

Analiza mowy jako narzędzie diagnozy chorób neurodegeneracyjnych

Karolina Jankowska

INSTYTUT ETNOLINGWISTYKI, UNIWERSYTET IM. ADAMA MICKIEWICZA
AL. NIEPODLEGŁOŚCI 4, 61-874 POZNAŃ

karolina.pieniowska@amu.edu.pl

Abstract

Objective: The aim of the work is to compare the results of research on the oral language of people with neurodegenerative diseases. On the basis of literature, research results and available information, research methodologies in the subject and test results are presented. Speech variables that have been considered in the studies were presented, including linguistic, phonetic and phonological features, prosodic, acoustic, lexical, semantic, syntactic and morpho-syntactic features. **Material and methods:** A comprehensive review and analysis of literature, articles in peer-reviewed journals, in the field of language disorders resulting from brain damage resulting from neurodegenerative diseases. **Conclusions:** Studies show that the speech analysis is a crucial diagnosis tool, which can be used for early neurodegenerative changes recognition. No such studies have been carried out in the Polish language so far.

Wstęp

Choroba Alzheimera i inne choroby neurodegeneracyjne prowadzące do demencji, są coraz większym wyzwaniem dla systemów opieki zdrowotnej w krajach europejskich (Szczudlik, et al., 2016). Problem ten jest związany z przeciętną średnią długością życia, która rośnie wraz z rozwojem w zakresie farmakologii i technologii stosowanymi w medycynie przy jednoczesnym braku środków zapobiegających degradacji funkcji poznawczych lub pełne ich przywrócenie (Podemski, 2008).

Demencji towarzyszą zaburzenia wielu funkcji mózgu, m.in. pamięci, orientacji przestrzennej, liczenia, uczenia się czy funkcji

językowych. Badania wskazują, że możliwe jest diagnozowanie i odróżnienie przyczyn zaburzeń za pomocą metod związanych z wydajnością językową. Osoby starsze często stają się powolne i mniej chętne do mówienia, co jest uważane za normalne objawy związane ze starzeniem się i osłabieniem słuchu. Jednak te same objawy mogą być oznaką chorób. Pierwszymi symptomami chorób neurodegeneracyjnych są zazwyczaj problemy z wyrażaniem myśli, zapominanie słów, stopniowe zmniejszanie zasobu stosowanego słownictwa. W zaawansowanym stadium choroby pacjenci potrafią wypowiadać tylko kilka prostych słów, a następnie same sylaby i krótkie dźwięki (Gaweł & Potulska-Chromik, 2015). Wczesna diagnoza chorób neurodegeneracyjnych jest bardzo ważna, ze względu na możliwość wczesnej reakcji i podejmowania leczenia opóźniającego rozwój choroby. Choroba Alzheimera pozostaje jednak nadal niediagnozowana, ponieważ pacjenci często ignorują pierwsze objawy zmian poznawczych lub po prostu ich nie zauważają, co skutkuje wykrywaniem chorób w umiarkowanym czy zaawansowanym stadium, które jest trudniejsze w leczeniu (Szczudlik, et al., 2016).

Uszkodzenia struktur mózgu powodują istotne zmiany, między innymi zaburzenia w gromadzeniu, nadawaniu i odbieraniu zakłócają komunikację werbalną. Tylno-dolna część płata czołowego, tylna część górnego zakrętu skroniowego oraz okolice styku skroniowo-ciemieniowo-potylicznego to zdefiniowane przez Paula Broca i Carla Wernicke obszary mózgu, których uszkodzenie prowadzi do zaburzeń językowych (Lewicka, et al., 2014). Demencja jest określana jako postępująca degradacja poznawcza powstała w wyniku nieodwracalnej, postępującej choroby mózgu. Diagnostyka psychologiczna i neuropsychologiczna demencji polega na wykazaniu zaburzeń pamięci, myślenia, zmiany emocjonalności, którym towarzyszą problemy językowe takie jak afazja (Szepietowska & Daniluk, 2000).

