TiO}_2$ )
3. Warstwa odczynnikowa (oksydaza glukozy, peroksydaza, prekursorzy barwników, bufor o  $\text{pH}=5,0$ )
4. Warstwa podtrzymująca
5. Dolna część slajdu

Źródło: własne wg Instrukcji For Use Glu Vitros Chemistry Products Glu Slides, rok 2011

### 3. Oznaczenie stężenia mocznika

Metodą kolorymetryczną oznaczono stężenie mocznika w niniejszych badaniach. Oznaczenie stężenia mocznika przedstawiono przy pomocy slajdu (Rys.4.), na który nałożono 5,5  $\mu\text{l}$  surowicy pacjenta, a następnie równomiernie rozprowadzono po jego powierzchni. Po przejściu do głębszej warstwy odczynnikowej, w której mocznik w obecności ureazy będącej katalizatorem reakcji, został przekształcony w amoniak, czemu towarzyszyło uwolnienie  $\text{CO}_2$ . W momencie przejścia do warstwy wskaźnikowej, amoniak reagował z indykátorem w wyniku czego powstał barwny produkt. Następnie po pięciu minutach inkubacji w temperaturze  $37^\circ\text{C}$  przy długości fali 670 nm dokonano pomiaru natężenia barwy (Instrukcja obsługi 2016).

Rysunek 4. Budowa slajdu do oznaczania mocznika



Źródło: własne wg Instrukcji For Use Urea Vitros Chemistry Products Urea Slides, rok 2011

### 4. Oznaczenie osmolalności

Pomiar osmolalności surowicy został wykonany przy użyciu Osmometru Trident Med. 800CLG, metodą krioskopową. Przed wykonaniem każdej serii oznaczeń przeprowadzono 1-punktową kalibrację z wykorzystaniem wody destylowanej i oznaczano próbki kontrolne o wartościach 400  $\text{mOsm/kg H}_2\text{O}$  i 800  $\text{mOsm/kg H}_2\text{O}$ .

Surowicę pacjentów pozostałą po rutynowych oznaczeniach odpipetowano w ilości 250  $\mu\text{l}$  do próbówki typu eppendorf. Część badanych surowic była mrożona w temperaturze  $-20^\circ\text{C}$ . Ze świeżymi surowicami postępowano w następujący sposób: 100  $\mu\text{l}$  surowicy przenoszono do naczynka pomiarowego, tak aby nie powstały bąbelki powietrza. Probówkę osadzono na głowicy pomiarowej. Po upływie ok. 1,5 min odczytywano wartości osmolalności.

Natomiast surowice mrożone były rozmrażane w temperaturze pokojowej, następnie wirowane i postępowano z nimi jak z próbkami świeżymi. Na rysunku 5 przedstawiono schemat postępowania w oznaczaniu osmolalności w surowicy świeżej.

**Rysunek 5.** Oznaczenia osmolalności w świeżej surowicy krwi



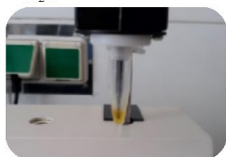
Próbki kontrolne o wartościach  $400 \text{ mOsm/kg H}_2\text{O}$  i  $800 \text{ mOsm/kg H}_2\text{O}$



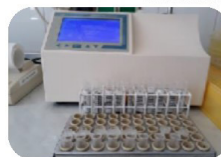
Surowica pacjentów pozostała po rutynowych oznaczeniach biochemicznych



Przygotowanie surowicy pacjentów do oznaczenia osmolalności



Nalożenie naczynka pomiarowego na głowicę pomiarową



Pomiar osmolalności i odczytanie wyniku

Źródło: opracowanie własne

## 5. Zasada metody

Podczas kriometrycznego pomiaru osmolalności badana próbka podlegała schładzaniu poniżej temperatury zamarzania. W przechłodzonej próbce zainicjowana została krystalizacja, w wyniku której powstał dwufazowy układ roztwór – kryształki lodu. Wydzielające się ciepło krystalizacji podnosi temperaturę układu, która dochodzi do wartości maksymalnej zależnej od osmolalności próbki. (Sztefko & Tomasik, 2015)

## II. ANALIZA STATYSTYCZNA

Uzyskane wyniki analizowano w grupach wiekowych pacjentów: Grupa A: dzieci od 1 dnia do 1 miesiąca życia (N=15); grupa B: dzieci w wieku od 1 miesiąca do 6 miesięcy życia (N=32); Grupa C: dzieci w wieku od 6 miesięcy do 12 miesięcy życia (N=21); grupa D: dzieci w wieku od 12 miesięcy do 24 miesięcy życia (N=21). Dla każdej próbki obliczono osmolalność surowicy korzystając z następujących wzorów (tabela 2):

**Tabela 2.** Wzory do oszacowania osmolalności wykorzystane w pracy

$Osm_{wzr.1}$	$2 [Na^+] + [Glu]$
$Osm_{wzr.2}$	$2 [Na^+] + 0,5 [moczniak]$
$Osm_{wzr.3}$	$1,89 [Na^+] + 1,38 [K^+] + 1,08 [Glu] + 1,03 [moczniak] + 7,47$
$Osm_{wzr.4}$	$1,86 [Na^+ + K^+] + [Glu] + [moczniak] + 10$
$Osm_{wzr.5}$	$2 [Na^+] + 0,9 [Glu] + 0,93 \times 0,5 [moczniak] + 8$
$Osm_{wzr.6}$	$1,86 [Na^+ + K^+] + [Glu] + [moczniak]$
$Osm_{wzr.7}$	$1,86 [Na^+ + K^+] + 1,15 [Glu] + [moczniak] + 14$
$Osm_{wzr.8}$	$1,09 ((1,86 \times [Na^+]) + [Glu] + [moczniak])$
$Osm_{wzr.9}$	$2 [Na^+] + [Glu] + [moczniak]$

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Fazekas i in. 2013, s. 302–308; Rasouli i Kalantari 2005, s. 635–640.

Analiza statystyczna została wykonana przy użyciu programu Statistica 13.3 (StatSoft) oraz Microsoft Office Excel 2010. Oceniono rozkład zmiennych ciągłych pod kątem jego zgodności z rozkładem normlanym stosując test Shapiro-Wilk'a. Średnie wartości osmolalności oszacowane ze wzorów porównano z wartością osmolalności oznaczoną metodą referencyjną testem Dunnetta. W celu oceny różnicy pomiędzy metodą referencyjną, a oszacowanymi ze wzorów wartościami użyto metody Blanda-Altmana, przyjmując średnią różnic  $\pm 2$  SD jako 95% zakres zgodności dla poszczególnych pomiarów. Dla określenia zależności pomiędzy badanymi metodami oznaczania/oszacowania przeprowadzono korelację Persona. Jako poziom istotny statystycznie przyjęto  $p < 0,05$ .

### III. WYNIKI

Porównano średnie wartości oszacowane za pomocą wzorów i oznaczone metodą krioskopową. Wyniki uzyskane w grupie A (dzieci w wieku od 1 dnia do 1 miesiąca życia) przedstawiono w tabeli 3. Średnie wartości osmolalności oszacowanej według wzorów:  $Osm_{wzr.1}$ ;  $Osm_{wzr.2}$ ;  $Osm_{wzr.3}$ ;  $Osm_{wzr.4}$ ;  $Osm_{wzr.6}$ ;  $Osm_{wzr.7}$ ;  $Osm_{wzr.9}$  były istotne statystycznie niższe względem osmolalności oznaczonej (odpowiednio:  $p < 0,000382$ ;  $p < 0,000011$ ;  $p < 0,000945$ ;  $p < 0,02504$ ;  $p < 0,0000080$ ;  $p < 0,000008$ ;  $p < 0,045411$ ). Średnie wartości osmolalności oszacowanej na podstawie  $Osm_{wzr.5}$  i  $Osm_{wzr.8}$  nie różniły się istotnie statystycznie względem osmolalności oznaczonej.



**Tabela 3.** Średnia wartość osmolalności oznaczonej ( $Osm_{ozn}$ ) oraz średnie wartości osmolalności oszacowanej za pomocą wzorów ( $\pm SD$ ) w grupie A

	Średnie mOsm/ kg H <sub>2</sub> O	$\pm SD$	p*
$Osm_{ozn}$	292,0	$\pm 12,3$	
$Osm_{wzr.1}$	281,0	$\pm 6,9$	0,000382
$Osm_{wzr.2}$	278,0	$\pm 7,0$	0,000011
$Osm_{wzr.3}$	282,0	$\pm 6,2$	0,000945
$Osm_{wzr.4}$	284,0	$\pm 6,6$	0,025045
$Osm_{wzr.5}$	290,0	$\pm 5,6$	0,990073
$Osm_{wzr.6}$	272,0	$\pm 6,1$	0,000008
$Osm_{wzr.7}$	284,0	$\pm 7,5$	0,000008
$Osm_{wzr.8}$	285,0	$\pm 6,4$	0,908453
$Osm_{wzr.9}$	285,0	$\pm 6,0$	0,045411

\*w stosunku do osmolalności oznaczonej

Kolorem czerwonym zaznaczono wartości p znamienne statystycznie

Źródło: opracowanie własne

Porównano średnie wartości osmolalności oszacowane za pomocą wzorów i oznaczone metodą krioskopową. Wyniki uzyskane w grupie B (dzieci w wieku od 1 do 6 miesiąca życia) przedstawiono w tabeli 4. Średnie wartości osmolalności oszacowanej ze wzorów:  $Osm_{wzr.2}$ ;  $Osm_{wzr.5}$ ;  $Osm_{wzr.7}$ ;  $Osm_{wzr.9}$  były istotnie statystycznie niższe względem osmolalności oznaczonej (odpowiednio:  $p < 0,003193$ ;  $p < 0,001047$ ;  $p < 0,000022$ ;  $p < 0,000044$ ). Średnie wartości osmolalności oszacowanej na podstawie  $Osm_{wzr.1}$ ;  $Osm_{wzr.2}$ ;  $Osm_{wzr.3}$ ;  $Osm_{wzr.6}$  i  $Osm_{wzr.8}$  nie różniły się istotnie statystycznie względem osmolalności oznaczonej.

