

Joanna Trzaskalik  <https://orcid.org/0000-0001-6046-9351>

Uniwersytet Ignatianum w Krakowie, Instytut Nauki o Wychowaniu, ul. Kopernika 26, 31-501 Kraków
e-mail: joanna.trzaskalik@ignatianum.edu.pl

Agata Sage  <https://orcid.org/0000-0002-3687-7707>

Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Katedra Informatyki Medycznej i Sztucznej Inteligencji, ul. Roosevelta 40
41-800 Zabrze, e-mail: agata.sage@polsl.pl

Michał Kręcichwost  <https://orcid.org/0000-0002-1770-6152>

Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Biomedycznej, Katedra Informatyki Medycznej i Sztucznej Inteligencji, ul. Roosevelta 40
41-800 Zabrze, e-mail: michal.krecichwost@polsl.pl

Dysmedialność warg w dziecięcych realizacjach polskich fonemów dentalizowanych¹

Dismediality of the Lips in Children's Productions of Polish Dentalised Phonemes

Słowa kluczowe: fonemy dentalizowane, artykulacyjna asymetria warg, komputerowa ocena ruchu warg

Keywords: dentalised phonemes, articulatory asymmetry of lips, computer-aided lip movement assessment

Streszczenie

W artykule zaprezentowano badania dotyczące dysmedialnej pracy warg podczas realizacji fonemów dentalizowanych. W części wstępnej znalazły się rozważania dotyczące niepożądanego cechy fonetycznej, jaką jest dysmedialność warg, rozumianej jako niepośrodkowe ułożenie narządu. W części zasadniczej zawarto informacje ilościowe dotyczące występowania tej

1 W artykule użyto terminu „dentalizacja” dla wyróżnienia głosek realizujących trzy grupy polskich fonemów: /s, z, ts, dz/ (/s, z, c, ʒ/), /e, z, te, dz/ (/ś, ź, ć, ʒ/) oraz /ʃ, ʒ, ʧ, dʒ/ (/ś, ź, ć, ʒ/). Podczas ich realizacji występuje „bardzo mała odległość między krawędziami dolnych i górnych siekaczy, wyraźnie widoczna na zapisach rentgenowskich [...]” [Wierchowska, 1980, s. 62], „dodatkowe przewężenie w postaci szczeliny między łukami zębowymi” [Ostapiuk, 2013a, s. 103]. Cecha ta wyróżnia głoskowe realizacje tych fonemów spośród pozostałych w polskim systemie fonologicznym, podczas realizacji których ta cecha nie występuje. Mimo iż nie stanowi ona cechy różnicującej fonemy, to z punktu widzenia artykulacji jest niezwykle ważna.



© by the author, licensee Łódź University – Łódź University Press, Łódź, Poland.
This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license CC-BY-NC-ND 4.0
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Data złożenia: 24.01.2024 r. Data przyjęcia: 17.03.2024 r.

cechy w realizacjach dźwiękowych analizowanych fonemów oraz opis badań prowadzonych w kierunku komputerowej oceny ruchu warg na nagraniach wideo z wykorzystaniem technik sztucznej inteligencji, które mają na celu obiektywizację badań logopedycznych.

Abstract

The article presents research on the dismedial operation of the lips during the realization of dentalised phonemes. The introduction includes considerations regarding the undesirable phonetic feature which is the dismediality of lips understood as an off-centre position of the organ. The main part of the article contains quantitative information on the occurrence of this feature in the sound realisations of the analysed phonemes and the description of the study on computer-aided lip movement assessment in video data using artificial intelligence to objectify speech diagnosis.

Wprowadzenie

Diagnoza logopedyczna nienormatywnych realizacji fonemów wymaga wieloetapowego sposobu postępowania [Ostapiuk, 2013a; Pluta-Wojciechowska, 2017; 2022], w pierwszej kolejności ustalenia rejestru fonemów używanych przez mówiącego i oceny sposobu ich realizacji. Każde odstępstwo od głoski modelowej, nieumotywowane pozycją fonemu w wyrazie (wariant pozycyjny) uznaje się za realizację nienormatywną, na którą składają się cechy niepożądane i pożądane. O nienormatywnej głoskowej realizacji fonemu świadczy przynajmniej jedna cecha, która wzrokowo-słuchowo-czuciowo-eksperymentalnie oceniana jest jako odbiegająca od normy [Ostapiuk, 2013a].

Propozycje opisu cech normatywnych polskich głosek znajdują się w licznych pracach językoznawczych [np. Wierzchowska, 1980; Strutyński, 1995; Rocławski, 2005; Ostaszewska, Tambor, 2007]. W opisie cech głosek autorzy uwzględniają następujące ich kategorie: pracę łańdów głosowych, udział rezonatora nosowego, udział środkowej części języka, sposób przepływu powietrza oraz miejsce artykulacji. Cechy te (dystynktywne) różnicują fonemy języka polskiego, stanowią o odmiennościach między różnymi klasami głosek. Przekroczenie granic realizacyjnych przez mówcę (realizacja pozafonemowa) jest natychmiast identyfikowane jako niezgodność z normą wymowy². Obok cech dystynktywnych wpływających na fonemową wartość głoskowej realizacji występują cechy fonetyczne (niedystynktywne), które takiej roli nie odgrywają, a są ważne z punktu widzenia jakości wymowy³. Do takich cech należy

2 Realizacje pozafonemowe [Ostapiuk, 2013a, s. 91–92] charakteryzują się tym, że głoski realizujące dane fonemy mają cechy innego fonemu w prawidłowej postaci fonetycznej (np. głoska podstawowa [s] realizująca fonem /ʃ/, /ʒ/; głoska podstawowa [e], [ś] realizująca fonem /s/) [Trzaskalik, 2021, s. 176].

3 Realizacje pozafonetyczne [Ostapiuk, 2013a, s. 91–92] są zniekształceniem dźwięków – nienormatywna głoska, która pojawia się jako dźwiękowa realizacja fonemu, choć wykracza poza klasę jego głosek, realizuje istotne dla tego fonemu cechy dystynktywne (np. realizacja fonemu /s/ głoską [s]

dentalizacja związana z fonemami /s, z, ts, dz/ (/s, z, c, ʒ/), /ɛ, z, tɛ, dz/ (/ś, ź, ć, ź/), /ʃ, ʒ, ʧ, dʒ/ (/š, ž, č, ž/) oraz medialność/symetria narządów wymowy⁴.