Na świecie zostało przeprowadzonych wiele badań nad językowymi aspektami chorób neurodegeneracyjnych takich jak demencja. Badano tempo mowy, współczynnik artykulacji, wahań i błędów gramatycznych w mowie spontanicznej u chorych w trzech stadiach demencji: łagodny, umiarkowany i zaawansowany (Hoffman, et al., 2010). Wiele badań skupia się również na kwestiach związanych z lingwistyczną i emocjonalną prozodią mowy, zarówno produkcją jak rozpoznawaniem (Rymarczyk, 1999). Ponadto, bierze się pod uwagę cechy fonetyczne i fonologiczne, leksykalno-semantyczne, syntaktyczne i morfosyntaktyczne, dyskursywne oraz pragmatyczne (Fraser A., et al., 2015). W kolejnym rozdziale zostaną przedstawione wybrane badania nad charakterystyką cech języka u osób z chorobami neurodegeneracyjnymi.

Metody diagnozy chorób neurodegeneracyjnych

1.1 Metody ogólne

Istnieje wiele metod diagnozy chorób degeneracyjnych. Diagnoza chorób neurodegeneracyjnych, takich jak demencja typu Alzheimera, opiera się na

wywiadzie z pacjentem uzupełnionym o informacje od osób z bliskiego otoczenia chorego, dokładne badania neurologiczne i psychiatryczne. Stosuje się również testy laboratoryjne, które pozwalają wykluczyć inne przyczyny objawów. Stosuje się również badania neuroobrazowe, tomografię i rezonans magnetyczny, które ujawniają zaniki kory mózgowej poszczególnych płatów. Ponadto, wykonuje się badania objętościowe hipokampa, jądra migdałowatego, kory węchowej i dynamiki atrofi korowej (Podemski, 2008). W celu diagnozowania zaburzeń poznawczych oraz chorób neurodegeneracyjnych stosuje się wiele testów psychologicznych, np. Mini-Mental State Exam – narzędzie przesiewowe do oceny otępień. Stosuje się również test rysowania zegara czy Global Deterioration Scale. Testy te służą do oceny zdolności takich jak orientacja w czasie i miejscu, zapamiętywanie, uwaga i liczenie, przypominanie, funkcje językowe, powtarzanie (zadanie, w którym pacjent jest proszony o powtórzenie zdania), wykonywanie złożonych poleceń podanych ustnie lub na piśmie oraz zdolności wzrokowo – przestrzenne (Gliwa, 2017). Stosowane są również testy autorstwa Szumskiej opisane w pracy Metody badania afazji z 1980 roku, próby badań neuropsychologicznych Szepietowskiej opublikowane w 2000 roku (Gliwa, 2017).

1.2 Język jako narzędzie wspomagające diagnozę i ocenę zaawansowania choroby

Ocena zdolności językowych jest kluczowa w diagnozie klinicznej chorób neurodegeneracyjnych. Analiza produkcji mowy jest źródłem informacji obejmującym fonetyczne, fonologiczne, leksyko-semantyczne, morfosyntaktyczne i pragmatyczne aspekty języka (Boschi, et al., 2017). Stosuje się testy diagnostyczne opierające się na funkcjach produkcji i percepcji języka takie jak:

- Montreal–Toulouse Language Assessment Battery (MTL): rozumienie ze słuchu i testy nazewnictwa (Pagliarin, et al., 2014)
- Montreal Communication Evaluation Battery (MAC): fonologiczne i semantyczne testy płynności językowej (Pagliarin, et al., 2014)
- Boston Diagnostic Aphasia Examination – test polegający na opisie obrazka (Goodglass H, 2001)
- Boston Naming Test – test nazewnictwa (Goodglass H, 2001)
- Token Test (Multilingual Aphasia Examination) – wielojęzyczny test diagnozujący afazję (Benton, et al., 2000)
- Aural Comprehension of Words and Phrases – test na rozumienie słów i zwrotów ze słuchu (Benton, et al., 2000)
- Controlled Oral Word Association Test – moderowany test asocjacji słów ze słuchu (Benton, et al., 2000)

Powyższe testy służą ocenie zdolności poznawczych osób badanych i polegają w większości na badaniu umiejętności rozumienia mowy oraz produkcji języka, szczególnie płynności mowy. Źródła wskazują, że rozwój choroby może wpłynąć nie tylko na produkowany sygnał mowy, ale także na aspekty wyższego poziomu, na przykład aspekty związane z dyskursem. Przykładem może być zrozumienie metafory, sarkazmu i ogólnej

koherencji. Zmniejszona jest również złożoność stosowanych struktur gramatycznych (Rudzicz, 2016).

