

Prof. UPP dr hab. inż. Krzysztof Koszela
Pracownia Inżynierii Danych
Katedra Inżynierii Biosystemów
Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 28
60-637 Poznań

Poznań, 16.02.2024

RECENZJA

rozprawy doktorskiej lek. stom. Katarzyny Cieślińskiej pt.

**„Komputerowa analiza obrazu w ocenie uzębienia na podstawie cyfrowych zdjęć
pantomograficznych”**

wykonanej w Katedrze Kliniki Ortopedii i Wad Rozwojowych Twarzy UM w Poznaniu.

Recenzja

Recenzja ta została wykonana w odpowiedzi na zlecenie Pana prof. dr hab. Marka Ruchały, Kanclerza Kolegium Nauk Medycznych. Rozprawa doktorska będąca przedmiotem tej recenzji została wykonana w Katedrze Kliniki Ortopedii i Wad Rozwojowych Twarzy UM w Poznaniu. Promotorem rozprawy jest Pani dr hab. n. med. Barbary Biedziak i promotorem pomocniczym dr n. med. Katarzyna Zaborowicz. Recenzowana rozprawa doktorska jest zbiorem trzech artykułów - dwie prace badawczo-oryginalne oraz jedna pogładowa. Prace zostały opublikowane w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym, umieszczonych na Liście Filadelfijskiej i Journal Citation Reports (JCR) w 2022 roku. Łączny wskaźnik oddziaływania wyniósł 9,628, Indeks Hirscha wg. bazy Scopus $h=2$, a punktacja MEiN 380. We wszystkich publikacjach lek. stom. Katarzyna Cieślińska jest pierwszym autorem.

1. Ogólna charakterystyka pracy

Praca liczy 205 strony maszynopisu formatu A4, łącznie ze spisem treści oraz spisem tabel (załącznik wyników, liczba stron 119). Praca została napisana według wymogów stawianych

pracom badawczym i składa się z polskojęzycznego opracowania, które jest charakterystyką opublikowanych badań w następującym układzie: Słowa kluczowe, Wykaz używanych skrótów, Wykaz publikacji stanowiących podstawę w sprawie o nadanie stopnia naukowego doktora, Aktywność naukowa, Dorobek naukowy, Przedmiot badań i komentarz, Streszczenie, Streszczenie w języku angielskim, Piśmiennictwo oraz Publikacja nr 1, Publikacja nr 2, Publikacja nr 3, Oświadczenia współautorów, Orzeczenie Komisji Bioetycznej, Załącznik (wyniki badań).

Źródła literaturowe są starannie i adekwatnie dobrane do obszaru badawczego, celu i zakresu pracy a ich wykorzystanie i cytowanie jest formalnie dość poprawne a ponadto logicznie. Zawierają 29 pozycji literaturowych w większości obcojęzycznych (24 pozycji angielskojęzycznych, 5 polskojęzycznych) oraz źródła internetowe w liczbie 2. Większa część cytowanej literatury pochodzi z ostatnich 5 lat. Świadczy to o aktualności badań i znajomości wykorzystania najnowszej wiedzy w rozwiązaniu poruszanego problemu. Język pracy jest gramatycznie poprawny.