Kategorię medialności⁵ do opisu polskich głosek wprowadziła Barbara Ostapiuk – pierwszą wzmiankę zawarła w artykule *Zaburzenia dźwiękowej realizacji fonemów języka polskiego – propozycja terminów i klasyfikacji* [Ostapiuk, 1997, s. 131], a w kolejnych pracach tej autorki [np. Ostapiuk, 2013a; 2013b] pojawiły się teoretyczne podstawy analizy tej cechy. Widzenie jej jako istotnej w ocenie poprawności/niepoprawności głoski wiązało się z koncepcją trójwymiarowego widzenia głoski [Ostapiuk, 1997; 2013a; Pluta-Wojciechowska, 2002] w trzech płaszczyznach: sagitalnej (kierunek prawo – lewo), czołowej (kierunek przód – tył) oraz poziomej (kierunek góra – dół). Obserwacja głoski (ruchów i pozycji), wynikająca z widzenia jej jako przestrzennej kompozycji narządów wymowy [Ostapiuk, 2013a, s. 131], pozwala na właściwą jej ocenę. Słuchowo-wzrokowo-czuciowo-eksperymentalna analiza [Pluta-Wojciechowska, 2017] tworzonych głosek pozwala na kompleksową interpretację fonetyczno-fonologicznych cech zawierających się w ruchach narządów oddechowo-fonacyjno-artykulacyjnych i w odniesieniu do normy artykulacyjnej – ocenę ich pod kątem poprawności/niepoprawności. Każda głoska poprawnie realizowana stanowi synchroniczne połączenie wszystkich pożądaných jej cech, a badanie „dźwiękowej realizacji fonemów poprzez cechy pozwala odsłonić nieprawidłowy składnik złożonych czynności oddechowo-fonacyjno-artykulacyjnych” [Ostapiuk, 2013a, s. 97] oraz ustalić to, co w tej realizacji jest zgodne z normą, i to, co od tej normy odbiega. O niezgodności z normą świadczą cechy niepożądane: „nieprawidłową głoskę tworzy zespolenie pożądaných i niepożądanych cech [...]” [Ostapiuk 2013a, s. 97]. Wśród istotnych cech w tej koncepcji mieści się medialność. Barbara Ostapiuk odnosi medialność do dwóch faktów: pośrodkowej pozycji narządów w aparacie wymowy i pośrodkowego przepływu powietrza w kanale głosowym [Ostapiuk, 2013a, s. 97].

Wszystkie głoski języka polskiego charakteryzuje „symetria kontaktujących się narządów (języka, warg, łuków zębowych, wiązań głosowych)” [Ostapiuk, 2013a, s. 103; zob. Pluta-Wojciechowska, 2022, s. 85]. Takich informacji dostarcza obserwacja ruchów i pozycji narządów „w odniesieniu do płaszczyzny pionowej sagitalnej (kierunek prawo – lewo) dzielącej język, dno jamy ustnej, podniebienie twarde i miękkie, szczękę i żuchwę, jamę nosową, krtań na symetryczne względem siebie połowy: prawą i lewą” [Ostapiuk, 2013a, s. 132]. Medialność określana jest jako pożądana cecha fonetyczna w realizacji fonemu, dysmedialność stanowi zaś o jego nienormalnej realizacji (dysmedialność asymetryczna).

– interdentalną: interdentalność jako cecha niepożądana; realizacja fonemu /ʃ/, /š/ głoską [ʃ], [š] – lateralną: dysmedialny wpływ powietrza jako cecha niepożądana) [Trzaskalik, 2021, s. 176].

4 „Asymetria narządów (warg, języka, żuchwy) nie jest cechą fonemowo opozycyjną, więc samo naruszenie symetrii (nawet znaczne) nie prowadzi do realizacji w innej klasie fonemowej, co sprawia, że – zwłaszcza wówczas, gdy asymetria występuje wśród innych, lepiej widocznych niedoskonałości – łatwo ją przeoczyć (albo zignorować)” [Ostapiuk, 2013a, s. 133].

5 W literaturze angielskojęzycznej używa się określeń *central* lub *median articulations*.

Drugie rozumienie tak nazwanej cechy fonetycznej związane jest z pośrednim przepływem powietrza w jamie ustnej i „dotyczy z kolei wszystkich głosek ustnych (niezależnie od sposobu artykulacji) za wyjątkiem bocznych (m.in. [l] oraz [łzębowe]), które należą do kategorii *lateralność*” [Ostapiuk, 2013a, s. 98]. Barbara Ostapiuk w swoich publikacjach uznaje za normatywny obustronny (symetryczny) przepływ powietrza, a jednostronny uznaje za nieprawidłowość⁶. Realizacje z bocznym wpływem powietrza bez fonemowego deficytu autorka określa jako dysmedialność lateralną. Ta postać dysmedialności w odniesieniu do fonemów dentalizowanych znana jest w logopedii pod nazwą *sigmatismus lateralis* (seplenienie boczne) [Ostapiuk, 2013a, s. 98].

W obu przypadkach wprowadzona do analizy wymowy cecha nienormatywna odnosi się do tych niezgodności z normą, które mają charakter „fonetycznych niedoskonałości” [Ostapiuk, 2013a, s. 97]. Oba rodzaje dysmedialności – asymetryczna i lateralna – mogą wystąpić jednocześnie [Ostapiuk, 2013a, s. 99; Pluta-Wojciechowska, 2022, s. 213; 2023, s. 215].

Jednym z narządów aparatu wymowy są wargi, a ich ruchomość w artykulacji poszczególnych głosek jest zróżnicowana. W opisach artykulacyjnych głosek polskich w przypadku samogłosek wskazuje się na układ warg i uznaje się jego istotność w ich strukturze realizacyjnej. Wskazuje się na płaski, okrągły i obojętny ich kształt. Bronisław Rocławski układ warg łączy dodatkowo z ułożeniem masy języka, wskazując na związki ruchowe między tymi dwoma elementami aparatu wymowy i nazywając je kompleksami. Kompleks labio-welarny towarzyszy samogłoskom tylnym: „Tylnemu ułożeniu masy języka towarzyszy zaokrąglenie i wysunięcie warg do przodu” [Rocławski, 2005, s. 210], a delabialno-palatalny charakteryzuje [i] oraz [e]:

Wargi w czasie artykułowania samogłosek przednich przyjmują układ płaski (przylegają do zębów, a kąciki są odsunięte [...]). Taki związek układu masy języka z układem warg jest w języku polskim stały i językoznawcy zjawisko to nazywają kompleksem delabialno-palatalnym [...] [Rocławski, 2005, s. 205].

Dla [a] układ warg jest swobodny lub obojętny – „nie obserwujemy tu ani ich wysuwania do przodu, ani spłaszczania” [Rocławski, 2005, s. 214].

Wspominając kompleksy ruchowe powstające podczas artykulacji samogłosek, Rocławski widzi je także w kontekście normatywnej realizacji fonemów dentalizowanych:

6 Anita Lorenc na podstawie badań własnych uznała, że za poprawne uznać należy realizacje zarówno z jednostronnym, jak i obustronnym przepływem powietrza w realizacji fonemu /l/ [Lorenc, 2016].

Ukształtowanie się tego kompleksu [labio-welarnego – przyp. autorów] stwarza korzystne warunki dla artykulacji spółgłosek szeregu szumiącego [ʃ, ʒ, tʃ, dʒ], o czym muszą pamiętać nauczyciele uczący dzieci poprawnej wymowy i logopedzi zajmujący się wywoływaniem głosek i usuwaniem zaburzeń mowy [Rocławski, 2005, s. 210].