**Tabela 4.** Średnia wartość osmolalności oznaczonej ( $Osm_{ozn}$ ) oraz średnie wartości osmolalności oszacowane za pomocą wzorów ( $\pm SD$ ) w grupie B .

	Średnie mOsm/ kg H <sub>2</sub> O	$\pm SD$	* p
$Osm_{ozn}$	294,0	$\pm 22,1$	
$Osm_{wzr.1}$	280,0	$\pm 3,3$	0,150642
$Osm_{wzr.2}$	275,0	$\pm 5,3$	0,982946
$Osm_{wzr.3}$	282,0	$\pm 5,9$	0,969029
$Osm_{wzr.4}$	282,0	$\pm 5,8$	0,003193
$Osm_{wzr.5}$	288,0	$\pm 5,5$	0,001047
$Osm_{wzr.6}$	272,0	$\pm 5,8$	0,068371
$Osm_{wzr.7}$	286,0	$\pm 5,9$	0,000022
$Osm_{wzr.8}$	295,0	$\pm 6,0$	0,998092

$Osm_{wzr.9}$	281,0	$\pm 5,7$	0,000044
---------------	-------	-----------	----------

\*w stosunku do osmolalności oznaczonej

Kolorem czerwonym zaznaczono wartości p znamienne statystycznie

Źródło: opracowanie własne

Następnie dokonano porównania średnich wartości osmolalności oszacowanych za pomocą wzorów i oznaczonych metodą krioskopową w kolejnej grupie wiekowej. Wyniki uzyskane w grupie C (dzieci w wieku od 6 do 12 miesięcy życia) przedstawiono w tabeli 5. Średnie wartości oszacowanych osmolalności na podstawie wzorów:  $Osm_{wzr.4}$ ;  $Osm_{wzr.5}$ ;  $Osm_{wzr.6}$ ;  $Osm_{wzr.7}$ ;  $Osm_{wzr.9}$  były istotnie statystycznie niższe względem osmolalności oznaczonej (odpowiednio:  $p < 0,000023$ ;  $p < 0,005473$ ;  $p < 0,000100$ ;  $p < 0,000013$ ;  $p < 0,000013$ ). Średnie wartości osmolalności oszacowanej na podstawie  $Osm_{wzr.1}$ ,  $Osm_{wzr.2}$ ,  $Osm_{wzr.3}$ ,  $Osm_{wzr.6}$  i  $Osm_{wzr.8}$  nie różniły się istotnie statystycznie względem osmolalności oznaczonej.

**Tabela 5.** Średnia wartość osmolalności oznaczonej ( $Osm_{ozn}$ ) oraz średnie wartości osmolalności oszacowanej za pomocą wzorów ( $\pm$  SD) w grupie C

	Średnie mOsm/ kg H <sub>2</sub> O	$\pm$ SD	p*
$Osm_{ozn}$	290,0	$\pm 5,6$	
$Osm_{wzr.1}$	280,0	$\pm 4,2$	0,509324
$Osm_{wzr.2}$	277,0	$\pm 3,7$	0,355454
$Osm_{wzr.3}$	283,0	$\pm 4,4$	0,264610
$Osm_{wzr.4}$	283,0	$\pm 4,4$	0,000023
$Osm_{wzr.5}$	289,0	$\pm 4,2$	0,005473
$Osm_{wzr.6}$	273,0	$\pm 4,3$	0,000100
$Osm_{wzr.7}$	288,0	$\pm 4,5$	0,000013
$Osm_{wzr.8}$	288,0	$\pm 4,7$	0,264120
$Osm_{wzr.9}$	283,0	$\pm 5,0$	0,000013

\*w stosunku do osmolalności oznaczonej

Kolorem czerwonym zaznaczono wartości p znamienne statystycznie

Źródło: opracowanie własne

Porównano również średnie wartości osmolalności oszacowane za pomocą wzorów i oznaczone metodą krioskopową. Wyniki uzyskane w grupie D (dzieci w wieku od 12 do 24 miesięcy życia) przedstawiono w tabeli 6. Średnie wartości osmolalności oszacowanej na podstawie wzorów:  $Osm_{wzr.4}$ ;  $Osm_{wzr.5}$ ;  $Osm_{wzr.6}$ ;  $Osm_{wzr.7}$ ;  $Osm_{wzr.9}$  były istotnie statystycznie niższe względem osmolalności oznaczonej (odpowiednio:  $p < 0,000017$ ;  $p < 0,001570$ ;  $p < 0,000201$ ;  $p < 0,000013$ ;  $p < 0,000019$ ). Średnie wartości osmolalności

oszacowanej na podstawie  $Osm_{wzr.1}$ ,  $Osm_{wzr.2}$ ,  $Osm_{wzr.3}$ ,  $Osm_{wzr.6}$  i  $Osm_{wzr.8}$  nie różniły się istotnie statystycznie względem osmolalności oznaczonej.

**Tabela 6.** Średnia wartość osmolalności oznaczonej ( $Osm_{ozn}$ ) oraz średnie wartości osmolalności oszacowanej na podstawie wzorów ( $\pm SD$ ) w grupie D.

	Średnie mOsm/ kg H <sub>2</sub> O	± SD	* p
$Osm_{ozn}$	288,8	±5,5	
$Osm_{wzr.1}$	279,0	±5,7	0,599942
$Osm_{wzr.2}$	276,0	±5,3	0,437123
$Osm_{wzr.3}$	282,0	±5,8	0,396868
$Osm_{wzr.4}$	288,0	±5,7	0,000017
$Osm_{wzr.5}$	289,0	±5,7	0,001570
$Osm_{wzr.6}$	272,0	±5,7	0,000201
$Osm_{wzr.7}$	287,0	±5,8	0,000013
$Osm_{wzr.8}$	283,0	±6,0	0,179182
$Osm_{wzr.9}$	283,0	±6,0	0,000019

\*w stosunku do osmolalności oznaczonej

Kolorem czerwonym zaznaczono wartości p znamienne statystyczne

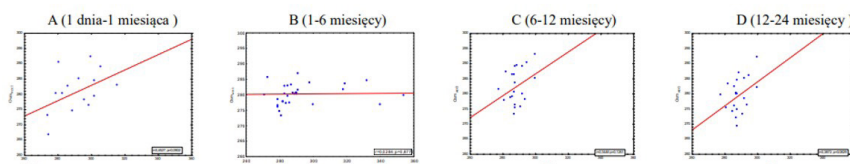
Źródło: opracowanie własne.

Stosunek pomiędzy wartościami osmolalności oznaczonymi za pomocą osmometru, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzorów w zależności od wieku dzieci.

Przeanalizowano zależność pomiędzy wartościami osmolalności oznaczonymi, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzorów w odniesieniu od wieku dzieci.

W żadnej grupie wiekowej nie uzyskano korelacji pomiędzy wartościami osmolalności oznaczonymi, a wartościami osmolalności obliczonymi ze wzoru:  $Osm = 2[Na^+] + [Glu]$ . Współczynniki korelacji były w zakresie od 0,028 do 0,45; p w zakresie od 0,09 do 0,87. Dane przedstawiono na rysunku 6.

**Rys.6.** Zależności pomiędzy osmolalnościami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanymi ze wzoru:  $2 [Na^+] + [Glu]$  w analizowanych grupach wiekowych (A, B, C, D).

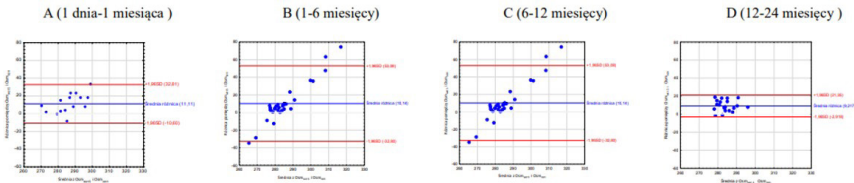


Źródło: Badania własne

Kolejnym krokiem było porównanie pomiędzy wartościami osmolalności oznaczonymi metodą krioskopową, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru:  $Osm = 2 [Na^+] + [Glu]$  (metoda graficzna Blanda-Altmana).

Analiza Blanda-Altmana wykonana w analizowanych grupach wiekowych wykazała średnią różnicę pomiędzy wartościami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru:  $Osm = 2 [Na^+] + [Glu]$  w zakresie od 9 do 11 mOsm/kg  $H_2O$ . 95% przedziały zgodności były w zakresie od -32 do 53 mOsm/kg  $H_2O$ . Otrzymano szersze 95% przedziały zgodności w grupie B i C niż A i D, co zostało przedstawione na rysunku 7.

**Rys. 7.** Wykresy Blanda-Altmana. Różnice pomiędzy poszczególnymi wynikami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru:  $2 [Na^+] + [Glu]$ .



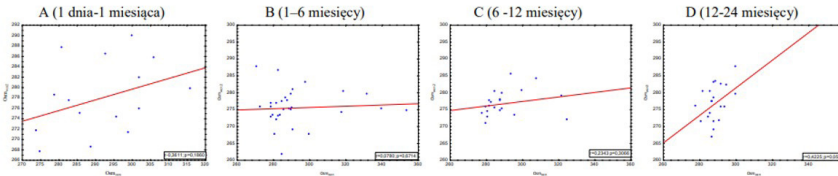
*Ciągła linia niebieska odpowiada błędowi systematycznemu, a czerwone wyznaczają 95% granice zgodności.*

*Źródło: Badania własne*

Zależność pomiędzy wartościami osmolalności oznaczonymi metodą krioskopową, a osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru:  $Osm = 2 [Na^+] + 0,5 [moczownik]$  w analizowanych grupach wiekowych nie wykazała korelacji.

Z badań wynika, że w żadnej grupie wiekowej nie uzyskano korelacji pomiędzy wartościami osmolalności oznaczonymi, a wartościami osmolalności obliczonymi na podstawie wzoru:  $Osm = 2 [Na^+] + 0,5 [moczownik]$ . Współczynniki korelacji były w zakresie od 0,079 do 0,42;  $p$  w zakresie od 0,056 do 0,67, co przedstawiono na rysunku 8.