Przykłady stosowanych metodologii

1.3 Analiza zmiennych czasowych w spontanicznej mowie pacjentów z rozpoznaniem prawdopodobnej choroby Alzheimera

Sameer Singh, Romola S. Bucks i Joanne M. Cuerden (Singh, et al., 2000) przeprowadzili analizę zmiennych czasowych w spontanicznej mowie pacjentów z rozpoznaniem prawdopodobnej choroby Alzheimera. Zarejestrowano 4 kobiety i 4 mężczyzn w wieku od 57 do 77 lat. Wszyscy uczestnicy wzięli udział w badaniu, które przeprowadzono w Bristol Memory Disorders Clinic. Pacjenci zostali zdiagnozowani na podstawie wywiadu lekarskiego, badania fizykalnego, testów neuropsychologicznych, badań laboratoryjnych i tomografii komputerowej głowy. Uczestnicy byli rejestrowani przez 20-45 minut, co odpowiada około 1000 słów. Do badania wybrano pięć zmiennych: (a) częstotliwość werbalna (długość tekstu podzielony przez całkowity czas wyrażenia), (b) przekształcony współczynnik fonacji (czas wypowiedzi bez pauz podzielony przez to całkowity wypowiedzi), (c) średni czas pauz (średnia długość pauzy w sekundach dzielona przez całkowity czas pauzy; pauzy są liczone jako puste przerwy w mowie dłuższe niż dwie sekundy), (d) standardowy czas fonacji (długość tekstu podzielony przez całkowity czas fonacji, mierzony jako liczba słów na minutę bez pauz), (e) standardowa częstotliwość pauz (długość tekstu podzielona przez liczbę przerw mierzona jako średnia liczba słów między dwoma kolejnymi pauzami) (Singh, et al., 2000).

W wynikach pomiarów można zauważyć istotne różnice między osobami chorymi na Alzheimera (AD) i osobami zdrowymi. Znacząca różnica między uczestnikami chorymi a grupą kontrolną wystąpiła w wynikach średniego czasu pazu, częstotliwości werbalnej i ustandaryzowanym czasie fonacji, co może być podstawą do założenia, że te pomiary mają znaczenie w rozróżnianie AD i osób zdrowych. Występowały istotne różnice między uczestnikami AD i zdrową grupą kontrolną w wynikach średniego czasu pauz, częstotliwości werbalnej, standardowym czasie fonacji ($p < .01$) i całkowitym czasie fonacji ($p < .05$). Nie było znaczących różnic między uczestnikami AD i zdrowej grupie kontrolnej w pomiarach współczynnika fonacji, całkowitym czasie pauz, całkowitego czasu wypowiedzi, i przekształconym współczynnikiem fonacji ($p > .05$) (Singh, et al., 2000).