Dla głosek [s, z, tc, dz] ([s, z, c, ʒ]) korzystny jest kompleks delabialno-palatalny, charakteryzujący się odsuwaniem kącików ust, co związane jest z przesuwaniem języka do przodu. W przypadku innych spółgłosek badacz mówi o układzie warg w kontekście koartykulacyjnym – np. przy realizacji [k] „[w]argi w czasie zwarcia przygotowują się do artykulacji następnych głosek” [Rocławski, 2005, s. 284], natomiast przy realizacji [f] „[u]kład masy języka i w pewnym stopniu układ warg, zależą od głosek sąsiednich” [Rocławski, 2005, s. 255]. W wielu miejscach pojawiają się ryciny prezentujące pozycję warg podczas głoskowych realizacji fonemów [Rocławski, 2005, np. s. 227, 241, 255]. Bożena Wierzychowska, prezentując charakterystykę fonetyczną dźwięków języka polskiego, w wielu przypadkach przedstawia zdjęcia pokazujące układ warg istotny dla danej głoski [Wierzychowska, 1980, np. s. 54, 86, 79, 99]. Są to (tak to należy rozumieć) wzorcowe układy ust i jeśli im się przyjrzeć, to jest tu zachowana symetria ułożenia. Często też pojawiają się informacje o zmianach układu ust, zależne od tego, jaka głoska znajduje się w sąsiedztwie, np.:

Układ warg jest w czasie wymawiania dźwięku *a* w zasadzie neutralny, tj. taki jak w czasie swobodnego oddychania przez usta [...]; jeśli jednak *a* wymawiane jest bezpośrednio przed *ś, ź, ě* lub *ż*, można obserwować wysunięcie się warg do przodu, jeśli przed *u* – ich zaokrąglenie [Wierzychowska, 1980, s. 55].

Zmiana opisu i oceny głoskowych realizacji polskich fonemów, zapoczątkowana w polskiej literaturze w 1997 roku przez B. Ostapiuk i kontynuowana oraz rozwijana w kolejnych latach przez innych badaczy, nakazała zmienić punkt widzenia i obserwować w trakcie oceny jakości wymowy pacjenta ruchy i pozycje, jakie wykonują narządy podczas głoskowej realizacji fonemu, w tym, czy narządy wymowy mają pośrodkowy układ, czy odmienny od wymaganego [Pluta-Wojciechowska, 2002; 2013; 2022; Konopska, 2006; 2015; Ostapiuk, 2010/2011; 2013a; Sambor, 2016; Trzaskalik, 2017; 2021; Malicka, 2018; Łuszczuk, 2022]. Skoro uznajemy, że głoska stanowi stały układ narządów, to nawet jedna zmiana w tym układzie (tu: dysmedialność ułożenia warg) kształtuje inną głoskę: o innym zbiorze cech i przez to o innych parametrach akustycznych (co może być trudne do uchwycenia w audytywnej ocenie), a co ważne – musi mieć przyczynę. Trzeba wyraźnie powiedzieć, że tylko świadomość i wiedza o możliwości nienormatywnej realizacji pozwala na jej identyfikację, w przeciwnym razie mogą pojawić się trudności.

W polskiej literaturze logopedycznej tematyka dysmedialności asymetrycznej nie jest bogata. Niewiele jest też informacji dotyczących pracy warg. Problem omawiany jest przez B. Ostapiuk [2010/2011; 2013a; 2013b], która w autorskich badaniach skupiła uwagę na korelacji skróconego wędzidełka języka z występowaniem dysmedialnego ułożenia narządów. Dysmedialność w badaniach została przedstawiona jako ruch kompensacyjny w przypadku ograniczenia pracy języka spowodowanego ankyloglosją:

Strategia wykorzystania innego narządu (na przykład warg, żuchwy) do wspomagania języka także pozwala zmniejszyć skutki ograniczenia ruchów języka w kierunku pionowym, ale jest zarazem źródłem nieprawidłowych ruchów narządu wspomagającego w kierunku poziomym (na przykład asymetria warg) albo pionowym (na przykład przysuwanie żuchwy do szczęki) [Ostapiuk, 2010/2011, s. 143].

Autorka przede wszystkim analizowała głoskowe realizacje fonemów /r/ i /l/, sporadycznie tylko pojawiają się w pracy informacje o innych fonemach, w tym również dentalizowanych. Omawiając mowę 19-letniego mężczyzny (ze średnio skróconym wędzidełkiem języka) realizującego sekwencje fonemowe /czapka/ i /czapeczka/, zauważyła:

W czasie trwania każdej realizacji fonemu /cz/ [...] wargi są w mniej lub bardziej asymetrycznym ułożeniu, wysunięte (górną wargę silnie wywinięta i wzniesiona), dolny łuk zębowy niezupełnie przysunięty do szczęki, a język – co widać wówczas, gdy żuchwa się nieco obniża – nie wznosi się w pełni za górne zęby, lecz brzegiem przedniej części kontaktuje z podniebienną powierzchnią górnych siekaczy, jego dolna powierzchnia nie jest swobodnie, szeroko rozłożona, lecz „ściśnięta” i nieco wybrzuszona [...] [Ostapiuk, 2013a, s. 147].

O dysmedialnych ruchach narządów wymowy podczas tworzenia głoskowych realizacji fonemów pisała Lilianna Konopska [2002]. Trudno jest jednak odnosić się do badań autorki, ruchy te włączyła bowiem do lateralności [Konopska, 2002, s. 162]. Badaczka połączyła w jedną kategorię dwa zjawiska: dysmedialny wpływ powietrza i dysmedialne ułożenie artykulatorów. Tak rozumianą lateralność zarejestrowała w realizacji fonemów dentalizowanych przez osoby z wadą zgryzu. Barbara Sambor w badaniach logopedycznych młodych adeptów sztuki aktorskiej wskazała na relacje dysmedialności asymetrycznej zarówno z ankyloglosją, jak i wadami zgryzu [Sambor, 2016, s. 473].

Problem dysmedialnej pracy warg poruszany był w literaturze światowej. Badania przeprowadzano w grupach osób dorosłych i odmienny był kontekst analizy tego problemu. Dysmedialność nie służyła do opisu głosek, a zwrócono uwagę na fakt, iż u większości ludzi podczas mówienia prawa strona ust jest otwarta

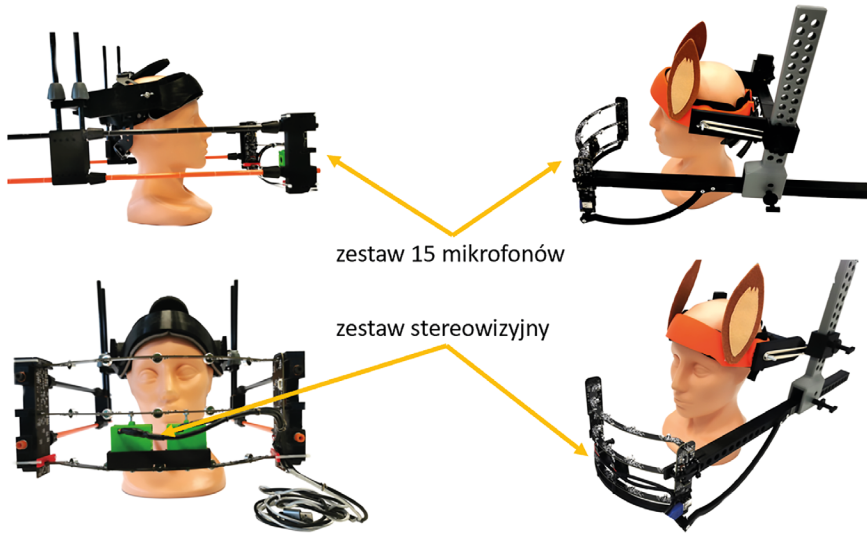
w większym stopniu, co wiąże się z dominacją lewej półkuli w przetwarzaniu języka i/lub programowaniu mowy oraz jej znaczącej roli w wyborze poszczególnych ruchów i ułatwianiu przejścia od jednego elementu ruchowego do drugiego [Graves, Landis, Simpson, 1985; Graves, Landis, 1990]. Badania prowadzono wśród osób z afazją [Graves, Landis, 1985], padaczką [Graves, Strauss, Wada, 1990], jękających się [Code, Lincoln, Dredge, 2010], mężczyzn i kobiet praworęcznych [Hausmann i in., 1998], a także osób z zespołem Downa [Heath, Elliott, 1999].

