

Gdynia, 25 lutego 2024 r.

Prof. dr hab. inż. Ireneusz Czarnowski
Katedra Systemów Informacyjnych
Uniwersytet Morski w Gdyni
ul. Morska 83, 81-225 Gdynia

RECENZJA

rozprawy doktorskiej lek. dent. Agaty Marty Ossowskiej

pt.: *“Ocena zaawansowania zapalenia przyzębia z wykorzystaniem sieci neuronowych”*

Recenzję przygotowałem zgodnie z pismem Przewodniczącej Rady Nauk Medycznych Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego z dnia 28 grudnia 2023 roku (WLN.5000.2023), kierowanym do mojej osoby wskazanej jako recenzenta rozprawy doktorskiej lek. dent. Agaty Marty Ossowskiej.

Rozprawa doktorska została przygotowana w dyscyplinie nauki medyczne. W tej samej dyscyplinie prowadzone jest postępowanie w sprawie nadania lek. dent. Agacie Ossowskiej stopnia doktora.

Rozprawa doktorska została przedłożona jako zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych (odpowiednio do zapisów Art. 187 ust. 3 obowiązującej Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce). Zbiór ten tworzą następujące artykuły naukowe:

1. Ossowska, A.; Kusiak, A.; Świetlik, D. Artificial Intelligence in Dentistry—Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2022**, *19*, 3449. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063449>
(IF = 4.614; MEiN = 20¹; from Q2 quartile)
2. Ossowska, A.; Kusiak, A.; Świetlik, D. Evaluation of the Progression of Periodontitis with the Use of Neural Networks. *Journal of Clinical Medicine* **2022**, *11*, 4667. <https://doi.org/10.3390/jcm11164667>
(IF = 3.9; MEiN = 140; from Q2 quartile)
3. Ossowska, A.; Kusiak, A.; Świetlik, D. Progression of Selected Parameters of the Clinical Profile of Patients with Periodontitis Using Kohonen’s Self-Organizing Maps. *Journal of Personalized Medicine* **2023**, *13*, 346. <https://doi.org/10.3390/jpm13020346>
(IF = 3.4 ; MEiN = 70; from Q2 quartile)

W dokumentacji postępowania przedłożono oświadczenie autorów dotyczące ich udziału w powstanie danego artykułu naukowego.

Z uwagi na wykorzystanie danych pochodzących z badań klinicznych, przeprowadzenie prac badawczych wymagało uzyskania zgody Niezależnej Komisji Bioetycznej ds. Badań Naukowych. Zgoda taka została uzyskana przez Doktorantkę².

¹ Aktualna lista czasopism MNiSW przypisuje czasopiśmie 20 pkt., w roku publikacji artykułu czasopiśmie przypisano 140 pkt.

² Odpowiednio do informacji zawartej w rozprawie doktorskiej.

1. Problematyka naukowa rozprawy

Do celów i założeń prac badawczych Doktorantki należało:

1. Ocena zaawansowania zapalenia przyzębia z wykorzystaniem sieci neuronowych ze szczególnym uwzględnieniem parametrów badania klinicznego oraz czynników ryzyka.
2. Ocena wpływu wybranych parametrów w odniesieniu do pacjentów z różnym stopniem zaawansowania zapalenia przyzębia oraz zidentyfikowanie wzorców profili klinicznych pacjentów związanych z konkretnym parametrem.
3. Ocenę jakości sieci w podziale na stopnie zapalenia przyzębia, jak i globalną analizę wrażliwości, która pozwalała określić jak ważny jest każdy parametr wejściowy.

Doktorantka przedstawiła motywację do podjętych badań. Uzasadnienie badań oparła na przeglądzie literatury odnoszącej się do zastosowania sieci neuronowych w stomatologii i periodontologii.

W ogólności, rozprawa doktorska dotyczy oceny wykorzystania modeli i algorytmów uczenia maszynowego w diagnostyce medycznej. W szczególności w centrum zainteresowania Doktorantki znalazły się sieci neuronowe, które były implementowane w ramach uczenia nadzorowanego oraz nienadzorowanego.