**Rys.8.** Zależności pomiędzy osmolalnościami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanymi ze wzoru:  $2 [Na^+] + 0,5 [mocznik]$  w analizowanych grupach wiekowych (A, B, C, D).

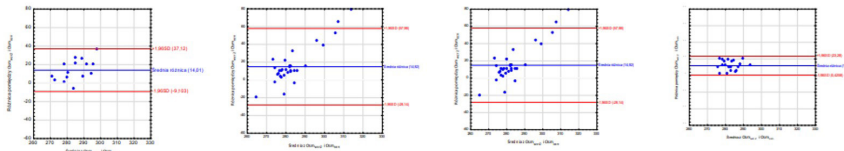


Źródło: Badania własne

Porównanie pomiędzy wartościami osmolalności oznaczonymi metodą krioskopową, a osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru  $Osm = 2 [Na^+] + 0,5 [mocznik]$  (metoda graficzna Blanda-Altmana).

Analiza Blanda-Altmana wykonana w analizowanych grupach wiekowych wykazała średnią różnicę pomiędzy wartościami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru:  $Osm = 2 [Na^+] + 0,5 [mocznik]$  w zakresie od 11 do 14 mOsm/kg  $H_2O$ . 95% przedziały zgodności były w zakresie od -28 do 57 mOsm/kg  $H_2O$ . Otrzymało szersze 95% przedziały zgodności w grupie B, C, A niż D, co przedstawie na rysunku 9.

**Rys.9.** Wykresy Blanda - Altmana. Różnice pomiędzy poszczególnymi wynikami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru:  $2 [Na^+] + 0,5 [mocznik]$

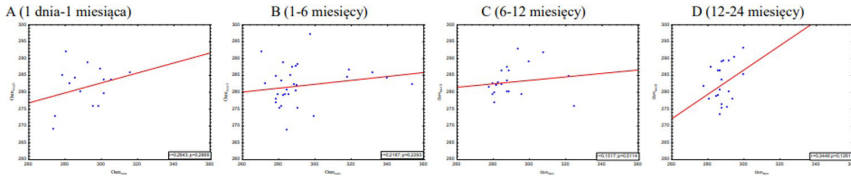


Ciągła linia niebieska odpowiada błędowi systematycznemu, a czerwone wyznaczają 95% granicę zgodności.

Źródło: Badania własne

W żadnej grupie wiekowej nie uzyskano korelacji pomiędzy wartościami osmolalności oznaczonymi, a wartościami osmolalności obliczonymi ze wzoru:  $Osm = 1,89 [Na^+] + 1,38 [K^+] + 1,08 [Glu] + 1,03 [mocznik] + 7,47$ . Współczynniki korelacji były w zakresie od 0,079 do 0,42; p w zakresie od 0,056 do 0,67, uzyskane dane przedstawiono na rysunku 10.

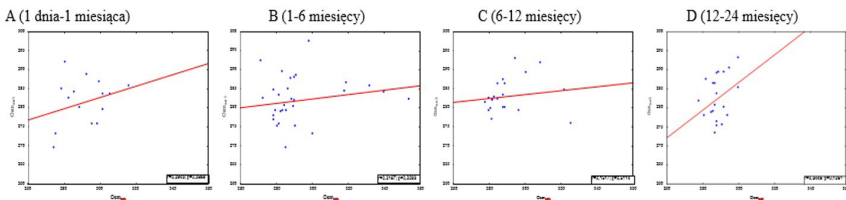
**Rys. 10.** Zależności pomiędzy wartościami osmolalności uzyskanymi metodą referencyjną a wartościami oszacowanymi ze wzoru  $1,89 [Na^+] + 1,38 [K^+] + 1,08 [Glu] + 1,03 [mocznik] + 7,47$  w wybranych grupach wiekowych (A, B, C, D)



Źródło: Badania własne

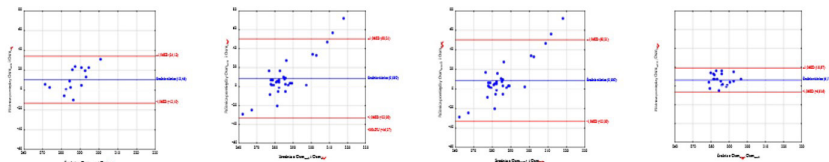
Porównanie pomiędzy wartościami osmolalności oznaczonymi metodą krioskopową, a osmolalnościami oszacowanymi na podstawie wzoru:  $Osm = 1,89 [Na^+] + 1,38 [K^+] + 1,08 [Glu] + 1,03 [mocznik] + 7,47$  (metoda graficzna Blanda-Altmana). Analiza Blanda-Altmana wykonana w analizowanych grupach wiekowych wykazała średnią różnicę pomiędzy wartościami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru:  $Osm = 1,89 [Na^+] + 1,38 [K^+] + 1,08 [Glu] + 1,03 [mocznik] + 7,47$  w zakresie od 6 do 8,5 mOsm/kg H<sub>2</sub>O. 95% przedziałów zgodności były w zakresie od -33 do 51 mOsm/kg H<sub>2</sub>O. Otrzymano szersze 95% przedziały zgodności w grupie B, C, A niż D, uzyskane dane zestawiono na rysunku 11 i 12.

**Rys.11.** Zależności między wartościami osmolalności uzyskanymi metodą referencyjną a wartościami oszacowanymi ze wzoru:  $1,89 [Na^+] + 1,38 [K^+] + 1,08 [Glu] + 1,03 [mocznik] + 7,47$  w analizowanych grupach wiekowych (A, B, C, D).



Źródło: badania własne

**Rys.12.** Wykresy Blanda-Altmana. Różnice pomiędzy poszczególnymi wynikami uzyskanymi metodą referencyjną a wartościami osmolalności oszacowanymi ze wzoru  $1,89 [Na^+] + 1,38 [K^+] + 1,08 [Glu] + 1,03 [mocznik] + 7,47$ .

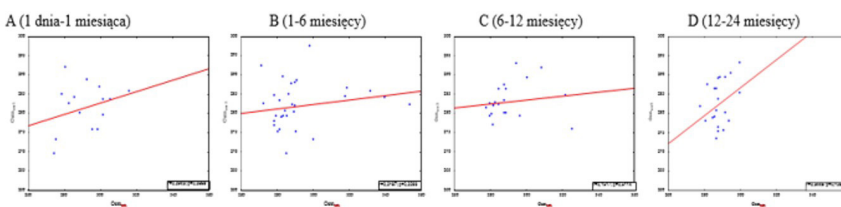


Ciągła linia niebieska odpowiada systematycznemu, a czerwone linie wyznaczają 95% granicę zgodności.

Źródło: badania własne

W żadnej grupie wiekowej nie uzyskano korelacji pomiędzy wartościami osmolalności oznaczonymi, a wartościami osmolalności obliczonymi ze wzoru:  $Osm = 1,86 [Na^+ + K^+] + [Glu] + [mocznik] + 10$ . Współczynniki korelacji były w zakresie od 0,12 do 0,42; p w zakresie od 0,11 do 0,59. Dane w tym zakresie przedstawiono na rysunku 13.

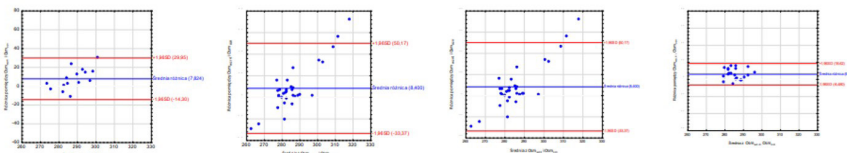
**Rys.13.** Zależności pomiędzy wartościami osmolalności uzyskanymi metodą referencyjną a wartościami oszacowanymi ze wzoru  $1,86 [Na^+ + K^+] + [Glu] + [mocznik] + 10$  w wybranych grupach wiekowych (A, B, C, D)



Źródło: Badania własne

Analiza Blanda-Altmana wykonana w analizowanych grupach wiekowych wykazała średnią różnicę pomiędzy wartościami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru:  $Osm = 1,86 [Na^+ + K^+] + [Glu] + [mocznik] + 10$  w zakresie od 6,8 do 8 mOsm/kg H<sub>2</sub>O. 95% przedziałów były w zgodności -33,4 do 50,3 mOsm/kg H<sub>2</sub>O. Otrzymano szersze 95% przedziały zgodności w grupie B, C, A niż D, co przedstawiono na rysunku 14.

**Rys.14.** Wykresy Blanda-Altmana. Różnice pomiędzy poszczególnymi wynikami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru  $1,86 [Na^+ + K^+] + [Glu] + [mocznik] + 10$



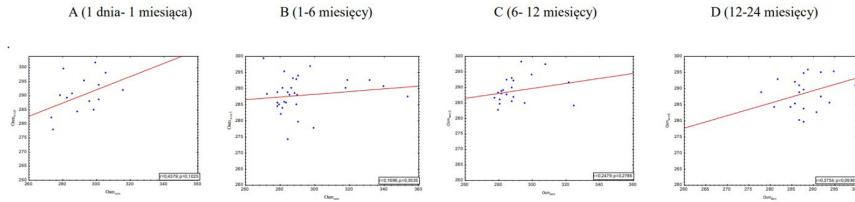
Ciągła linia niebieska odpowiada błędowi systematycznemu, a czerwone linie wyznaczają 95% granicę zgodności

Źródło: Badania własne

W żadnej grupie wiekowej nie uzyskano korelacji pomiędzy wartościami osmolalności oznaczonymi, a wartościami osmolalności obliczonymi ze wzoru:  $2 [Na^+] + 0,9 [Glu] + 0,93 (0,5 [mocznik] + 8)$ . Współczynniki korelacji

były w zakresie od 0,17 do 0,43; p w zakresie od 0,094 do 0,35. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 15.

**Rys.15.** Zależności pomiędzy wartościami osmolalności uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami oszacowanymi ze wzoru:  $2[Na^+] + 0,9[Glu] + 0,93 (0,5[mocznik]) + 8$  w analizowanych grupach wiekowych (A, B, C, D).