Materiał badawczy, metodologia badań

Analizowany w artykule problem w realizacji fonemów dentalizowanych dotyczy dysmedialności asymetrycznej – przesunięcia narządu w odniesieniu do płaszczyzny sagitalnej (kierunek prawo – lewo). W prezentacji materiału nie uwzględniono innych nienormalnych cech występujących podczas realizacji tych fonemów. W niniejszym opracowaniu realizowane są dwa cele. Pierwszym jest analiza logopedyczna pokazująca częstość występowania dysmedialnej pracy warg w realizacjach fonemów dentalizowanych, kierunek dysmedialności i grupę fonemów, w których problem najczęściej występuje. Drugi cel to prezentacja wstępnych badań prowadzonych w kierunku analizy akustyczno-wizualnej z wykorzystaniem technik sztucznej inteligencji, które dążą do uzyskania numerycznego i weryfikowalnego opisu ruchu warg na nagraniach wideo mówcy w trakcie wymowy lub ćwiczeń logopedycznych i możliwości obiektywnej oceny ruchu artykulacyjnego.

Materiał badawczy został zebrany przez zespół w ramach projektu badawczego przygotowanego przez Politechnikę Śląską (Katedra Informatyki Medycznej i Sztucznej Inteligencji, Wydział Inżynierii Biomedycznej) i finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki w ramach konkursu SONATA BIS 8 (nr 2018/30/E/ST7/00525). Celem planowanego projektu jest opracowanie hybrydowego systemu akwizycji i przetwarzania sygnału wielomodalnego opisującego realizację fonemów dentalizowanych u dzieci. Rejestrowane dane obejmą wielokanałowy, przestrzenny sygnał mowy oraz stereoskopowy obraz narządów artykulacyjnych. Otrzymane dane zostaną zsynchronizowane w czasie oraz powiązane z opisem logopedycznym. Ponadto podjęta zostanie próba wykorzystania optycznego systemu śledzenia mowy dzieci w obiektywizacji procesu akwizycji wielokanałowego sygnału mowy i obrazu artykulatorów. Dodatkowo zostanie opracowana metodyka analizy i przetwarzania wielomodalnego sygnału mogącego wspomóc diagnostykę logopedyczną wad związanych z tymi fonemami. Badania akustyczne szczegółowo opisanego materiału pozwolą na uzupełnienie stanu wiedzy na temat nienormalnych realizacji analizowanych fonemów, co w przyszłości może wspomóc diagnozę logopedyczną. Ponadto realizacja projektu daje szansę na powstanie i udostępnienie w przyszłych badaniach obszernej referencyjnej bazy wielokanałowego sygnału mowy,

zsynchronizowanego ze stereowizyjnym obrazem artykulatorów wraz z opisem audiologiczno-logopedycznym wymowy polskich dzieci pięcio- i sześciolletnich. Na potrzeby badań została zaprojektowana maska akustyczna, na której rozmieszczono piętnaście urządzeń rejestrujących dźwięk oraz dwie kamery zapisujące niektóre ruchy narządów biorących udział w tworzeniu głósiki (niektóre ruchy języka, warg, żuchwy) [Kręćchwost i in., 2022]. Ryciny 1 i 2 przedstawiają maskę przygotowaną do badań oraz rozmieszczenie mikrofonów i kamer.

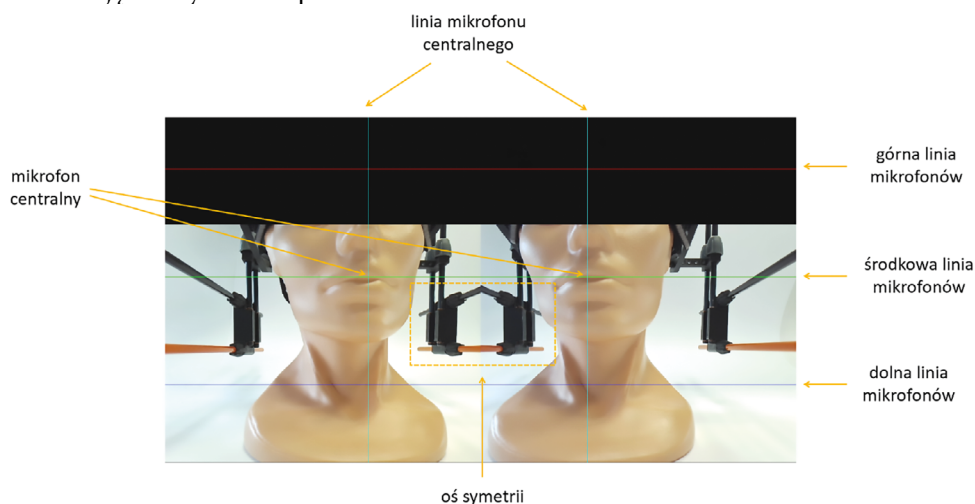


Rycina 1. Maska akustyczna opracowana do badań

Źródło: opracowanie własne

Grupę badawczą stanowiło 198 dzieci z przedszkoli i szkół w województwie śląskim, w przedziale wiekowym między 66. a 96. miesiącem życia. Badane i nagrywane były wszystkie dzieci, które wyraziły chęć udziału w badaniach (dziecko w każdej chwili mogło zrezygnować z badań, a rejestrujący nagrania bacznie obserwowali jego przebieg, reagując na każdy sygnał dyskomfortu dziecka). Udział dziecka w badaniach był wcześniej poświadczony pisemną zgodą rodziców. Po umieszczeniu maski na głowie dziecka proszono je o nazwanie tego, co znajdowało się na obrazkach prezentowanych na ekranie komputera oraz o powtarzanie niektórych wyrazów i sylab (np. *sa*, *sia*, *sza*). Materiał językowy do badania wymowy składał się z obrazków zawierających wszystkie polskie fonemy dentalizowane w różnych pozycjach wyrazowych wymaganych dla konkretnych fonemów. Komputer był umieszczony w takim położeniu, że dziecko nie musiało pochylać głowy, analizując i nazywając wskazany obrazek. Starano się tak dobrać materiał graficzny, by był zrozumiały i czytelny dla dzieci, a każdy analizowany fonem występował w sąsiedztwie samogłoski [a] (np. *samochoód*, *kasa*, *las*). Przygotowano też