1.4 Automatyczna analiza mowy do oceny pacjentów z wczesnym stadium demencji i chorobą Alzheimera

Innym przykładem badania jest automatyczna analiza mowy do oceny pacjentów z wczesnym stadium demencji i chorobą Alzheimera (eng. Automatic speech analysis for the assessment of patients with predementia and Alzheimer's disease) (König, et al., 2015). Pacjenci wykonali cztery zadania w trakcie regularnych konsultacji z lekarzem ogólnym. Pierwsze zadanie polegało na liczeniu wstecz od 305 do 285. Na podstawie nagrania tego zadania została określona ciągłość wypowiedzi badanych osób. Analizę ciągłości sygnału mowy przeprowadzono w programie Praat. Mowa lub cisza została wykryta za pomocą algorytmu wykrywania aktywności głosowej, który jest oparty intensywności zarejestrowanego sygnału. Wynikiem analizy są cztery typy danych, tj. długość segmentu głosowego, długość segmentu ciszy, periodyczna i aperiodyczna długość segmentu. Dla każdego typu danych obliczono średni czas trwania, średni stosunek długości (określony jako średni czas trwania głosu/średni czas trwania ciszy, średni czas trwania ciszy/średni czas trwania głosu, średni okres trwania/średni czas trwania aperiodyczny i średni czas trwania aperiodyczna/średni okresowy czas trwania), medianę, odchylenie standardowe, sumę czasu trwania oraz liczbę segmentów. Takie same analizy i obliczenia wykonano dla zadania drugiego, polegającego na opisie obrazka. Pacjent miał starać się uwzględnić jak najwięcej szczegółów i przedstawić je w ciągu minuty. Kolejne zadanie polegało na powtarzaniu 10 krótkich zdań, pojedynczo po lekarzu. Zdefiniowano następujące miary głosowe dla par odpowiednich zdań: (a) czas reakcji wokalne, (b) długość względna - czas trwania wypowiedzi pacjenta/ czas trwania wypowiedzi lekarza, (c) długość ciszy, (d) liczba dodatkowych wstawień, (e) liczba pominięć, (f) nieprawidłowości. Ostatnie zadanie to znany i często stosowany test neuropsychologiczny do oceny funkcje przedniego płata mózgu, które polega na wymienieniu jak największej liczby nazwy zwierząt w ciągu jednej minuty. Test ma na celu badanie płynności językowej. W analizie wyników badania wzięto pod uwagę również płeć, wiek, poziom wykształcenia, wyniki testów takich jak badanie stanu mini-mentalnego (MMSE - mini-mental state examination), testy do oceny funkcji płata czołowego i kwestionariusz oceny zdolności wykonywania codziennych czynności. Nagrania wypowiedzi pacjentów w trakcie testów zostały wykorzystane do analizy sygnału mowy. Analiza nagrań opierała się głównie na ocenie rodzaju zadania jako najbardziej odpowiedniego do analizy mowy pacjentów. Autorzy badania uznali, że najbardziej odpowiednim, umożliwiającym analizę i dającym wartościowe wyniki jest zadanie powtarzania zdań. Wniosek ten został uargumentowany możliwością bezpośredniego porównania wypowiedzi na płaszczyźnie paralingwistycznej.

1.5 Lingwistyczne i prozodyczne cechy mowy do wykrywania choroby Alzheimera

W pracy dotyczącej lingwistycznych i prozodycznych cech mowy w języku tureckim umożliwiających wykrywanie choroby Alzheimera (eng. Evaluation of linguistic and prosodic features for detection of Alzheimer's disease in Turkish conversational speech) autorzy skupili się na ocenie skuteczności wybranych miar w spontanicznych konwersacjach (Khodabakhsh, et al., 2015). Autorzy przedstawili zestaw cech prozodycznych oraz cech lingwistycznych, analizowanych na podstawie transkrypcji. Cechy prozodyczne mowy obejmowały kwestie aktywizacji wokalne, czyli czas reakcji wokalne, długość odpowiedzi, długości pauz, stosunek długości ciszy do całej wypowiedzi, średnia liczba pauz, prędkość wypowiedzi, liczba wypowiedzianych słów. Ponadto wzięto pod uwagę cechy związane z artykulacją oraz średnią liczbę słów i fonemów. Uwzględniono cechy lingwistyczne, takiej jak wypełnienia (np. "yyy"), niepełnych zdań, pytań, cechy oparte na POS (znaczniki części mowy, eng. Part Of Speech tagging). Do obliczenia mocy predykcyjnej cech wykorzystano narzędzia statyczne: maszyna wektorów nośnych (eng. Support Vector Machine), algorytm K najbliższych sąsiadów (eng. nearest neighbor), naiwny klasyfikator bayesowski (eng. naive Bayesian classifiers) oraz metodę drzewa klasyfikacyjnego (eng. classification trees).

Wyniki badania wskazują, że część cech mogą być predyktorami choroby ze względu na wysoką istotność statystyczną niezależnie od wieku, wykształcenia i płci badanych. Cechy prozodyczne okazały się bardzo skuteczne, podczas gdy wśród cech językowych tylko dwie okazały się znaczące. Najbardziej istotną statystycznie cechą okazał się współczynnik ciszy/pauz. Zaobserwowano, że pacjenci częściej zatrzymują się w trakcie wypowiedzi, aby zastanowić się nad dalszą częścią. Współczynnik ciszy był obliczany przez podzielenie całkowitej liczby pauz przez całkowitą liczbę słów w wypowiedzi. Dzielenie liczbę słów można uniknąć nieprawidłowości związanych z prędkością mowy.