Innymi słowy, Doktorantka swoją pracę doktorską ukierunkowała nie tylko na ocenę zaawansowania zapalenia przyzębia, ale także na walidację zastosowania metod sztucznej inteligencji do oceny stopnia zaawansowania oraz stadium tej choroby. Sama perspektywa zastosowania metod sztucznej inteligencji w diagnostyce medycznej należy do aktualnych trendów badawczo-rozwojowych. Badania w tym zakresie związane są z docelowym zwiększeniem zakresu wykorzystania inteligentnych metod obliczeniowych w procesach decyzyjnych, w tym przypadku związanych z diagnostyką medyczną. Z drugiej strony badania te związane są z aspektem poznawczym zakresu możliwości wykorzystania metod sztucznej inteligencji, sposobu oceny ich działania oraz generowanych rozwiązań przez docelowych adresatów już gotowych rozwiązań. Zakres pracy badawczej Doktorantki oraz przyjęte założenia należy uznać za aktualne.

Chciałbym jednak podkreślić, że w przypadku tej recenzji ocenie poddano aspekt zastosowania sieci neuronowych w diagnostyce chorób zapalenia przyzębia, poprawności tego zastosowania oraz interpretacji jakości uzyskanych wyników. Ocenie nie stanowi sposób interpretacji wyników z punktu widzenia medycznego.

2. Struktura i zakres opracowanej rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska obejmuje:

- Wstęp, w którym Doktorantka zarysowała problematykę zastosowania sieci neuronowych.
- Rozdział zatytułowany „Założenia pracy”, w którym syntetycznie założenia dla prowadzonych badań zostały przedstawione.
- Rozdział, który odwołuje się do aspektu samej choroby przyzębia, sposobu diagnozowania tej choroby w oparciu o określone i zdefiniowane czynniki, a także do danych klinicznych wykorzystanych w badaniach przeprowadzonych przez Doktorantkę. Rozdział ten przywołuje także metody sztucznej inteligencji, które zostały zastosowane w badaniach (tj. sieci neuronowe typu MLP oraz sieci Kohonena). Rozdział ten Doktorantka kończy odnosząc się do metod analizy statystycznej.
- Omówienie artykułów naukowych stanowiących zasadniczą część rozprawy doktorskiej.
- Rozdział, w którym zawarto syntetyczne ujęcie wniosków.
- Wykaz literatury na którą Doktorantka powołała się w części opisowej opracowania.
- Kopie artykułów naukowych.

Opracowanie obejmuje także streszczenie w języku polskim i angielskim oraz spis użytych skrótów.

Sposób przygotowanie opracowania zbioru publikacji nie budzi uwag.

3. Zakres pracy badawczej Doktorantki – Omówienie zbioru powiązanych tematycznie artykułów naukowych

(1) Artykuł nr 1: Ossowska, A.; Kusiak, A.; Świetlik, D. Artificial Intelligence in Dentistry—Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2022**, *19*, 3449.

Jest to praca przeglądowa dotycząca wykorzystania sztucznych sieci neuronowych w diagnostyce stomatologicznej. Wkładem Doktorantki jest przegląd literatury wraz z uchwyceniem szczególnych aspektów i cech rozwiązywanych przy użyciu sztucznych sieci neuronowych problemów. W pracy poprzez pogrupowanie poszczególnych rodzajów problemów diagnostyki stomatologicznej, uwypuklono charakter i sposób wykorzystania sieci neuronowych. Wskazano także warunki implementacji sieci neuronowych wraz z odwołaniem się do charakterystyki przetwarzanych danych oraz osiągnięć docelowych narzędzi diagnostycznych.

(2) Artykuł nr 2: Ossowska, A.; Kusiak, A.; Świetlik, D. Evaluation of the Progression of Periodontitis with the Use of Neural Networks. *Journal of Clinical Medicine* **2022**, *11*, 4667

Artykuł skupia się na problemie zastosowania sieci neuronowych (typu MLP) do określenia stadiów zapalenia przyzębia oraz stopnia jego progresji. Obejmuje on wyniki badań, z przeprowadzonych eksperymentów, oraz ich dyskusję. Do głównej konkluzji należy stwierdzenie, że *„sztuczne sieci neuronowe mogą być przydatnym narzędziem w codziennej praktyce stomatologicznej do oceny ryzyka rozwoju zapalenia przyzębia. Ocena tempa postępu zapalenia przyzębia, zwłaszcza u młodych ludzi i w początkowej fazie choroby może być czasami trudna do oceny, a dodatkowe narzędzia, takie jak sztuczne sieci neuronowe, mogą ułatwić diagnozę i wybór planu leczenia”*. Stwierdzenie to wiąże się także z zarysowanym kierunkiem dalszych prac badawczych.