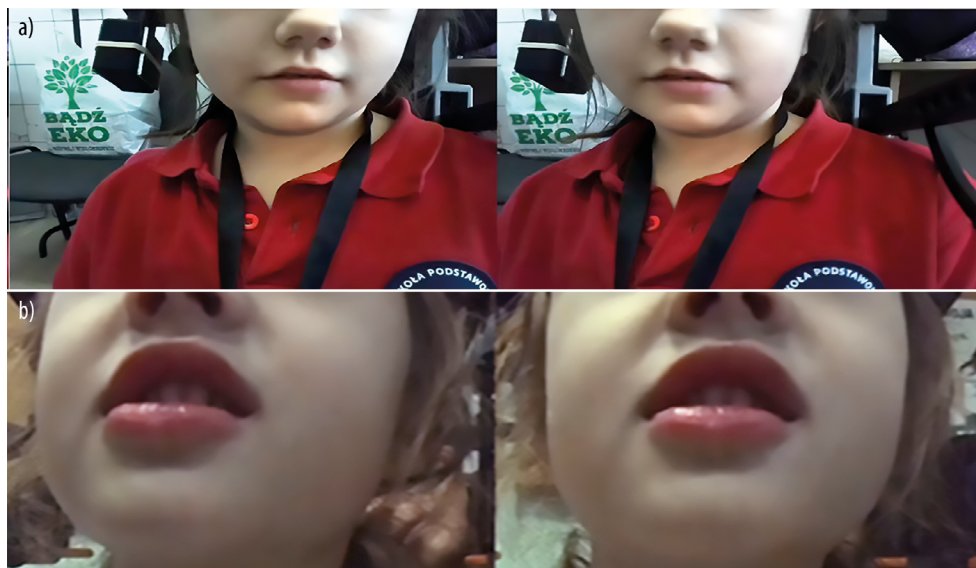
zestaw kilku wyrazów, które dzieci powtarzały za prowadzącym badania (np. *radza*). Po rejestracji materiału badawczego przeprowadzano badania logopedyczne dotyczące oceny jakości wymowy głosek dentalizowanych. Cechy nienormatywne określano według propozycji B. Ostapiuk [2013a]. Sprawdzano także budowę anatomiczną aparatu wymowy i jego funkcjonowanie, np. możliwości ruchowe warg i języka, pozycję spoczynkową języka, sposób połykania, stan słuchu fizycznego i fonemowego (przy zaburzeniach pozafonemowych i pozafonemowo-pozafonetycznych), tor oddechowy, stan zdrowia dziecka. Dzieci były badane przez dwóch niezależnych logopedów. Logopeda każdorazowo był obecny podczas rejestracji materiału badawczego, mając możliwość słuchowo-wzrokowej obserwacji jakości wymowy, a po przeprowadzeniu badania logopedycznego porównywania zapisanego materiału badawczego z własną oceną. Materiał pochodzący z dwóch kamer pozwalał obserwować zewnętrzne ruchy narządów artykulacyjnych dziecka, a możliwość archiwizowania zdjęć i nagrań umożliwiała badaczowi weryfikację spostrzeżeń poczynionych podczas badania wymowy. Rycina 3 pokazuje przykładowe zdjęcia wykonane podczas badań.



Rycina 2. Rozmieszczenie mikrofonów i kamer na masce

Źródło: opracowanie własne

Projekt badawczy zakładał wykorzystanie badań logopedycznych oraz zarejestrowanych danych wielomodalnych – stereowizyjnych nagrań wideo twarzy mówcy oraz przestrzennego sygnału akustycznego – do analizy komputerowej w celu uzyskania obiektywnego opisu ruchu artykulatorów w trakcie głoskowej realizacji fonemów dentalizowanych. W prezentowanym materiale skupiono się na analizie nagrań wideo mówców w celu uzyskania obiektywnego opisu ruchu warg w trakcie wymowy.



Rycina 3. Przykładowe zdjęcia dzieci zrealizowane podczas nagrywania wymowy. Zarejestrowany obraz bez kadrowania a) oraz po kadrowaniu b)

Źródło: opracowanie własne

Analiza materiału badawczego

Analiza logopedyczna

Do analizy logopedycznej opisanej w niniejszym artykule wykorzystano tylko takie dzieci, które miały zgodne kwestionariusze diagnostyczne wypełnione przez dwóch niezależnych logopedów – łącznie 184 dzieci. Praca warg została oceniona osobno dla realizacji poszczególnych grup fonemów dentalizowanych oraz każdego fonemu. Analizowano medialne (symetryczne) i dysmedialne (asymetryczne) ułożenie warg – lewostronne lub prawostronne. W obliczeniach wskazujących wartości procentowe wzięto pod uwagę sumaryczną liczbę cech zaznaczonych w kwestionariuszach przez dwóch logopedów. Uzyskane wyniki dla poszczególnych szeregów zostały przedstawione w tabeli 1. Każdy rekord pacjenta (jedno badanie) zawierał dwa kwestionariusze diagnostyczne wypełnione przez dwóch niezależnych logopedów.

Tabela 1. Występowanie medialności/dysmedialności warg w trzech grupach fonemów

Szereg		Medialność	Dysmedialność		Brak odpowiedzi	Razem (liczba cech)
			prawostronna	lewostronna		
/s, z, ts, dz/	n	1193	212	57	10	1472
	proc.	81,05	14,33	3,87	0,68	100
/ʃ, ʒ, ʧ, dʒ/	n	1213	200	46	13	1472
	proc.	82,40	13,59	3,13	0,88	100
/e, z, te, dz/	n	1206	195	51	20	1472
	proc.	81,93	13,35	3,46	1,36	100

Źródło: opracowanie własne

Problem dysmedialności pracy warg w głoskowych realizacjach fonemów dentalizowanych występuje w około 19% wszystkich zdiagnozowanych cech dotyczących ruchu i pozycji warg podczas artykulacji. Analiza zebranego materiału pokazuje niewielkie różnice między poszczególnymi szeregami fonemów dentalizowanych. Medialna praca warg mieści się w przedziale od 81,05% badanych dzieci dla fonemów /s, z, c, ʒ/ do 82,40% dla /ʃ, ʒ, ʧ, dʒ/. Dysmedialność pracy warg najczęściej dotyczy głoskowych realizacji fonemów /s, z, c, ʒ/ – 18,20%, choć tu też nie widać znaczących różnic między szeregami (16,72% – /ʃ, ʒ, ʧ, dʒ/ i 16,81% – /e, z, te, dz/). W każdej grupie fonemów dominująca jest dysmedialność prawostronna – przedział od 3,87% do 3,13% badanych. Z jednakowym nasileniem problem występuje też podczas realizacji 12 analizowanych fonemów. W grupie fonemów najwyższy wynik procentowy dla dysmedialności warg uzyskano, obserwując realizację fonemu /dz/ – 19,75%, najniższy zaś dla /te/ – 16,30%. W ramach poszczególnych fonemów najwyższy wskaźnik procentowy dotyczył fonemów /s, z, c, ʒ/ i kształtował się między 19,75% (/dz/) a 17,63% (/z/). Dla pozostałych grup fonemów różnice były bardzo niewielkie, a procent dysmedialnych realizacji oscylował między 16,30% i 17,12%. Tabela 2 prezentuje występowanie medialności/dysmedialności warg w realizacji poszczególnych fonemów dentalizowanych. Badania pokazują, że problem w podobnym natężeniu ma miejsce w przypadku wszystkich fonemów dentalizowanych.