2. Merytoryczna ocena pracy

Rozprawa doktorska lek. stom. Katarzyny Cieślińskiej dotyczy wykorzystania komputerowej analizy obrazu w ocenie uzębienia na podstawie cyfrowych zdjęć pantomograficznych. Kluczowym aspektem w budowie modelu neuronowego jest bowiem odpowiedni i poprawny dobór cech charakterystycznych dla obiektu badawczego. Nie ma jednoznacznej i skutecznej metody wyboru odpowiednich zmiennych wejściowych. Stosuje się różne procedury wspomagające wybór i redukcję liczebności zmiennych wejściowych, takie jak np. analizę wrażliwości, analizę składowych głównych czy wykresy macierzowe, nie są to jednak sposoby w pełni niezawodne. Nie uwzględniają choćby wzajemnych powiązań i oddziaływań na zmienną zależną, stąd zawsze testowanie różnych modeli daje ostateczną ich akceptację. Dużą pomoc w wyborze cech charakterystycznych i weryfikację modeli sztucznych sieci neuronowych może przynieść pomoc eksperta, który zna dane zjawisko, w tym przypadku musi wykazać się dobrą znajomością parametrów zębowo-kostnych na zdjęciach pantomograficznych. Powyższe przesłanki świadczą, że jest to problem badawczy, który wymaga wykorzystania niekonwencjonalnych metod analizy. Doktorantka zaproponowała nowoczesne narzędzia analizy jakimi są metody sztucznej inteligencji do których należą sztuczne sieci neuronowe.

Tytuł rozprawy wpisuje się do merytorycznej treści rozprawy, a konstrukcja pracy jest zgodna z wymaganiami stawianymi pracom o tym charakterze. Jednak należy zauważyć, że

Doktorantka odwołuje się do zagadnień związanych z komputerową analizą obrazu, aczkolwiek główny akcent w cyklu swoich prac odnosi się głównie do modelowania neuronowego. Stąd też nasuwa się pytanie, czy Doktorantka w całym opisie dość ogólnie omówiła tę kwestię, czyli „czym jest komputerowa analiza obrazu” „jakie techniki i metody przetwarzania obrazów” wykorzystywała w swojej rozprawie doktorskiej.

W rozdziale początkowym zatytułowanym Przedmiot badań i komentarz Autorka wprowadza w zagadnienie związane z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych (SSN) w medycynie i stomatologii. Szczególnie interesujące jest stosowanie SSN na podstawie obrazów rentgenowskich, tomografii komputerowej, czy rezonansu magnetycznego. Doktorantka zatem potwierdza fakt, iż intensywnie rozwijająca się stomatologia zaczyna coraz szerzej wykorzystywać zaawansowaną technologię komputerową, w tym właśnie sztuczną inteligencję. Programy stosowane w różnych dyscyplinach stomatologii są głównie oparte na sztucznych sieciach neuronowych. Służą przede wszystkim jako programy wspomagające decyzje medyczne – MDSS (medical decision supporting system) i wspierają diagnostykę radiologiczną.

W kolejnym etapie Pani Katarzyna Cieślińska postawiła hipotezę badawczą która została sformułowana następująco: cyt. *„Istnieją parametry zębowo-kostne na zdjęciach pantomograficznych, które umożliwiają dokonanie oceny rozwoju uzębienia dzieci i młodzieży”*. A następnie zgodnie z wymogami formalnymi sformułowała problem naukowy w postaci zdania” cyt. *„Brak jest dostatecznej wiedzy naukowej na temat parametrów zębowo-kostnych na zdjęciach pantomograficznych, które mogą stanowić wskaźnik rozwoju uzębienia dzieci i młodzieży”*. A następnie zdefiniowała cele podjęcia dalszych badań. O ile cele pracy nie budzą żadnych zastrzeżeń, to jednak prosiłbym Doktorantkę o bliższe wyjaśnienie korelacji sformułowania hipotezy badawczej i problemu naukowego. W mojej ocenie problem naukowy należałoby sformułować w formie pytanie o następującej treści: *„Na podstawie studiów literaturowych stwierdzono brak metodyk...”*

Jako materiał badawczy Autorka wykorzystywała 300 cyfrowych zdjęć pantomograficznych, pozyskanych z bazy Uniwersyteckiego Centrum Stomatologii i Medycyny Specjalistycznej w Poznaniu, dzieci obojga płci, w tym 165 chłopców i 135 dziewczynek w okresie rozwojowym w wieku od 6 do 10 roku życia. Na przeprowadzenie badań Kandydatka uzyskała opinię Komisji Bioetycznej Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu. W tym miejscu nasuwa się pytanie; *jakie przesłanki zdecydowały o doborze próby badawczej jak również jej liczebności?*