1.6 Automatyczna analiza prozodyczna do identyfikacji łagodnej demencji

Badanie automatycznej analizy prozodycznej jako narzędzia rozpoznawania łagodnego stadium demencji polegało na określeniu cech prozodycznych mowy z wykorzystaniem algorytmu (Gonzalez-Moreira, et al., 2015). Wybrano dwanaście zmiennych, które wzięto pod uwagę w badaniu: (a) całkowity czas mowy, (b) liczba pauz (przerwa między dwiema kolejnymi sylabami powyżej 0,3 s), (c) proporcja pauzy (całkowita liczba podzielona przez całkowity czas wypowiedzi), (d) czas fonacji (całkowity czas wypowiedzi plus ciszy poniżej 0,3 s), (e) proporcja fonacji (całkowity czas wypowiedzi plus cisza poniżej 0,3 s podzielona przez całkowity czas trwania wypowiedzi), (f) szybkość mowy (całkowita liczba sylab podzielona przez czas całkowity z pauzami), (g) wskaźnik artykulacji (całkowita liczba sylab podzielona przez czas ich wypowiedzenia), (h) liczba sylab, (i) średni

czas wszystkich sylab, (j) odchylenie standardowe FO, (k) maksymalna zmiana FO (maksymalna różnica między wyższymi i niższymi wartościami), (l) średnia FO. Wyniki badania wykazują różnice między pacjentami z łagodnym otępieniem i zdrowymi pomiarach długości wypowiedzi, liczbie pauz, liczbie sylab, odchylenie standardowe i średnia FO. Pomiarów proporcji pauz, fonacji, wskaźnik artykulacji i średni czas sylab nie wykazują różnic sugerujących, że pomiary te mogą ułatwić rozpoznawanie chorób.

1.7 Inne badania

Boschi (Boschi, et al., 2017) stworzyli zestawienie 120 zmiennych znalezionych w literaturze, które były brane pod uwagę w badaniach nad mową u osób chorych. Wprowadzili kategorie cech, tj.: (a) fonetyczne i fonologiczne, (b) leksykalno-semantyczne, (c) morfosyntaktyczne, (d) syntaktyczne, (e) dyskursowe i pragmatyczne. Fonetyczne i fonologiczne dotyczyły głównie prędkości mowy, pauz, wahań, częstotliwości podstawowej itd. Cechy leksykalno-semantyczne to liczba poszczególnych części mowy i częstotliwość ich występowania, spójność myśli (eng. idea density), którą obliczano sumując czasowników, przymiotników, przysłówków, przyimków i spójników podzielone przez sumę wszystkich wypowiedzianych słów. Brano pod uwagę liczbę wyrażen deiktycznych ogólnie, oraz wyrażen deiktycznych związanych z osobą (badanym) oraz przestrzenią. Ponadto, badano liczbę błędów semantycznych, powtórzeń, perseweracje czy słów, które nie występują w słowniku. Spośród morfosyntaktycznych cech brano pod uwagę odmienione czasowniki, zgodność podmiotu z czasownikiem, czasowniki posiłkowe, imiesłowcy, formy gramatyczne oraz błędy fleksyjne.

1.8 Podsumowanie

W literaturze można znaleźć wiele badań w zakresie cech mowy u osób z chorobami neurodegeneracyjnymi. Wykazano w nich różnice między AD i zdrowymi między innymi w wynikach pomiarów ich prędkości mowy, długością wypowiedzi, długością wypełnionych pauz, liczbą błędów fonetycznych oraz liczbą sytuacji kiedy osoba zaczynała i szybko urywała wypowiedź, żeby zacząć ponownie (eng. false start) (Ahmed, et al., 2013). Osoby chore na Alzheimera używają o połowę mniej czasowników i rzeczowników w wypowiedziach w porównaniu do grupy kontrolnej (Fraser A., et al., 2015). Różnice w średniej częstotliwości FO wypowiedzi AD i grupy kontrolnej są widocznie w wynikach badań np. Yancheva (Yancheva, et al., 2015). Chorzy popełniają także więcej błędów semantycznych i częściej powtarzają słowa i zwroty w trakcie wypowiedzi (Sajjadi, et al., 2011).