Tabela 2. Występowanie medialności/dysmedialności warg w realizacji fonemów dentalizowanych

Fonem		Medialność	Dysmedialność		Brak odpowiedzi	Razem (liczba cech)
			prawostronna	lewostronna		
/s/	n	298	52	14	4	368
	proc.	80,98	14,13	3,80	1,09	100
/z/	n	301	51	14	2	368
	proc.	81,79	13,87	3,80	0,54	100
/tc/	n	297	54	14	3	368
	proc.	80,71	14,67	3,80	0,82	100
/dz/	n	297	55	15	1	368
	proc.	80,71	14,95	4,08	0,26	100

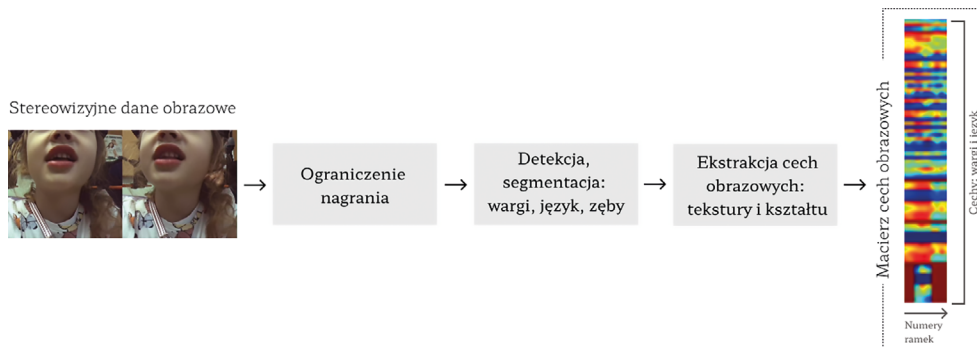
Fonem		Medialność	Dysmedialność		Brak odpowiedzi	Razem (liczba cech)
			prawostronna	lewostronna		
/j/	n	302	52	11	3	368
	proc.	82,07	14,13	2,98	0,81	100
/z/	n	303	50	12	3	368
	proc.	82,34	13,58	3,26	0,82	100
/ʃ/	n	303	49	11	5	368
	proc.	82,34	13,32	2,99	1,35	100
/dʒ/	n	305	49	12	2	368
	proc.	82,88	13,32	3,26	0,54	100
/ɕ/	n	306	49	12	1	368
	proc.	83,15	13,32	3,26	0,27	100
/ʐ/	n	297	49	13	9	368
	proc.	80,70	13,32	3,53	2,45	100
/tɕ/	n	304	47	13	4	358
	proc.	82,61	12,77	3,53	1,09	100
/dʒ/	n	299	50	13	6	368
	proc.	81,25	13,59	3,53	1,63	100

Źródło: opracowanie własne

Komputerowa analiza ruchu warg w artykulacji – kontynuacja badań

Precyzyjna ocena ruchu artykulatorów podczas wizualnego badania nierzadko jest procesem wymagającym doświadczenia diagnosty. Nienormatywne wzorce mogą być delikatne, a więc trudno zauważalne i niejednoznaczne, a brane pod uwagę powinny być liczne aspekty [Kręćchwost, Moćko, Badura, 2021; Łuszczuk, 2022]. Automatyzacja oraz obiektywizacja procesu oceny ruchu warg jest możliwa dzięki wykorzystaniu metod komputerowych. Podobnie jak w przypadku innych obszarów medycznych budowane systemy mogą usprawniać proces diagnostyczny, skracając czas jego trwania, są wsparciem dla niedoświadczonych specjalistów oraz dają możliwość większej pewności i jednoznaczności opinii, popartej obiektywnymi, numerycznymi danymi [Yanase, Triantaphyllou, 2019; Guetari, Ayari, Sakly, 2023].

Projekt zakładał wykorzystanie zarejestrowanych danych wielomodalnych: stereowizyjnych nagrań wideo twarzy mówcy oraz przestrzennego sygnału akustycznego. Nagrania wykonano za pomocą specjalnie zaprojektowanego urządzenia pomiarowego nakładanego na głowę mówcy [Kręćchwost i in., 2022]. W opisywanej części eksperymentów skupiono się na analizie nagrań wideo mówców w celu uzyskania obiektywnego opisu ruchu warg w trakcie wymowy (rycina 4).

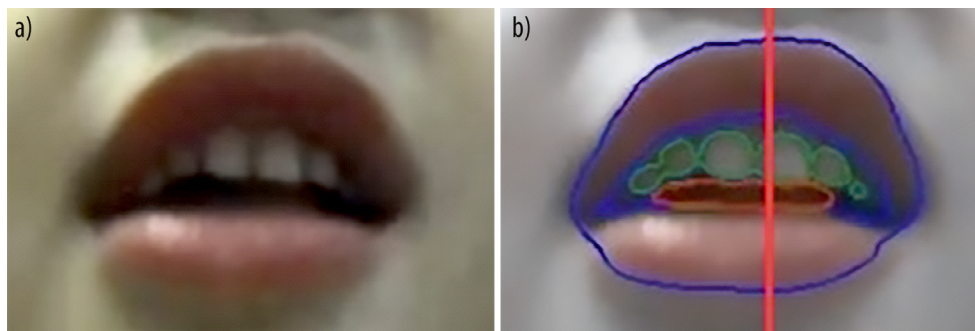


Rycina 4. Uproszczony schemat blokowy opracowanej metody

Źródło: opracowanie własne

Aby umożliwić obliczenie zestawu cech obrazowych wyznaczanych na podstawie ramek wideo, konieczne jest wyodrębnienie wybranych fragmentów z całego zarejestrowanego materiału (np. czasu trwania głosek, wyrazów lub sylab), które zostaną poddane dalszej analizie. W opisywanych badaniach ekspert wydzielił z nagrań występowanie poszczególnych głosek. Odrzucone zostały również fragmenty, które nie nadawały się do dalszej obserwacji ze względu na pomyłki mówców czy zbyt duży wpływ czynników zewnętrznych (w przypadku nagrań wideo były to np. zasłonięcie artykulatorów dłonią czy problemy wynikające z oświetlenia).