W pierwszej publikacji (Use of Digital techniques in the diagnosis of oral diseases in children, Zastosowanie technik komputerowych w diagnostyce jamy ustnej dzieci), Doktorantka charakteryzuje stan aktualnej wiedzy naukowej na temat obrazowania oraz wykorzystania sztucznej inteligencji. Z dokonanego przeglądu literatury wynika, słuszność wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do wspomagania decyzji lekarza w zakresie diagnozy i planu leczenia. Jako źródła danych do modelowania neuronowego służą właśnie różne obrazy z kardiogramów, tomografii komputerowej, obrazów ultrasonograficznych czy też zdjęć pantomograficznych. Natomiast Doktorantka w tekście używa dość potocznych sformułowań jakich nie stosuje się w obszarze naukowym, takich jak „przeszkolona sieć neuronowa”. Ponieważ sztuczne sieci neuronowe podlegają procesowi uczenia a nie szkolenia.

W drugiej pracy (Eruption Pattern of Permanent Canines and Premolars in Polish Children. Wzorzec wyrzynania zębów stałych u dzieci polskich), Doktorantka na podstawie analizy radiogramów pantomograficznych w grupie chłopców i dziewcząt przeprowadziła ocenę wzorca wyrzynania zębów bocznych: kłów, pierwszych i drugich zębów przedtrzonowych w szczęce i żuchwie. Na obrazach radiologicznych zostały wykreślone linie biegnące przez szczyty guzków badanych zębów i punkty na szczycie wyrostka zębodołowego szczęki i części zębodołowej żuchwy. Następnie dokonano pomiarów rzutów prostopadłych z guzków badanych zębów na linię LMx i LMd. W grupie badanych radiogramów na podstawie przeprowadzonych pomiarów uzyskano 6 typów wzorca wyrzynania zębów bocznych u dzieci. Najczęściej w szczęce w badanej grupie występował typ A /4-5-3/. Z kolei dla żuchwy u dziewczynek dominował wzorzec wyrzynania typu A i E /odpowiednio: 4-5-3; 3-4-5/, a u chłopców typ A i C /odpowiednio: 4-5-3 i 5-4-3/. Autorka przeprowadziła analizę statystyczną i wykazała, że różnice w częstości występowania wzorców A i E w żuchwie po prawej i lewej stronie pomiędzy chłopcami i dziewczętami były istotne statystycznie. Stwierdziła również, że proces wyrzynania się zębów jest uznaną miarą rozwoju fizycznego dziecka. Natomiast zaburzenia mogą wskazywać na nieprawidłowy rozwój lub obecność ogólnych lub miejscowych patologii w jamie ustnej. Natomiast zdjęcia pantomograficzne są skutecznym i powszechnym narzędziem diagnostycznym w ocenie przebiegu wyrzynania się zębów.

Trzecia praca (Evaluation of the Second Premolar's Bud Position Using Computer Image Analysis and Neural Modelling Methods. Wykorzystanie analizy komputerowego obrazu i modelowania neuronowego w ocenie położenia zawiązka drugiego przedtrzonowca), jest metryczną analizą zdjęć pantomograficznych z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej.