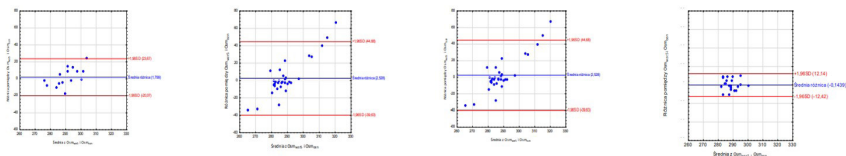


Źródło: Badania własne

Porównanie pomiędzy wartościami osmolalności oznaczonymi metodą krioskopową, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru  $2 [Na^+] + 0,9 [Glu] + 0,93 (0,5 [mocznik] + 8)$  (metoda graficzna Blanda- Altmana).

Analiza Blanda-Altmana wykonana w badanych grupach wiekowych wykazała średnią różnicę pomiędzy wartościami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru w zakresie -39,6 do 45 mOsm/kg H<sub>2</sub>O. Otrzymano szersze 95% przedziały zgodności w grupie B, C, A niż D, co przedstawiono na rysunku 16.

**Rys.16.** Wykresy Blanda- Altmana. Różnice pomiędzy poszczególnymi wynikami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanych na podstawie wzoru:  $2 [Na^+] + 0,9 [Glu] + 0,93 (0,5 [mocznik]) + 8$



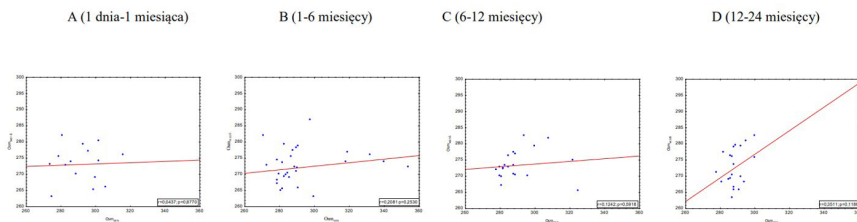
Ciągła linia niebieska odpowiada błędowi systematycznemu, a czerwone linie przerywane wyznaczają 95% granicę zgodności

Źródło: Badania własne

W żadnej grupie wiekowej nie uzyskano korelacji pomiędzy wartościami osmolalnościami oznaczonymi, a wartościami osmolalnościami obliczonymi ze wzoru:  $Osm = 1,86 [Na^+ + K^+] + [Glu] + [mocznik]$ . Współczynniki korelacji były w zakresie od 0,044 do 0,13; p w zakresie od 0,12 do 0,87. Uzyskane dane przedstawiono na rysunku 17.



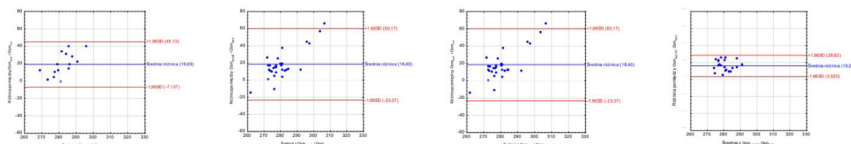
**Rys.17.** Zależności pomiędzy wartościami osmolalności uzyskanymi metodą referencyjną a wartościami oszacowanymi ze wzoru:  $1,86 [Na^+ + K^+] + [Glu] + [moczni\ k]$  w analizowanych grupach wiekowych (A, B, C, D)



Źródło: Badania własne

Analiza Blanda-Altmana wykonana w analizowanych grupach wiekowych wykazała średnią różnicę pomiędzy wartościami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru:  $Osm = 1,86 [Na^+ + K^+] + [Glu] + [moczni\ k]$  w zakresie od 16 do 19 mOsm/kg  $H_2O$ . 95% przedziały zgodności były w zakresie od -23,4 do 60,2 mOsm/kg  $H_2O$ . Otrzymano szersze 95% przedział zgodności w grupie B, C, A niż D co przedstawiono na rysunku 18.

**Rys.18.** Wykresy Blanda-Altmana. Różnice pomiędzy poszczególnymi wynikami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru:  $1,86 [Na^+ + K^+] + [Glu] + [moczni\ k]$

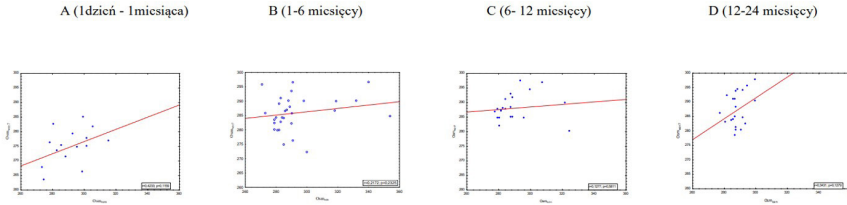


Ciągła linia niebieska odpowiada błędowi systematycznemu, a czerwone linie wyznaczają 95% granicę zgodności

Źródło: Badania własne

W żadnej grupie wiekowej nie uzyskano korelacji pomiędzy wartościami osmolalnościami oznaczonymi, a wartościami osmolalnościami obliczonymi ze wzoru:  $Osm = 1,86 [Na^+ + K^+] + 1,15[Glu] + [moczni\ k] + 14$ . Współczynniki korelacji były w zakresie od 0,128 do 0,43;  $p$  w zakresie od 0,12 do 0,58 co przedstawiono na rysunku 19.

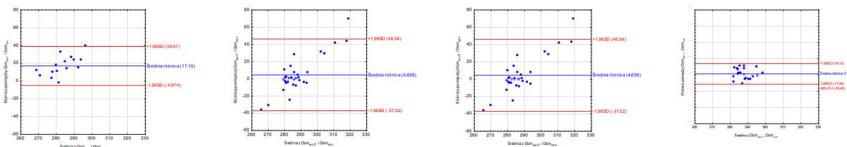
**Rys.19.** Zależności pomiędzy wartościami osmolalności uzyskanymi metodą referencyjną a wartościami oszacowanymi ze wzoru  $1,86 [Na^+ + K^+] + 1,15 [Glu] + [mocznik] + 14$  w analizowanych grupach wiekowych (A, B, C, D)



Źródło: Badania własne

Analiza Blanda-Altmana wykonana w analizowanych grupach wiekowych wykazała średnią różnicę pomiędzy wartościami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru:  $Osm = 1,86 [Na^+ + K^+] + 1,15 [Glu] + [mocznik] + 14$  w zakresie 1,35 do 4,6 mOsm/kg  $H_2O$ . 95% przedziały zgodności były w zakresie od 37,2 do 46,3 mOsm/kg  $H_2O$ . Otrzymano szersze 95% przedziały zgodności w grupie B, C, A niż D co przedstawiono na rysunku 20.

**Rys.20.** Wykresy Blanda-Altmana. Różnice pomiędzy poszczególnymi wynikami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanych na podstawie wzoru  $1,86 [Na^+ + K^+] + 1,15 [Glu] + [mocznik] + 14$

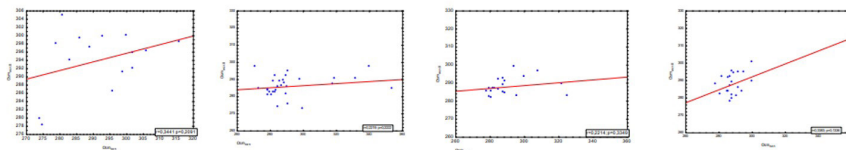


Ciągła linia niebieska odpowiada błędowi systematycznemu, a czerwone linie wyznaczają 95% granicę zgodności

Źródło: Badania własne

W żadnej grupie wiekowej nie uzyskano korelacji pomiędzy wartościami osmolalności oznaczonymi, a wartościami osmolalności obliczonymi ze wzoru:  $Osm = 1,09 ((1,86 [Na^+] + [Glu] + [mocznik]))$ . Współczynniki korelacji były w zakresie od 0,22 do 0,38; p w zakresie od 0,13 do 0,33 co przedstawiono na rysunku 21.

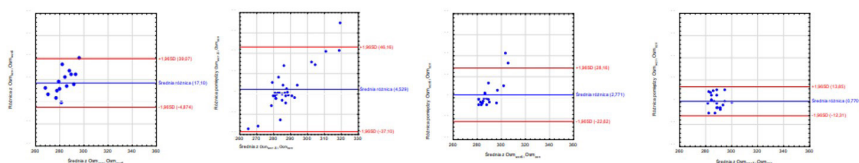
**Rys.21.** Zależności pomiędzy wartościami osmolalności uzyskanymi metodą referencyjną a wartościami oszacowanymi ze wzoru  $1,09 ((1,86 [Na^+]) + [Glu] + [moczniak])$  w analizowanych grupach wiekowych (A, B, C, D)



Źródło: Badania własne

Analiza Blanda-Altmana wykonana w analizowanych grupach wiekowych wykazała średnią różnicę pomiędzy wartością oznaczoną metodą referencyjną, a wartością osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru:  $Osm = 1,09 ((1,86 [Na^+]) + [Glu] + [moczniak])$  w zakresie od 0,77 do 17,11 mOsm/kg  $H_2O$ . 95% przedziały zgodności były w zakresie od -37,2 do 46,2 mOsm/kg  $H_2O$ . Otrzymano szersze 95% przedziały zgodności w grupie B, C, A niż D co przedstawiono na rysunku 22.

**Rys. 22.** Wykresy Blanda-Altmana. Różnice pomiędzy poszczególnymi wynikami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru  $1,09 ((1,86 [Na^+]) + [Glu] + [moczniak])$

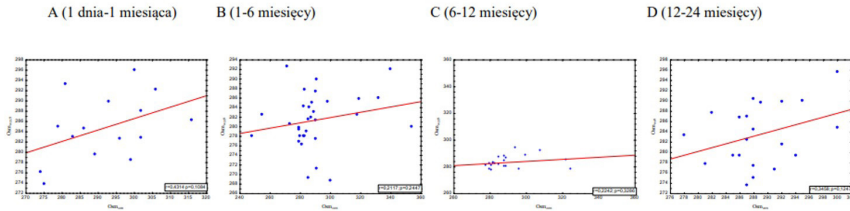


Ciągła linia niebieska odpowiada błędowi systematycznemu, a czerwone linie wyznaczają 95% granicę zgodności

Źródło: Badania własne

W żadnej grupie wiekowej nie uzyskano korelacji pomiędzy wartościami osmolalności oznaczonymi, a wartościami osmolalności obliczonymi ze wzoru:  $Osm = 2 [Na^+] + [Glu] + [moczniak]$ . Współczynniki korelacji były w zakresie od 0,22 do 0,44; p w zakresie od 0,13 do 0,33 co przedstawiono na rysunku 23.