Proces segmentacji w przypadku danych obrazowych polega na wyróżnieniu na obrazie pikseli należących do wybranych narządów (np. zaznaczeniu tylko obszaru warg, języka, zębów). Segmentację przeprowadzono z wykorzystaniem zaawansowanych technik sztucznej inteligencji w postaci konwolucyjnych sieci neuronowych (ang. *convolutional neural networks* – CNN) – sieci przeznaczonej do detekcji (YOLOv6) [Li i in., 2022] oraz sieci przeznaczonej do segmentacji (DeepLab v3+) [Chen i in., 2018]. Wynik przykładowej segmentacji wybranych w projekcie artykulatorów, tj. wyróżnienia obszaru warg, zębów oraz języka, zaprezentowano na rycinie 5. Dzięki zaznaczeniu artykulatorów można w bardziej przystępny sposób śledzić ruch warg na nagraniach wideo, a także zlokalizować narządy, które mogą być trudno zauważalne w ocenie wizualnej (np. język). Ponadto wyznaczenie dodatkowych funkcjonalności, takich jak poprowadzenie linii mającej wskazywać środek ust (jako referencję przyjęto rynienkę podnosową), pozwala na łatwiejszą detekcję asymetrii w motoryce narządów.



Rycina 5. Zestawienie obrazu ograniczonego do obszaru ust: a) obraz oryginalny, b) obraz z nałożonymi maskami warg, zębów oraz języka; czerwona linia pionowa wyznacza środek ust

Źródło: opracowanie własne

Mając na obrazie wyodrębnione obiekty (wargi, zęby, język), możliwa jest ekstrakcja cech. Uzyskano zestaw 88 cech obrazowych [Parekh, Jacobs, 2016; Chaki, Dey, 2020; Mayerhoefer i in., 2020], które dzieliły się na 55 cech tekstury oraz po 11 cech kształtu warg (obszar obejmujący zarówno wargi, jak i przestrzeń międzywargową), samych warg (bez obszaru pomiędzy nimi) oraz języka. Cechy tekstury dotyczą powierzchni obiektu, mogą wskazywać m.in. na regularność wzorca, częstość występowania poszczególnych wartości pikseli oraz ich ułożenia. Z kolei cechy dotyczące kształtu odnoszą się do geometrycznego opisu wyodrębnionych obiektów (np. pole powierzchni, obwód, długość osi długiej i krótkiej czy kołowość). Taki zestaw cech może zostać w kolejnych krokach wykorzystany do konstruowania systemów detekcji niewłaściwych wzorców ruchowych artykulatorów. Zaprezentowana kombinacja wartości stanowi wstępne oraz podstawowe zestawienie, które zostanie poddane ocenie użyteczności i skuteczności. Nie wyklucza się, że zestaw ten powinien zostać poszerzony o więcej specyficznych cech, które precyzyjniej opisywałyby wybrane zaburzenia, w tym problem dysmedialności, lub o cechy innych modalności, które w połączeniu z cechami obrazowymi pełniej opisywałyby zagadnienie.

Podsumowanie

Zmiana paradygmatu opisu i oceny głoskowych realizacji fonemów, zapoczątkowana w 1997 roku przez Barbarę Ostapiuk i kontynuowana oraz rozwijana w kolejnych latach przez innych badaczy, nakazała zmienić punkt widzenia i obserwować w trakcie oceny jakości wymowy pacjenta ruchy i pozycje, jakie wykonują narządy podczas artykulacji głoski, w tym, czy narządy wymowy mają pośrodkowy układ, czy odmienny od wymaganego [Pluta-Wojciechowska, 2002; 2013; 2022; Konopska, 2006; 2015; Ostapiuk, 2010/2011; 2013a; Sambor, 2016; Trzaskalik, 2017; 2021; Malicka, 2018; Łuszczuk, 2022]. Ponieważ głoskę stanowi określony ruch i układ

narządów, to nawet jedna zmiana w tym układzie (tu: dysmedialność ułożenia warg) kształtuje inną głoskę: o innym zbiorze cech i przez to o innych parametrach akustycznych.

W prezentowanym artykule skupiono się tylko na jednej cesze nienormatywnej – dysmedialności asymetrycznej związanej z pracą warg. Dysmedialność warg charakteryzuje 19% głoskowych realizacji fonemów dentalizowanych – dominuje dysmedialność prawostronna. Z podobnym nasileniem problem dotyczy wszystkich fonemów dentalizowanych.

Poprawna analiza ruchu i pozycji artykulatorów, w tym warg, może sprawiać problemy. Ruchy często są trudne do uchwycenia podczas badania logopedycznego. Wielozmysłowa obserwacja wymowy jest koniecznością, zwłaszcza że różnica dźwiękowa między normą i patologią jest niewielka. Nienormatywne realizacje mogą być nieznaczne, trudno zauważalne i niejednoznaczne, zwłaszcza dla początkującego logopedy. Automatyzacja oraz obiektywizacja procesu oceny ruchu warg jest możliwa dzięki wykorzystaniu metod komputerowych. Realizowany projekt badawczy, łączący wyniki badań logopedycznych i wielomodalne stereowizyjne nagrania, ma prowadzić do usprawnienia i obiektywizacji diagnozy logopedycznej.

W artykule skupiono się na informacji o częstości występowania dysmedialności warg w dziecięcych realizacjach fonemów dentalizowanych i zasygnalizowaniu kolejnego kroku badawczego, polegającego na połączeniu odpowiednio przygotowanych nagrań wideo mówców z logopedyczną oceną wymowy w celu uzyskania obiektywnego i porównywalnego opisu ruchu warg podczas artykulacji.

W ramach badań realizowanych w projekcie uzyskano szczegółowe dane o jakości wymowy badanych dzieci (różne cechy nienormatywne) oraz wadach anatomicznych i zaburzeniach funkcjonalnych, co według założeń badawczych będzie wykorzystane do dokładnej objawowo-przyczynowej analizy logopedycznej, a włączenie technik komputerowych ma służyć usprawnieniu i obiektywizacji diagnozy logopedycznej.

Praca finansowana przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu badawczego nr 2018/30/E/ST7/00525: „Hybrydowy system akwizycji i przetwarzania sygnału wielomodalnego w analizie sygnalizacji u dzieci”.

Literatura

- Chaki J., Dey N., 2020, *Statistical Texture Features*, [w:] J. Chaki, N. Dey, *Texture Feature Extraction Techniques for Image Recognition. Springer Briefs in Applied Sciences and Technology*, Singapore: Springer, s. 7–23.
- Chen L.C., Zhu Y., Papandreou G., Schroff F., Adam H., 2018, *Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation*, [w:] V. Ferrari, M. Hebert, C. Sminchisescu, Y. Weiss (red.), *Computer Vision – ECCV 2018. ECCV 2018. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 11211, Cham: Springer, s. 833–851.