Wkładem doktorantki poza przygotowaniem danych pochodzących z badań klinicznych, była ich analiza statystyczna, a także analiza uzyskanych wyników wraz z ich dyskusją oraz sformułowaniem ostatecznych wniosków.

Uwagi i pytania związane z artykułem:

- W pracy stwierdzono, że dokładność „sztucznej inteligencji” jest porównywalna z dokładnością dentystry lub nawet większa, dlatego zasadnym jest jej uwzględnienie zarówno w pracy klinicznej, jak i naukowej.

Zapewne należy rozumieć, że chodzi tu o sztuczną sieć neuronową, w szczególności sieć typu MLP, a użycie zwrotu „sztucznej inteligencji” jest jedynie kolokwializmem.

Zachodzi jednak pytanie o wspomnianą porównywalność dokładności sieci neuronowej z dokładnością dentystry. Jak należy rozumieć to stwierdzenie?

- Dokonując omówienia wyników działania zaprojektowanej sztucznej sieci neuronowej posłużono się stwierdzeniem *„the quality of the neural network”* wraz odwołaniem się do konkretnej wartości procentowej (tj. 84.2%). Jaka jest interpretacja wskaźnika tej jakości, gdy ta sama wartość procentowa w dalszej części artykułu została przywołana dla stwierdzenia *„the overall accuracy of our ANN”*? Czy są to te same wskaźniki?

- Rozdział 4 artykułu obejmuje dyskusje dotyczącą zastosowań sztucznych sieci neuronowych w diagnostyce stomatologicznej. Dyskusję tą oparto na przeglądzie literatury, niemniej jednak podjęto także próbę porównania zaprojektowanej sieci neuronowej oraz jej osiągnięć z innymi implementacjami opisanymi w literaturze. Takie porównanie osiągnięć nie jest miarodajne, gdyż brak jest podstaw za uznanie porównywalności warunków w których te osiągnięcia zostały uzyskane. Ponadto przywoływane wyniki i rozwiązania z literatury jako referencyjne do uzyskanych, zostały uzyskane na zupełnie innych danych. Takie porównanie obarczone jest błędem grubym dla sformułowanych konkluzji.
- Jakie były przesłanki za przyjęciem w strukturze wykorzystanej sieci neuronowej 19 neuronów warstwy ukrytej? W jaki sposób liczba tych neuronów została określona? Czy zwiększenie bądź zmniejszenie tej liczby mogłoby mieć wpływ na jakość i dokładność uzyskanych wyników?
- Jakie inne miary oceny jakości (dokładności) - poza tzw. *accuracy*, modeli sieci neuronowych można by zastosować do oceny ich działania? Czy w ocenie jakości modeli sieci neuronowych można by zastosować tzw. macierz pomyłek? Czy macierz ta mogłaby być pomocna w ocenie poprawności określenia stadium zapalenia przyzębia i w jakim zakresie?

(3) Ossowska, A.; Kusiak, A.; Świetlik, D. Progression of Selected Parameters of the Clinical Profile of Patients with Periodontitis Using Kohonen's Self-Organizing Maps. *Journal of Personalized Medicine* **2023**, *13*, 346.

Praca dotyczy zastosowanie sieci neuronowych Kohonena (SOM) do określenia stadiów i stopnia zapalenia przyzębia, a w szczególności schematów (wzorców) pacjentów odpowiednich dla danego stopnia i stadium zapalenia przyzębia. W pracy tej wykorzystano ten sam zbiór danych, jaki stanowił podstawę prowadzonego badania opisanego w pracy (2). Zasadniczym wnioskiem wytykającym z uzyskanych wyników zastosowania sieci samoorganizującej się jest stwierdzenie, że narzędzie to może być użyteczne przy ocenie ryzyka rozwoju zapalenia przyzębia, poprzez przypisanie każdego nowego przypadku klinicznego do zidentyfikowanych wzorców chorobowych.