**Rysunek 23.** Zależności pomiędzy wartościami osmolalności uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami oszacowanymi ze wzoru  $2 [Na^+] + [Glu] + [mocznik]$  w analizowanych grupach wiekowych (A, B, C, D)

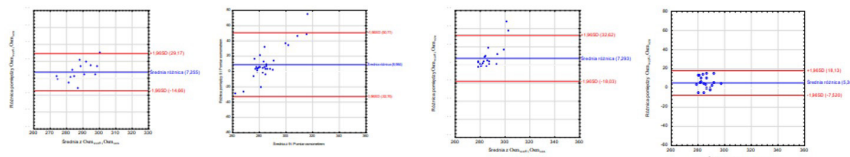


Źródło: Badania własne

Porównanie pomiędzy wartościami osmolalności oznaczonej metodą krioskopową, a wartościami oszacowanymi na podstawie wzoru:  $Osm = 2 [Na^+] + [Glu] + [mocznik]$  w analizowanych grupach wiekowych (metoda graficzna Blanda-Altmana).

Analiza Blanda-Altmana wykonana w analizowanych grupach wiekowych wykazała średnią różnicę pomiędzy wartościami uzyskanymi metodą referencyjną a wartościami osmolalności oszacowanymi na podstawie wzoru:  $Osm = 2 [Na^+] + [Glu] + [mocznik]$  w zakresie od 5,5 do 8,98 mOsm/kg  $H_2O$ . 95% przedziały zgodności były w zakresie od -32,75 do 50,7 mOsm/kg  $H_2O$ . Otrzymano szersze 95% przedziały zgodności w grupie B, C, A niż D co przedstawiono na rysunku 24.

**Rys.24.** Wykresy Blanda-Altmana. Różnice pomiędzy poszczególnymi wynikami uzyskanymi metodą referencyjną, a wartościami osmolalności oszacowanych na podstawie wzoru  $2 [Na^+] + [Glu] + [mocznik]$



Ciągła linia niebieska odpowiada błędowi systematycznemu, a czerwone linie wyznaczają 95% granicę zgodności

Źródło: Badania własne

## IV. DYSKUSJA

Nieprawidłowa osmolalność pozwala na stwierdzenie obecności substancji osmotycznie czynnych w surowicy krwi. Parametr ten jest pomocny w diagnozowaniu zatrucia toksynami i alkoholem metylowym. U małych dzieci osmolalność jest oznaczana w przypadku moczówki prostej, hiponatremii,

a także w różnicowaniu kwasów metabolicznych, diagnozowaniu powikłań cukrzycy oraz zatrucia wodnego. (Dart, 2004)

Nie wszystkie laboratoria diagnostyczne oznaczają osmolalność w surowicy i/lub moczu za pomocą osmometru, osmolalność jest natomiast często oszacowywana za pomocą jednego z wielu dostępnych wzorów. Jest niewiele doniesień literaturowych, które porównywałyby wartości osmolalności oznaczonej z wartościami wyliczonymi i badania te były przeprowadzane głównie w grupie pacjentów dorosłych.

W niniejszej pracy porównano wartości osmolalności zmierzonej metodą krioskopową z wartościami oszacowanymi na podstawie wzorów. Oznaczenia wykonano w próbkach pobranych od małych dzieci w wieku do 2 lat. (Giaccoia, et al., 1992) oznaczali osmolalność w surowicy krwi u 60 noworodków z niską masą urodzeniową (<1000g), w pierwszym tygodniu życia. Badanie zostało przeprowadzone metodą krioskopową, a otrzymane wyniki porównano z wartościami oszacowanymi na podstawie wzoru:  $Osm = 2 [Na^+] + [Glu] + [moczniak]$ . U dzieci z niską masą urodzeniową średnie wartości osmolalności zmierzonej były wyższe niż wartości uzyskane z obliczeń. Osmolalność zmierzona u dzieci z masą urodzeniową <1000g wynosiła  $336 \pm 13$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O, a dla dzieci z masą urodzeniową >1000g wynosiła  $298 \pm 20$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O. W niniejszej pracy średnia wartość osmolalności dla wszystkich grup wyznaczonych wynosiła  $296 \pm 5,6$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O i była porównywalna z wartościami otrzymanymi dla dzieci z masą urodzeniową >1000g.

(Nematbakhsh i in., 2008) również przeprowadzili badanie u noworodków (N=220) z oddziału intensywnej terapii (ang. *Intensive Care Unit* - ICU). Porównali osmolalność oznaczoną i obliczoną według 11 różnych wzorów, w tym wzoru  $Osm = 2 [Na^+] + [Glu] + [moczniak]$ , zastosowanego też w niniejszej pracy. Osmolalności zmierzone wynosiły odpowiednio dla ICU ( $286,0 \pm 21,7$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O) i NICU ( $260,00 \pm 12,4$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O), a oszacowane na podstawie wzorów dla ICU  $281,7 \pm 12,2$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O; natomiast dla NICU  $285,0 \pm 14,6$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O. W niniejszej pracy średnia wartość osmolalności zmierzonej u noworodków wynosiła ( $292,0 \pm 12,3$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O), a osmolalność obliczona według wzoru  $Osm = 2[Na^+] + [Glu] + moczniak$  wynosiła  $286,0 \pm 6,0$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O. W przytoczonych badaniach dla noworodków z oddziału intensywnej terapii, jak również w obecnej pracy średnie wartości osmolalności oszacowanej na podstawie wzoru były niższe niż wartości osmolalności oznaczonej (Nematbakhsh i in., 2008; Rasouli & Kalantari, 2005) porównywali wartość osmolalności zmierzonej metodą krioskopową z wartościami oszacowanymi na podstawie 18

wzorów w tym dwóch zastosowanych w niniejszej pracy:  $Osm = 2[Na^+] + [Glu]$  oraz  $Osm = 2[Na^+] + [Glu] + \text{mocznik}$ . Badania przeprowadzone zostały w grupie 210 osób dorosłych. Pacjenci zostali podzieleni według jednostki chorobowej: cukrzyca, niewydolność nerek, hiper- oraz hiponatremia. Współczynniki korelacji wynosiły 0, dla wzoru  $Osm = 2[Na^+] + [Glu]$  i 0,752 dla wzoru  $Osm = 2[Na^+] + [Glu] + [\text{mocznik}]$ . w niniejszej pracy współczynniki korelacji pomiędzy wartościami osmolalności zmierzonymi, a obliczonymi według powyższych wzorów nie były istotne statystycznie. (Rasouli & Kalantari, 2005) wykazali, że wartości osmolalności oszacowane ze wzorów, które nie uwzględniają stężenia mocznika w surowicy mają niski współczynnik korelacji z oznaczoną wartością osmolalności. Natomiast wzory, uwzględniające stężenie mocznika mają współczynnik korelacji wyższy. W niniejszej pracy, gdzie grupą badaną były dzieci otrzymano podobne wyniki.

Kay Weng Choy in. (Kay Weng Choy, et al., 2016) porównywali wartość osmolalności oznaczonej metodą referencyjną z wartością oszacowaną według różnych wzorów w tym jednego z zastosowanych w obecnej pracy:  $Osm = 2 [Na^+] + [Glu] + [\text{mocznik}]$ . Oznaczenia wykonano u 192 pacjentów w wieku od 6 dni do 17 lat. Byli to pacjenci z zakażeniami wirusowymi i bakteryjnymi oraz nieżytem żołądka i jelit. Średnia wartość osmolalności zmierzonej to  $284,2 \pm 6,9$  mOsm/kg  $H_2O$  oraz osmolalności oszacowanej to  $280 \pm 5,2$  mOsm/kg  $H_2O$ . Szacunku odbyły się na podstawie powyższego wzoru. Jednakże, wyniki nie różniły się istotnie statystycznie pomiędzy sobą. Podczas gdy w niniejszej pracy średnia wartości osmolalności wynosiła: dla noworodków (grupa A)  $285,0 \pm 6,0$  mOsm/kg  $H_2O$ , dla niemowląt (grupa B)  $281,0 \pm 5,7$  mOsm/kg  $H_2O$ , dla dzieci w wieku od 6 do 12 miesiąca życia (grupa C)  $283,0 \pm 5$  mOsm/kg  $H_2O$ , a dla dzieci w wieku od 12 do 24 miesięcy życia (grupa D)  $283,0 \pm 6$  mOsm/kg  $H_2O$ . Najmniejsze różnice pomiędzy zmierzoną wartością osmolalności, a wartością oszacowaną ze wzoru otrzymano dla dzieci od 6 do 12 miesiąca życia (Kay Weng Choy, et al., 2016)

Edijanto i wsp. (Edijanto S., 2005) porównywali wartości osmolalności zmierzonej oraz obliczonej na podstawie 35 różnych wzorów. Do celów badawczych wybrano następujące wzory:

- $Osm = 2 [Na^+] + [Glu] + [\text{mocznik}]$ ,  $Osm = 1,86 [Na^+ + K^+] + [Glu] + [\text{mocznik}] + 10$ ;
- $Osm = 1,86 [Na^+ + K^+] + [Glu] + [\text{mocznik}]$ ;
- $Osm = 1,86 [Na^+] + 1,38 [K^+] + 1,08 [Glu] + 1,03 [\text{mocznik}] + 7,47$ .