Celem badań było opracowanie własnych wskaźników zębowo-kostnych ocenianych na radiogramach pantomograficznych do oceny położenia zawiązka drugiego zęba przedtrzonowego. Doktorantka dokonała pomiarów zębowo-kostnych zębów w czterech kwadrantach wykorzystując następujące punkty: na brzegach siecznych, guzkach kłów, guzkach zębów przedtrzonowych oraz punkty na szczycie wyrostka zębodołowego badanego zęba dla szczęki i części zębodołowej dla żuchwy. Lek. stom. Katarzyna Cieślińska oceniła trzy kategorie wskaźników: zębowo-kostne, formułę wyrzynania kłów i zębów przedtrzonowych oraz ułożenie zawiązków zębów względem brzegu kostnego wyrostka zębodołowego dla szczęki i części zębodołowej dla żuchwy. Wykorzystane w badaniach zdjęcia pantomograficzne wykonano niemieckim aparatem Durr Dental, oraz specjalistycznym oprogramowaniem DBSWIN (Durr Dental) które przeznaczone jest do odczytu cyfrowych obrazów zarejestrowanych kamerą RTG w formacie DICOM 3.0. Aplikacja ta działa na systemie MS Windows. Oprogramowanie umożliwia tworzenie, importowanie i eksportowanie baz danych i obrazów. Odczytuje 16-bitowe obrazy w odcieniach szarości i jest przeznaczone do prezentacji radiogramów medycznych. Pomiarów parametrów zębów i kości wykonano przy pomocy ogólnodostępnego programu ImageJ 1.8v., a następnie do bazy danych wprowadzono pomiary uzyskane na zdjęciach pantomograficznych. Dokonano również przeglądu zebranego materiału badawczego i pominięto zdjęcia rentgenowskie wykazujące wady rozwojowe. Dane pacjentów wraz z wiekiem wyrażonym w miesiącach wprowadzono do arkusza kalkulacyjnego MS Excel. i uzyskane dane poddano procesowi modelowania neuronowego. Użyto 5 zbiorów uczących. Autorka wykazała, że sieć RBF zyskała najwyższą jakość testową (91%, przy błędzie RMSE 8%) dla wszystkich kwadrantów. Modele RBF dla I i II kwadrantu były na poziomie 89%, przy błędzie RMSE 12 i 14%, a dla modeli sieci RBF dla III i IV kwadrantu oznaczały się najniższą jakością.

Niemniej jednak zarówno w opisie jak i samej publikacji nie jest dokładnie opisane jak zostały dobrane zmienne wejściowe do poszczególnych modeli. Otóż w tabeli 5 zdefiniowanych jest 16 zmiennych, natomiast w tabeli 7 przedstawiono 5 modeli neuronowych o różnych zmiennych wejściowych i wyjściowych. Autorka w pracy nie opisała jakie inne rodzaje SSN brała pod uwagę w procesie uczenia. Również, brak jest informacji o algorytmach procesu uczenia i samym procesie uczenia.

Należy stwierdzić, że realizacja celu pracy wymagała prawidłowego przeprowadzenia badań, pomiarów i analizy ich wyników, a całość prac we właściwy sposób podzielono na

wymienione już wcześniej zagadnienia. Na podstawie analizy celu rozprawy jak również hipotezy, problemu naukowego i zakresu można stwierdzić, że praca ma charakter naukowy. Doktorantka podjęła się działań, mających na celu wytworzenie modelu neuronowego, umożliwiającego zidentyfikowanie zestawu 23 wskaźników zębowo-kostnych. Odkrywanie tych prawidłowości, może mieć charakter poznawczy, co skutkuje poszerzeniem wiedzy zarówno naukowej jak i utylitarnej.

Autorka rozprawy potwierdza w ten sposób, że potrafi umiejętnie organizować materiał i analizować wyniki. Przeprowadzona weryfikacja metody polegała zarówno na sprawdzeniu wykorzystując analizę statystyczną oraz poprawność działania modelu.

3. Uwagi szczegółowe i pytania

Należy stwierdzić, że praca mimo dość starannego przygotowania pod względem formalnym i redakcyjnym ma jednak pewne uchybienia w tym zakresie.