Wkładem doktorantki było opracowanie założeń do przeprowadzenia badania, analiza statystyczna danych oraz wyników, a także dyskusja uzyskanych wyników oraz sformułowaniem ostatecznych wniosków.

Uwagi i pytania związane z artykułem:

- W opisie implementacji sieci SOM można znaleźć informację, że wektor opisujący dane pacjentów, składał się z 171 atrybutów, gdy „*the vector of input layer had 195 neurons*”. Z czego wynika różnica pomiędzy „wektorami”? Czy liczba wejść sieci SOM nie powinna być równa liczbie atrybutów opisujących poszczególnych pacjentów?
- Szkoda, że w badaniu nie posłużono się innymi metodami uczenia nienadzorowanego. Tym samym porównując wyniki uzyskane przez SOMy z wynikami tych innych metod oraz konfrontując sposób i tzw. pokrycie schematów (wzorców) pacjentów odpowiednich dla danego stopnia i stadium zapalenia przyzębia. Takie porównanie mogłoby pozwolić na sformułowanie silniejszych wniosków dotyczących w ogóle zasadności stosowania metod uczenia nienadzorowanego w diagnostyce stomatologicznej, wraz z uwzględnieniem specyfiki rozwiązywanego problemu.

Uwaga ogólna:

Szkoda, że badania były prowadzone li tylko w oparciu o jednej zbiór danych, a także (jeśli chodzi o stosowany model uczenia nadzorowanego) model uczenia oparty na zbiorze danych

treningowym i testowym (tzw. sprawdzian prosty). Wzmocnienia wniosków z badań zapewne można by było uzyskać stosując chociażby walidację krzyżową (tzw. kroswalidację).

Podsumowując, chciałbym podkreślić, że Doktorantka skupiła się na ocenie możliwości wykorzystania wybranych metod uczenia maszynowego w diagnostyce stomatologicznej. Tym samym proces analizy uzyskanych wyników został sprowadzony do oceny realnego ich zrozumienia i zinterpretowania - pod względem jakościowym. Zapewne szersze ujęcie badań mogłoby dotyczyć aspektu wyjaśnialności modeli uczenia maszynowego (tzw. *explainable AI in dental diagnostics*).

Powyższe uwagi nie mają charakteru krytyki, lecz mają na celu zwrócenie uwagi na istotne kwestie związane z badaniami nad zastosowaniem metod sztucznej inteligencji. W zakresie mojej recenzji, celem oceny nie był sposób i poprawności interpretacji wyników związanych ze specyfiką rozwiązywanego problemu, lecz ocena stopnia poprawności zastosowania metod sztucznej inteligencji, w tym przypadku sieci neuronowych. Tym samym korzystnym byłoby odniesienie się Doktorantki do sformułowanych przeze mnie pytań i uwag podczas obrony publicznej.

4. Konkluzja

Uzyskane przez Doktorantkę wyniki badań oceniam jako wartościowe. Problem, którym zajęła się Doktorantka jest aktualny. Rozprawa doktorska prezentuje i potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną odpowiednią dla osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora.

Pomimo sformułowanych w recenzji pytań i uwag, uważam, że wyniki badań zostały zaprezentowane w sposób wystarczający dla oceny ich oryginalności i ważności dla dyscypliny oraz ich wykorzystania w praktyce.

Ponadto należy stwierdzić, że Doktoranta wykazała się umiejętnością samodzielnego rozwiązywania problemów badawczych, w tym doborem odpowiednich metod, potwierdziła też, że posiada umiejętności związane z metodyką i metodologią prowadzenia badań naukowych.

Podsumowując, uważam, że rozprawa doktorska lek. dent. Agaty Marty Ossowskiej pt. "Ocena zaawansowania zapalenia przyzębia z wykorzystaniem sieci neuronowych" spełnia wymogi stawiane przy ubieganiu się o nadanie stopnia doktora. Wnioskuje też o dopuszczenie rozprawy doktorskiej lek. dent. Agaty Marty Ossowskiej do obrony.