Oznaczenia wykonano u 64 osób dorosłych (kobiety i mężczyźni), w wieku od 40 do 60 lat. Średnia wartość osmolalności zmierzonej dla kobiet wynosiła  $284,28 \pm 3,60$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O, a dla mężczyzn  $283,50 \pm 5,70$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O. Wartości oszacowane na podstawie wyżej wymienionych wzorów odpowiednio dla mężczyzn i kobiet wynosiły:

- dla pierwszego wzoru:  $Osm = 2 [Na^+] + [Glu] + [mocznik]$   $290,82 \pm 2,83$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O i  $287,80 \pm 3,75$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O;
- dla drugiego wzoru:  $Osm = 1,86 [Na^+ + K^+] + [Glu] + [mocznik] + 10$  wynosiły:  $289,27 \pm 2,95$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O i  $286,45 \pm 3,72$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O;
- dla trzeciego wzoru:  $Osm = 1,86 [Na^+ + K^+] + [Glu] + [mocznik]$  wynosi  $277,81 \pm 2,94$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O i  $275,01 \pm 3,70$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O;
- oraz dla czwartego wzoru  $Osm = 1,89 [Na^+] + 1,38 [K^+] + 1,08 [Glu] + 1,03 [mocznik] + 7,47$  wynosiły:  $285,21 \pm 2,63$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O i  $282,87 \pm 3,42$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O.

Według Edijanta i wsp. (Edijanto S., 2005) średnia wartości osmolalności oznaczonej za pomocą osmometru, a oszacowana na podstawie wzoru nie wykazuje istotnej statystycznie różnicy dla wzoru  $Osm = 1,89 [Na^+] + 1,38 [K^+] + 1,08 [Glu] + 1,03 [mocznik] + 7,47$ .

Natomiast dla wzoru  $Osm = 2 [Na^+] + [Glu] + [mocznik]$  średnia wartość osmolalności zmierzonej jest niższa niż wyliczona z powyższego wzoru. Dla pozostałych dwóch wzorów średnie wartości osmolalności oznaczonej są wyższe niż wartości obliczone.

W niniejszej pracy wykazano, że średnie wartości osmolalności oznaczonej, w każdej z czterech analizowanych grup wiekowych, były istotnie statystycznie niższe względem osmolalności oszacowanej na podstawie powyższych wzorów.

Fazekas i in. (Fazekas A.S & i in, 2013) porównali z kolei osmolalność zmierzona metodą referencyjną i oszacowaną według 36 różnych wzorów, w tym wzorów zastosowanych w niniejszej pracy:

- $Osm = 2 [Na^+] + [Glu]$ ;
- $Osm = 2 [Na^+] + 0,5 [mocznik]$ ;
- $Osm = 1,89 [Na^+] + 1,38 [K^+] + 1,08 [Glu] + 1,03 [mocznik] + 7,47$ ;
- $Osm = 1,86 [Na^+ + K^+] + [Glu] + [mocznik] + 10$ ;
- $Osm = 2 [Na^+] + 0,9 [Glu] + 0,93 (0,5 [mocznik]) + 8$ ;
- $Osm = 1,86 [Na^+ + K^+] + 1,15 [Glu] + [mocznik] + 14$ ;
- $Osm = 1,09 ((1,86 [Na^+]) + [Glu] + [mocznik])$ .

Oznaczenia wykonano u 236 osób w wieku 17-88 lat. Średnia wartość osmolalności zmierzonej wynosiła  $291 \pm 9$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O, a wartości osmolalności obliczone według wzorów wynosiły odpowiednio:

1. wzór 1 ( $288,7 \pm 7,3$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O);
2. wzór 2 ( $286,0 \pm 7,5$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O);
3. wzór 3 ( $293,4 \pm 8,5$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O);
4. wzór 4 ( $293,3 \pm 8,4$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O);
5. wzór 5 ( $299,3 \pm 7,5$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O);
6. wzór 6 ( $283,4 \pm 8,4$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O);
7. wzór 7 ( $296,0 \pm 8,6$  mOsm/kg H<sub>2</sub>O).

Średnie wartości osmolalności obliczonej z wyżej wymienionych wzorów w analizowanych czterech grupach wiekowych były istotnie statystycznie niższe względem osmolalności oznaczonej.

W przeprowadzonych badaniach zauważono, że bez względu na zastosowany wzór, korelacje pomiędzy oznaczonymi wartościami osmolalności, a wartościami osmolalności oszacowanymi ze wzorów w grupie dzieci w wieku od 12 do 24 miesiąca życia były na granicy istotności statystycznej. W tej grupie wiekowej analiza Blanda-Altmana wykazała również najmniejszy 95% przedział zgodności. (Fazekas A.S & i in, 2013)

## PODSUMOWANIE

Otrzymane wyniki były trudne do porównania z uwagi na fakt, że mało jest wyników badań o tej tematyce wśród małych dzieci. Wyniki oznaczonej osmolalności porównano z wynikami wartości osmolalności oszacowanej na podstawie dziewięciu wzorów. W przeprowadzonych badaniach stwierdzono, że bez względu na zastosowany wzór, istotne korelacje pomiędzy oznaczoną osmolalnością, a obliczoną na podstawie wzorów otrzymano tylko w przypadku próbek uzyskanych od dzieci w wieku od 12 do 24 miesięcy. Analiza Blanda-Altmana wykazała najmniejszy 95% przedziału zgodności. W związku z tym wstępne wyniki uzyskane w niniejszym artykule sugerują potrzebę ich zweryfikowania w większych grupach dzieci do dwóch lat, a także porównanie osmolalności zmierzonej i obliczonej u starszych dzieci.

U dzieci do drugiego roku życia nie powinno się obliczać osmolalności za pomocą wzorów tylko oznaczać przy użyciu osmometru.



## BIBLIOGRAFIA

Brown, R.

1996 *Zaburzenia równowagi wodnej i sodowej*. Medycyna po dyplomie.

Ciechanowski, K.

2011 *Hipo- i hipernatremia — przyczyny i zasady terapii*. Zagadnienia współczesnej nefrologii, 4(4).

Dart R.C.

2004 *Medical Toxicology*. Lippincott Williams & Wilkin.

Dembińska-Kieć, A., Naskalski, J. i Solnica, B.

2010 *Diagnostyka laboratoryjna z elementami biochemii klinicznej*. IV red. Wrocław: Elsevier Urban & Partner.

Edijanto S.

2005 *Serum Osmolal Gap in Healthy Persons*. Folia Med. (Plovdiv), 41(1).

Fazekas A.S i in.

2013 *Evaluation of 36 formulas for calculating plasma osmolality*. Intensive Care Med., 39(2).

Giacoa G.P., Miranda M., West K. I.

1992 *Measured vs calculated plasma osmolality in infants with very low birth weights*. Am J Dis Child.

Gus, K. i inni

2016 *Harmonising Reference Intervals for Three Calculated Parameters used in Clinical Chemistry*. Clin Biochem Rev.

Kay Weng Choy, Nilika N. W. i Zhong, X. L.,

2016 *Harmonisation of Osmolal Gap – Can We Use a Common Formula?*. Clin Biochem Rev, 37(3).

Nematbakhsh M. (i in.)

2008 *Measured vs. calculated plasma osmolality in infants and head injured patients in critical care units*. Clin. Exp. Med. Lett, 49(4).

Rasouli M. i Kalantari K.

2005 *Comparison of methods for calculating serum osmolality: Multivariate linear regression analysis*. Clin. Chem. Lab. Med., 43(6).

Sztefko K., Tomasik, P.

2015 *Metody analityczne w technologii suchej chemii. [w:] Medyczne laboratorium diagnostyczne. Metodyka i aparatura. Warszawa: PWZL.*

Terris M., Crean, P.

2012 *Fluid and elektroyte balance in children. Intensive Care Med.*

## RECOMMENDED FORMULAS FOR CALCULATING OSMOLITY IN CHILDREN UP TO 2 YEARS OLD

**Abstract:** Serum osmolality is a parameter that we can measure using an osmometer as well as estimate based on one of many available patterns. The simplest equations contain the concentration of sodium, potassium and urea ions. Direct measurement of kidney osmolality allows the detection of osmotically active substances in the blood and urine. Therefore, it is helpful in monitoring patients with renal insufficiency, in differentiating metabolic acidosis, diagnosing diabetes, diabetes insipidation and water insipidation complications, as well as adrenal insufficiency. The aim of the study was to compare the osmolality value determined using an osmometer and calculated on the basis of selected serum samples of children up to 2 years of age. 100 children aged up to 2 years participated in the study and were divided into four age groups A (from 1 day to 1 month) B (from 1 month to 6 months) C (from 6 months to 12 months) D (from 12 months to 24 months). In the serum of children, the concentration of sodium and potassium ions, urea and osmolality were determined. The results of the determined osmolality were compared with the results of osmolality estimated on the basis of 9 models. In the conducted studies, it was noticed that the absolute for the applied formula, correlations between the determined osmolality value and the osmolality values estimated on the basis of the formulas in the analyzed group D (from 12 to 24 months) were on the border of statistical significance. In children up to the age of two, osmolality should not be calculated by means of the formulas and should only be measured using an osmometer.

**Keys:** hiponatremia; hipernatremia, osmolality, water,



# ORTOREKSJA - WSPÓŁCZESNE ZABURZENIE ODŻYWIANIA ZWIĄZANE Z NIEPRAWIDŁOWYMI WZORCAMI ŻYWIENIA

**Streszczenie:** Celem artykułu jest omówienie wpływu nasilających się w ostatnich latach niekorzystnych zachowań żywieniowych, na kształtowanie się nawyków żywieniowych.. Przestrzeganie zasady zdrowego żywienia, które upowszechnia się w społeczeństwie polskim, jest bez wątpienia zjawiskiem pozytywnym, jednak przesadne dbanie o prawidłowo skomponowaną dietę może doprowadzić do choroby. Ortoreksja, jak każda inna choroba niesie za sobą szereg negatywnych konsekwencji dla zdrowia.. Wynikają one z niewłaściwego sposobu odżywiania się, który prowadzi do nieodpowiedniego odżywienia organizmu. Przytoczone zachowania żywieniowe, które można określić mianem obsesji, utrudniają życie jednostkom i negatywnie wpływają na ich funkcjonowanie w społeczeństwie. Pandemia COVID-19 również przyczyniła się do wzrostu zachorowań na zaburzenia odżywiania, w tym ortoreksji.