- Code Ch., Lincoln M., Dredge R., 2010, *Asymmetries in mouth opening during word generation in male stuttering and non-stuttering participants*, „Asymmetries of Brain, Behaviour, and Cognition”, Vol. 10(5), s. 471–486, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13576500442000238> (dostęp: 10.05.2024).
- Graves R., Landis T., 1985, *Hemispheric control of speech expression in aphasia. A mouth asymmetry study*, „Archives of Neurology”, Vol. 42(3), s. 249–251.
- Graves R., Landis T., 1990, *Asymmetry in mouth opening during different speech tasks*, „International Journal of Psychology”, Vol. 25(2), s. 179–189, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1080/00207599008247856> (dostęp: 10.05.2024).
- Graves R., Landis T., Simpson Ch., 1985, *On the interpretation of mouth asymmetry*, „Neuropsychologia”, Vol. 23(1), s. 121–122, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/002839328590051X> (dostęp: 10.05.2024).
- Graves R., Strauss E., Wada J., 1990, *Mouth asymmetry during speech of epileptic patients who have undergone carotid amygdala testing*, „Neuropsychologia”, Vol. 28(10), s. 1117–1121, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/002839329090144D> (dostęp: 10.05.2024).
- Gueteri R., Ayari H., Sakly H., 2023, *Computer-aided diagnosis systems: a comparative study of classical machine learning versus deep learning-based approaches*, „Knowledge and Information System”, Vol. 65, s. 3881–3921.
- Hausmann M., Behrendt-Körbitz S., Kautz H., Lamm Ch., Radelt F., 1998, *Sex differences in oral asymmetries during word repetition*, „Neuropsychologia”, Vol. 36(12), s. 1397–1402, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002839329800027X> (dostęp: 10.05.2024).
- Heath M., Elliott D., 1999, *Cerebral Specialization for Speech Production in Persons with Down Syndrome*, „Brain and Language”, Vol. 69(2), s. 193–211, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0093934X98921319> (dostęp: 10.05.2024).
- Konopska L., 2002, *Jakość wymowy osób z wadą zgryzu*, „Logopedia”, t. 31, s. 157–198.
- Konopska L., 2006, *Wymowa osób z wadą zgryzu*, Szczecin: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego.
- Konopska L., 2015, *Desonoryzacja w dyslalii. Analiza artykulacyjna, akustyczna, audytywna*, Szczecin: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego.
- Kręćchwost M., Moćko N., Badura P., 2021, *Automated detection of stigmatism using deep learning applied to multichannel speech signal*, „Biomedical Signal Processing and Control”, Vol. 68, s. 1–11.
- Kręćchwost M., Sage A., Miodońska Z., Badura P., 2022, *4D Multimodal Speaker Model for Remote Speech Diagnosis*, „IEEE Access”, Vol. 10, s. 93187–93202.
- Li C., Li L., Jiang H., Weng K., Geng Y., Li L., Ke Z., Li Q., Cheng M., Nie W., Li Y., Zhang B., Liang Y., Zhou L., Xu X., Chu X., Wei X., Wei X., 2022, *YOLOv6: A Single-Stage Object Detection Framework for Industrial Applications*, „ArXiv”, <https://arxiv.org/abs/2209.02976> (dostęp: 26.06.2024)
- Lorenc A., 2016, *Wymowa normatywna polskich samogłosek nosowych i spółgłoski bocznej*, Warszawa: Dom Wydawniczy Elipsa.
- Łuszczuk M.M., 2022, *Ocena motoryki narządów mowy. Wskazówki dla logopedów*, „Logopedia”, t. 51, s. 315–334.
- Malicka I., 2018, *Dysfunkcja oddychania i polykania jako przyczyny zaburzeń mowy dzieci w wieku przedszkolnym oraz wczesnoszkolnym*, rozprawa doktorska, Uniwersytet Śląski. Wydział Filologiczny, Katowice, <https://fbc.pionier.net.pl/details/nnvkrVs> (dostęp: 24.05.2024)
- Mayerhoefer M.E., Materka A., Langs G., Häggström I., Szczypiński P., Gibbs P., Cook G., 2020, *Introduction to Radiomics*, „Journal of Nuclear Medicine”, Vol. 61(4), s. 488–495.
- Ostapiuk B., 1997, *Zaburzenia dźwiękowej realizacji fonemów języka polskiego – propozycja terminów i klasyfikacji*, „Audiofonologia”, t. 10, s. 117–136.

- Ostapiuk B., 2010/2011, *Asymetria w tworzeniu głosek u osób z ankyloglosją*, „Logopedia”, t. 39/40, s. 121–146.
- Ostapiuk B., 2013a, *Dyslalia. O badaniu jakości wymowy w logopedii*, Szczecin: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego.
- Ostapiuk B., 2013b, *Dyslalia ankyloglosyjna*, Szczecin: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego.
- Ostaszewska D., Tambor J., 2007, *Fonetyka i fonologia współczesnego języka polskiego*, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Parekh V., Jacobs M.A., 2016, *Radiomics: a new application from established techniques*, „Expert Review of Precision Medicine and Drug Development”, Vol. 1(2), s. 207–226.
- Pluta-Wojciechowska D., 2002, *Realizacja fonemu /t/ ze względu na miejsce artykulacji u osób z rozszczepem podniebienia pierwotnego i/lub wtórnego*, „Logopedia”, t. 30, s. 115–130.
- Pluta-Wojciechowska D., 2013, *Zaburzenia czynności prymarnych i artykulacji. Podstawy postępowania logopedycznego*, Bytom: Wydawnictwo Ergo-Sum.
- Pluta-Wojciechowska D., 2017, *Dyslalia obwodowa. Diagnoza i terapia wybranych form zaburzeń*, Bytom: Wydawnictwo Ergo-Sum.
- Pluta-Wojciechowska D., 2022, *Terapia strategiczna dyslalii obwodowej. Inspiracje do ćwiczeń warg i języka dla dzieci oraz dorosłych*, Bytom: Wydawnictwo Ergo-Sum.
- Pluta-Wojciechowska D., 2023, *Tak zwane seplenienie boczne. O objawie i mechanizmie zaburzeń*, „Logopedia”, t. 51(1), s. 205–224.
- Rocławski B., 2005, *Podstawy wiedzy o języku polskim dla glottodydaktyków, pedagogów, psychologów i logopedów*, Gdańsk: Wydawnictwo Glottispol.
- Sambor B., 2016, *Skaza dykcyjna czy wada wymowy? Logopedyczne badanie młodych adeptów sztuki aktorskiej*, [w:] B. Kamińska, S. Milewski (red.), *Logopedia artystyczna*, Gdańsk: Wydawnictwo Harmonia Universalis, s. 460–485.
- Strutyński J., 1995, *Gramatyka polska. Cz. 1. Wprowadzenie. Fonetyka. Fonologia*, Kraków: Wydawnictwo Tomasz Strutyński.
- Trzaskalik J., 2017, *Terminologiczne dyskusje wokół sygmatyzmu i jego rodzajów na przykładzie sygmatyzmu lateralnego*, [w:] D. Pluta-Wojciechowska, B. Sambor (red.), *Współczesne tendencje w diagnozie i terapii logopedycznej*, Gdańsk: Wydawnictwo Harmonia Universalis, s. 137–151.
- Trzaskalik J., 2021, *Diagnoza i terapia sygmatyzmu (seplenienia)*, [w:] U. Mirecka, A. Domagała (red.), *Logopedia przedszkolna i szkolna. Tom 2. Diagnostowanie i terapia zaburzeń mowy*, Lublin: Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, s. 168–211.
- Wierzchowska B., 1980, *Fonetyka i fonologia języka polskiego*, Wrocław–Warszawa–Kraków–Gdańsk: Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk.
- Yanase J., Triantaphyllou E., 2019, *A Systematic Survey of Computer-Aided Diagnosis in Medicine: Past and Present Developments*, „Expert Systems with Applications”, Vol. 138 (1), 112821.