- Uwagi szczegółowe:

1. Tytuł pracy brzmi „Komputerowa analiza obrazu w ocenie uzębienia na podstawie cyfrowych zdjęć pantomograficznych”. Natomiast w treści pracy autorka nie wyjaśniła czy i jakie techniki oraz metody komputerowej analizy wykorzystwała w swojej rozprawie doktorskiej.
2. Problem naukowy i hipoteza powinien być wzajemnie skorelowane. Proszę o doprecyzowanie tej kwestii.
3. Proszę o wyjaśnienie kwestii opracowanych zbiorów uczących jak również jakie były zmienne wejściowe i wyjściowe dla poszczególnych modeli neuronowych. W jaki sposób przebiegał proces uczenia.
4. W treści pracy na stronie 34 napisano „*W wyniku przeprowadzonych badań zidentyfikowano i przedstawiono zestaw 23 wskaźników zębowo-kostnych, dzięki którym na podstawie cyfrowych obrazów pantomograficznych z wykorzystaniem SSN, możliwa jest identyfikacja położenia zawiązka przedtrzonowca*”. Czy dla wszystkich 5 modeli takie same czy różne?
5. Czy Autorka przeprowadziła również analizę wrażliwości dla poszczególnych modeli?

6. W pracy na stronie 37, Doktorantka napisała, że metodyka badań może zostać wykorzystana w formie algorytmu proszę o wyjaśnienie w jaki sposób?
7. Przedkładana praca doktorska jest bardzo obszernym materiałem badawczym i złożonym systemem z znaczącym potencjałem rozwoju. Dlatego wskazane byłoby przedstawienie informacji pokazującej dalsze zalecenia rozwoju opracowanej metody i algorytmu.

4. Podsumowanie

Powyższe uwagi nie obniżają pozytywnej oceny pracy, stanowią jedynie wskazówki dla Doktorantki. W ramach ocenianej pracy Autorka zastosowała prawidłowe, narzędzia badawcze i wykazała się dobrą znajomością zagadnień z zakresu stomatologii i metod sztucznej inteligencji, a także dociekliwością badacza oraz umiejętnością logicznego wnioskowania.

5. Ocena końcowa

Pomimo pewnych uwag formalnych i redakcyjnych należy stwierdzić, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska lek. stom. Katarzyny Cieślińskiej pt. „*Komputerowa analiza obrazu w ocenie uzębienia na podstawie cyfrowych zdjęć pantomograficznych*” opartej na pracach opublikowanych w czasopismach naukowych jest ważnym wkładem w dotychczasową wiedzę w zakresie wykorzystania obrazowania radiologicznego z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji a w szczególności sztucznych sieci neuronowych. W sposób szczególny należy podkreślić opracowanie autorskiej metodyki pomiarów zębowo-kostnych. Co w następstwie stanowi istotny wkład w uzupełnienie i rozwój stanu wiedzy w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu, w dyscyplinie nauki medyczne.

Moim zdaniem, sformułowany przez Doktorantkę problem naukowy oraz postawiony cel pracy w określonym zakresie badań został w pełni osiągnięty przez szczegółowe przebadanie i opisanie związków wynikających z przeprowadzonych w tym zakresie badań.

Doktorantka wykazała się dobrą znajomością problematyki w zakresie wynikającym z tematu rozprawy oraz dobrym przygotowaniem metodologicznym i formalnym do oryginalnego rozwiązania problemu naukowego, co w pełni potwierdza przygotowanie Doktorantki do samodzielnej pracy naukowej. A zatem rozprawę doktorską oceniam pozytywnie.

Biorąc pod uwagę walory naukowe, poznawcze oraz aplikacyjne recenzowanej rozprawy doktorskiej pt. „*Komputerowa analiza obrazu w ocenie uzębienia na podstawie cyfrowych zdjęć pantomograficznych*” stwierdzam, że praca spełnia wymogi formalne i merytoryczne, określone w zapisach Ustawy prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z 2018 roku (tj. Dz. U. 2023 poz. 742 ze zm.) i przekładam Wysokiej Kapitulie Kolegium Nauk Medycznych Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, wniosek o dopuszczenie lek. stom. Katarzyny Cieślińskiej do dalszych etapów postępowania. Chciałbym również z uwagi na bardzo nowatorskie badania wnioskować o wyróżnienie pracy doktorskiej.


prof. UPP dr hab. Inż. Krzysztof Koszela