**Słowa kluczowe:** ortoreksja, zaburzenia odżywiania, pandemia, COVID 19

## WSTĘP

Ortoreksja (orthorexia nervosa, ON) definiowana jest jako patologiczne, obsesyjno-kompulsywne zaburzenie, które przejawia się nadmiernym skupieniem uwagi na zdrowym odżywianiu. Pomimo chęci prowadzenia zdrowego

---

<sup>1</sup> Instytut Nauk o Zdrowiu, Wydział Nauk Medycznych i Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

<sup>2</sup> Instytut Nauk o Zdrowiu, Wydział Nauk Medycznych i Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

trybu życia przez chorego, prowadzi ono do ograniczonego funkcjonowania w codziennym życiu i niedożywienia organizmu (Cena i in. 2019, s. 209–246). Istotą opisywanego zaburzenia jest podejmowanie zachowań żywieniowych, polegających na zbyt rygorystycznym kontrolowaniu diety, wartości odżywczej spożywanej żywności, przesadnej dbałości o jakość produktów, które w założeniu mają doprowadzić do zapewnienia optymalnego i pożądanego stanu zdrowia. Ortorektycy poświęcają bardzo dużo czasu na dokładne sprawdzenie źródła, z jakiego pochodzi dany produkt, metody jego przetworzenia, jak również sposobu przygotowania posiłku czy ilości środków konserwujących dodanych do spożywanych produktów. Czynnikiem wpływającym na ich wybory konsumenckie są także materiały, które zostały użyte do pakowania artykułu (Łucka i in. 2019, s. 371–382).

Nasilające się w ostatnich latach niekorzystne zachowania żywieniowe i modne trendy przekładają się na kształtowanie codziennych nawyków żywieniowych, które w dalszej konsekwencji przenoszą się na regularne zwyczaje żywieniowe. Wielu producentów żywności w odpowiedzi na “prozdrowotne” zachowania wprowadza na rynek coraz więcej nowych produktów, które teoretycznie mają być lepsze od pozostałych, ze względu na swoje pochodzenie, metodę uprawy lub wytworzenia, co wzbudza zainteresowanie osób dotkniętych ortoreksją (Gortat, Samardakiewicz i Perzyński 2021, s. 421-433).

Ortoreksja prowadzi do skrajnych zachowań, które w efekcie powodują ograniczanie jedzenia. Strach przed konsumpcją produktu potencjalnie “skażonego” jest silniejszy od chęci i potrzeby spożycia pokarmu. Przytoczona konsekwencja obsesji na punkcie zdrowej żywności prowadzi do skrajnych niedoborów i powikłań podobnych jak w innych, poważnych zaburzeniach odżywiania - np. anoreksji (Gkiouleka i in. 2022, s. 365).

## PATOGENEZA ORTOREKSJI

Definicję omawianego schorzenia do obiegu naukowego wprowadził w 1997 roku Steven Bartman, opisując je jako nadmierne zainteresowanie tematem jedzenia, sposobem przygotowywania posiłków - zgodnie z pewnymi zasadami i dostosowania swojego życia do diety, która staje się z biegiem czasu bardzo restrykcyjna. Przyczyną zaburzenia odżywiania, jakim jest ortoreksja, są zmiany w podłożu psychicznym chorego. Stopniowo dochodzi do eliminacji kolejnych produktów z codziennego jadłospisu, ponieważ – według osoby cierpiącej na ortoreksję – mogą one potencjalnie stanowić zagrożenie dla jej zdrowia. Obniżenie nastroju i poczucie winy, które występuje

po nietrzymaniu się przyjętych zasad i założeń wpływa na psychikę chorego i napędza kolejne ekstremalne działania (Kaczyńska 2016, s. 3-4).

Zachowania typowe dla tej jednostki chorobowej to przede wszystkim: obsesyjne stosowanie się do diety, którą kontroluje się samemu, unikanie spotkań towarzyskich ze względu na ryzyko niespełnienia stawianych sobie wymagań, maniakalne stronienie od żywności zawierającej barwniki, konserwanty, aromaty i inne dodatki uważane za niezdrowe, unikanie “nieekologicznej żywności” czy produkowanej w sposób genetycznie zmodyfikowany, samodzielne przygotowywanie, potraw w celu utrzymania kontroli nad ich jakością i sposobem przyrządzania. Bardzo często ortoreksja jest niezauważalna, ponieważ bliscy chorego nie dostrzegają skutków występującego zaburzenia, traktując je jako naturalny przejaw dbałości o zdrowie. Choroba zaczyna się wtedy, gdy wszystkie wymienione wyżej zachowania stają się priorytetowe w życiu osoby cierpiącej na ortoreksję (Gubiec i in. 2015, s. 50-100).

## SKUTKI ZDROWOTNE ORTOREKSJI

Ortoreksja, jak każda inna choroba niesie za sobą szereg negatywnych konsekwencji dla zdrowia, który skutkują nieodpowiednim odżywieniem organizmu. Niedożywienie w dłuższym przedziale czasowym powoduje nieprawidłową pracę narządów wewnętrznych, a także upośledzenie funkcjonowania całego organizmu. Charakterystycznymi objawami tego stanu są bóle i zawroty głowy, problemy z koncentracją, prawdopodobne jest również wystąpienie bólu brzucha i nudności. Wyniki badań naukowych obejmujących okres 10 lat, wskazują że wysoka częstotliwość zachorowania dotyczy osób młodych, zazwyczaj w wieku 13-16 lat. W tym wieku kształtują się nawyki żywieniowe, które najczęściej utrzymują się już przez całe życie. Ponadto ryzyko zachorowania na ON jest wyższe w grupie osób, które już chorują na zaburzenia odżywiania (Hyrnik i in. 2021, s. 405-420).

W przypadku kobiet mogą pojawiać się również zaburzenia cyklu menstruacyjnego, a u mężczyzn zmniejsza się poziom testosteronu. Niedobory składników mineralnych, na przykład żelaza, cynku, fosforu czy wapnia, które są kluczowymi mikroelementami dla organizmu powodują poważne zaburzenia takie jak niedokrwistość, osteoporozę, obniżenie odporności. Dochodzą także problemy natury psychicznej – zaburzenia i wahania nastroju oraz depresja (Kałądkiewicz i Doboszyńska 2013, s. 307-315).

Często występującym, zauważalnym skutkiem fizjologicznym omawianego zaburzenia, jest spadek masy ciała chorego. Innymi, równie poważnymi

konsekwencjami mogą być osteopenia (obniżenie gęstości mineralnej kości), bradykardia (zmniejszona częstotliwość akcji serca), hiponatremia (zmniejszony poziom sodu w surowicy krwi), kwasica metaboliczna, odma płucna, pancytopenia (niedobory morfotycznych elementów krwi), niedobór witaminy B12 i białka, które jest budulcem mięśni. Zdarzają się również przypadki skrajne, gdy pacjent chory na ortoreksję w wyniku poważnych zaburzeń homeostazy, wielu uszkodzeń i nieprawidłowości, ponosi śmierć z wyniszczenia organizmu. Rygorystyczne, czasami nierealne wręcz do osiągnięcia założenia doprowadzają do złości, frustracji, zmęczenia, poczucia winy i karania siebie poprzez zakładanie kolejnych, jeszcze bardziej trudnych do zrealizowania celów. Taka osoba staje się często samotna i odizolowana od społeczeństwa (Kaczyńska 2016, s. 13-22).

## LECZENIE ORTOREKSJI

Zaburzenia odżywiania są trudnym zjawiskiem do leczenia i całkowitego doprowadzenia chorego na właściwy tok myślenia. Nie każda osoba cierpiąca na omawiane zaburzenia posiada świadomość własnej choroby i jej potencjalnych konsekwencji. Najważniejsza jest chęć samego chorego do podjęcia leczenia i świadomość powagi sytuacji w jakiej się znalazł. Zalecana jest zazwyczaj terapia z udziałem specjalisty, która pozwoli choremu zrozumieć, że jakość spożywanej żywności nie jest głównym i jedynym czynnikiem decydującym o zdrowiu. Celem takiej terapii jest również nauka, jak odżywiać się bez popadania w obsesję. Leczenie odbywa się z udziałem zespołu wielodyscyplinarnego ze względu na złożoność choroby. Istotne jest również rozpoczęcie leczenia farmakologicznego, w tym kontekście udowodniono pozytywny wpływ działania selektywnych inhibitorów wychwytu zwrotnego serotoniny. Terapia zazwyczaj jest skuteczna (porównując ją do tych w innych zaburzeniach odżywiania), ponieważ taka osoba na ogół przejawia chęć poprawy swojego stanu zdrowia. Leczenie ułatwia współpraca z rodziną i edukacja żywieniowa (Brytek – Matera 2012, s.55-60).

Ortoreksja może być powiązana z innymi zaburzeniami odżywiania, takimi jak anoreksja czy bulimia, wtedy leczenie jest bardziej złożone i wymaga więcej czasu (Nelkowska 2019, s. 68-180). Niektórzy pacjenci mogą być jednak oporni na leczenie - może wystąpić u nich poczucie strachu przed nowymi substancjami (lekami), które zostaną wprowadzone do organizmu. W sytuacji gdy pacjent jest niedożywiony,

należy pamiętać o możliwości wystąpienia “refeeding syndrome”. Jest on definiowany jako szok pokarmowy dla organizmu, wynikający z nagłego, nadmiernego dostarczenia (dla obecnego stanu) składników odżywczych, co stanowi śmiertelne zagrożenie dla chorego (zaburzenia akcji serca, zaburzenia hematologiczne, niewydolność oddechowa). Terapia poznawczo – behawioralna i farmakoterapia to podstawowe rodzaje stosowanego leczenia (Dittfeld 2013, s. 393-399).

## ORTOREKSJA A PANDEMIA COVID-19

Pandemia koronawirusa miała istotny wpływ na zachowania żywieniowe populacji. Kwarantanna, izolacja oraz ograniczenia w przemieszczaniu się znacząco zmieniły sposób żywienia, a także wybory żywieniowe konsumentów. Wykazano, że część populacji spożywała więcej żywności świeżej, ekologicznej, która w ich przekonaniu miałyby pozytywnie wpłynąć na układ odpornościowy i tym samym zmniejszyć ryzyko zachorowania na COVID-19. Nie byłoby w tym nic niepojącego, jednak zdarzały się przypadki, w których takie zachowania przeradzały się w obsesję na punkcie zdrowego jedzenia i prowadziły do wzrostu liczby osób z zaburzeniami żywienia (Özbeý Yücel i Yücel 2022, s. 241-245).

Wyniki badań prowadzonych wśród studentów nauk o zdrowiu w okresie pandemii COVID-19, wykazały że są oni grupą społeczną narażoną na zwiększone ryzyko zachorowań na ortoreksję. Znaczenie może mieć w tym przypadku także płeć - żeńska wykazuje wyższy poziom ryzyka chorowania na ON. W związku z powyższym rekomendowanym rozwiązaniem jest zapewnienie studentom właściwej edukacji na temat zdrowego, zbilansowanego, ale rozsądnego odżywiania w okresie pandemii (Uzdil i Sevdanur Üstüner 2022, s. 282-289).

Rozwój ortoreksji w czasie pandemii jest także uzależniony od stanu psychicznego, w jakim znajdował się potencjalny chory przed jej rozpoczęciem jak również czynnikiem rozwoju zaburzenia (Flynn Zickgraf i Ramón Barrad 2021, s. 1313–1325).

Dostępne analizy naukowe wskazują również na wpływ social mediów na zwyczaje żywieniowe ich użytkowników. Promowane obrazy idealnego, zdrowego i szczupłego ciała wpływają na psychikę danego odbiorcy, częściej kobiety, zachęcając do zmian w życiu, dążeniu do ideału, osiągnięcia zdrowia i zmniejszenia ryzyka zachorowania



w wyniku infekcji koronawirusa. Chęć osiągnięcia idealnego zdrowia, na przykład poprzez jedzenie żywności pochodzenia ekologicznego i stosowania suplementacji jest częstym obrazem w czasie pandemii. Długoterminowe stosowanie suplementów diety w celu poprawy zdrowia, bez wcześniejszej konsultacji z lekarzem może przynieść negatywne skutki dla organizmu. Presja ze strony social mediów na zdrowe odżywianie (głównie w 2020 roku) wpływała na psychikę ludzi, zwłaszcza młodych co może zwiększać ryzyko rozwoju ON (Devrim-Lanpi, Kübra Barcin Güzeldere i Ede Çintesun 2021, s. 1-26).

Osoby będące na diecie wegetariańskiej i wegańskiej wliczają się do grupy zwiększonego zachorowania na ortoreksję w czasie pandemii. W przypadku przywołanej części populacji znacznie wzrosło spożycie żywności ekologicznej, co nie było tak widoczne w grupie osób, które nie wykluczały ze swojej diety spożycia mięsa. Osoby, które nie spożywały produktów odzwierzęcych częściej deklarowały podejmowanie działań, których celem była poprawa swojego stanu zdrowia oraz zapobieganie wzrostowi masy ciała – uznawanego za jeden z głównych fizycznych skutków długotrwałej izolacji (Özbeý Yücel i in. 2021, s. 74-80).

## PODSUMOWANIE

Ortoreksja stanowi zaburzenie odżywiania, którego podłożem jest paradoksalnie chęć zadbania o własne zdrowie. Istotą omawianej jednostki chorobowej jest jednak przesadne i obsesyjne kontrolowanie własnej diety, jakości spożywanych produktów oraz metod ich wytwarzania. ON generuje określone skutki fizjologiczne i psychiczne (może prowadzić do niedożywienia, a w skrajnym przypadku również do śmierci), jak i społeczne (wycofanie się z aktywnego życia towarzyskiego, celem uniknięcia „pokusy” spożywania „niezdrowych” produktów). Leczenie ortoreksji wymaga specjalistycznej terapii psychologicznej, często połączonej z wprowadzeniem odpowiednio dobranych środków farmakologicznych. Punktem wyjścia dla podjęcia terapii jest uświadomienie pacjentowi, że jego zachowania nie stanowią elementu dbałości o własne zdrowie, a wręcz przeciwnie – wpływają negatywnie na jego stan fizyczny i funkcjonowanie w społeczeństwie.

ON podobnie jak w przypadku innych tego typu jednostek chorobowych może wystąpić u osób w różnym wieku, o różnym statusie społeczno-ekonomicznym, jednak prowadzone badania pozwalają na określenie grup społecznych szczególnie narażonych na zachorowanie na ON, jak i czynników

sprzyjających wystąpieniu tego zaburzenia. Większą podatność na zachorowanie na ortoreksję wykazano wśród osób kształtujących swoje nawyki żywieniowe (wiek 13-16 lat) oraz cierpiących na inne zaburzenia odżywiania. Wśród czynników, które można określić mianem społecznych należy wymienić podatność na wzorce kreowane przez social media, które popularyzują określony obraz cielesności. Badania naukowe wykazały również wpływ pandemii COVID-19 na niebezpieczeństwo wzrostu liczebności zachorowań na ON. Dążenie do uniknięcia zachorowania poprzez wzmocnienie własnej odporności na skutek poprawy diety było bardziej charakterystyczne dla studentów nauki o zdrowiu, osób stosujących dietę wegańską i wegetariańską oraz znajdujących się w gorszej kondycji psychicznej. Tym samym czyni to wymienione grupy bardziej podatnymi na zachorowanie na ortoreksję.

## BIBLIOGRAFIA

- Brytek – Matera A.,  
2012 *Orthorexia nervosa – an eating disorder, obsessive- -compulsive disorder or disturbed eating habit?* Archives of Psychiatry and Psychotherapy, 1.
- Devrim-Lanpi A., Kübra Barcın Güzeldere H., Ede Çintesun E.,  
2021 *The COVID-19 Pandemic Drives People to Orthorexia and Anxiety with the Influence of Social Media: A Cross-Sectional Study of 525 Adults in Semi-Quarantine.* Journal of Eating Disorders, 10(21).
- Dittfeld A., Koszowska A., Fizia K., Ziora K.,  
2013 *Ortoreksja - nowe zaburzenie odżywiania*, 2013, Annales Academiae Medicae Silesiensis, 67(6).
- Dunn T.M., Bratman S.  
2016 *On orthorexia nervosa: A review of literature and proposed diagnostic criteria.* Eating Behaviors, 21.
- Flynn Zickgraf H., Ramón Barrada J.,  
2021 *Orthorexia nervosa vs. healthy orthorexia: relationships with disordered eating, eating behavior, and healthy lifestyle choices.* Eat Weight Disord.
- Gkiouleka M., Stavradi C., Sergentanis N. T., Vassilakou T.,  
2022 *Orthorexia Nervosa in Adolescents and Young Adults: A Literature Review,* 9 (3).

- Gortat M., Samardakiewicz M., Perzyński A.  
2021 *Orthorexia nervosa – a distorted approach to healthy eating*. Psychiatria Polska 55(2).
- Gubiec E., Stetkiewicz-Lewandowicz A., Rasmus P., Sobow T.,  
2015 *Problem ortoreksji w grupie studentów kierunku dietetyka*. Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu, 21(1).
- Hyrnik J., Zasada I., Jelonek I., Wilczyński M. K., Janas-Kozik M.,  
2021 *Ortoreksja – aktualne ujęcie problemu*. Psychiatria Polska; 55(2).
- Kaczyńska M. J.  
2016 *Atypowe zaburzenia odżywiania*. Współczesna dietetyka, 6.  
2016 *Ortoreksja - moda czy zaburzenie?* Współczesna dietetyka, 4.
- Kałędkiewicz E., Doboszyńska A.,  
2013 *Orthorexia nervosa relating to other eating disorders*. Forum Medycyny Rodzinnej, 7(6).
- Łucka I., Janikowska-Hołoweńko D., Domarecki P. i in.  
2019 *Ortoreksja – oddzielna jednostka chorobowa, spektrum zaburzeń odżywiania czy wariant zaburzeń obsesyjno-kompulsywnych?* Psychiatria Polska 53(2).
- Nelkowska D. D.,  
2019 *Orthorexia nervosa: definicje, kryteria, klasyfikacje – kontrowersje i rozbieżności w wynikach badań*. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio J – Paedagogia-Psychologia, 32(3).
- Özbey Yücel Ü., Yücel M.,  
2022 *Changes in diet, lifestyle, and Orthorexia Nervosa tendency during the COVID-19 pandemic: A web-based study*. Clinical Nutrition ESPEN.
- Özbey Yücel Ü., Kömbeci, Gülçin Tuğrul K., Uçar A., Yüksel S.,  
2021 *Changes in Diet, Lifestyle and Orthorexia Nervosa Attitudes of Vegetarian, Vegan and Omnivorous Individuals in COVID-19 Pandemic*. International Journal of Nutrition Sciences, 6(2).
- Uzdil Z., Sevdanur Üstüner A.,  
2022 *Evaluation of orthorexia nervosa tendency and fear of COVID-19 in university students receiving health education*. Nutrition & Food Science.

---

## ORTHOREXIA - CONTEMPORARY NUTRITION DISORDER RELATED TO INCORRECT NUTRITION PATTERNS

**Abstract:** The aim of the article is to discuss the impact of the increasing negative eating behavior in recent years on the shaping of eating habits. Compliance with the principle of healthy eating, which is becoming popular in Polish society, is undoubtedly a positive phenomenon, but excessive care for a properly composed diet may lead to disease. Orthorexia, like any other disease, carries a number of negative consequences for health. They result from improper diet, which leads to inadequate nutrition of the body. The above-mentioned eating behaviors, which can be described as obsessions, make life difficult for individuals and negatively affect their functioning in society. The COVID-19 pandemic has also contributed to an increase in the incidence of eating disorders, including orthorexia nervosa.

**Key words:** orthorexia, eating disorders, pandemic, COVID 19

ISBN 978-83-67527-10-1