W badaniach uwzględniono wiele różnych zmiennych, cech języka mówionego, które mogły być wykorzystane do rozpoznawania chorób neurodegeneracyjnych. Był to najczęściej całkowity czas wypowiedzi, suma pauz w wypowiedzi, całkowita liczba ciszy, przerwa między dwiema kolejnymi sylabami powyżej o określonej długości (np. 0,3 sekund)

(Gonzalez-Moreira, et al., 2015), która była uważana za milczenie. Brano pod uwagę również średni czas wszystkich pauz w sekundach, całkowity czas wahań (eng. hesitation) podzielony przez całkowity czas wypowiedzi, wypełnienia np. „yyy”, sumę sylab w wypowiedzi, średnią długość każdego wyrazu w wypowiedzi mierzona liczbą liter. Sprawdzano także akustyczne aspekty mowy oraz wykonywano obliczenia statystyczne częstotliwości podstawowej (FO), takie jak odchylenie standardowe, maksymalna różnica między wyższymi i niższymi wartościami częstotliwości podstawowej, średnia podstawowej częstotliwości wszystkich wypowiedzianych sylab. Spośród cech lingwistycznych obliczano sumę wypowiedzianych czasowników, rzeczowników, przymiotników i przysłówków i zaimków.

W kilku badaniach wyniki były sprzeczne, na przykład w kwestii znaczeniem różnic długości wypowiedzi osób AD i zdrowych. Różnice te mogą wynikać z doboru testu, np. czytanie tekstu, odpowiedź na pytanie, opis obrazka, wypowiedź spontaniczna, konwersacja itd. Jest jednak kilka zmiennych, które potwierdziły się niezależnie w kilku badaniach. Cechy te dotyczą akustycznych, fonetycznych i fonologicznych aspektów mowy, które mogą się okazać uniwersalne dla każdego języka lub dla grupy języków.

Wnioski

Wyniki wyżej wymienionych badań świadczą o tym, że analiza mowy może być wykorzystywana w badaniach oraz może wspierać lekarzy w rozpoznawaniu chorób neurodegeneracyjnych. Jak wskazali autorzy artykułu dotyczącego automatycznej analizy mowy do rozpoznawania wczesnego stadium demencji (König, et al., 2015), wykrycie zmian w mowie osób świadczącym o procesie neurodegeneracyjnym niezauważalnym w innego typu badaniach umożliwia wczesną interwencję medyczną hamującą rozwój choroby.

Warty uwagi jest fakt, że wszystkie powyższe badania były przeprowadzane dla języków innych niż polski, w większości przypadków dla języka angielskiego. Jest to ważna informacja dająca możliwość przeprowadzenia nowatorskich na skalę polską badań. Zdefiniowanie zmiennych, które będą statystycznie istotne i będą potwierdzały objawy wczesnego stadium choroby może doprowadzić do stworzenia metodologii i automatycznych narzędzi do ewaluacji funkcji poznawczych. Takie rozwiązanie mogłoby pomóc we wczesnej diagnozie i umożliwić terapię w momencie, kiedy zmiany są niezauważane i podatniejsze na terapię. Jeśli wyniki pomiarów paralingwistycznych cech mowy okazałyby się podobne dla języka polskiego i angielskiego, można rozważyć stworzenie uniwersalnego dla tych języków narzędzia wspierającego rozpoznawanie zmian neurodegeneracyjnych. Wraz z rozwojem podobnych badań w innych krajach można kwalifikować większą liczbę języków, w których wystąpią takie same zmiany.

Literatura

- Ahmed, S., d. J. C., H. M. i Garrard, P., 2013. Semantic processing in connected speech at a uniformly early stage of autopsy-confirmed Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, pp. 79-85.
- Benton, A. I., Hamsher, K. i Sivan, A., 2000. *Multilingual Aphasia Examination*, Iowa City: IA: AJA Associates.
- Boschi, V. i inni, 2017. Connected Speech in Neurodegenerative Language Disorders: A Review. *Frontiers in Psychology*, 6 March.
- Fraser A., K. C., Meltzerb, J. A. i Rudzicza, F., 2015. Linguistic Features Identify Alzheimer's Disease in Narrative Speech. *Journal of Alzheimer's Disease*, August, p. 407-422.
- Gaweł, M. i Potulska-Chromik, A., 2015. Choroby neurodegeneracyjne: choroba Alzheimera i Parkinsona. *Postępy Nauk Medycznych*, pp. 468-476.
- Gliwa, R., 2017. Logopedia Lodzienia. brak miejsca: brak nazwiska
- Gonzalez-Moreira, E. i inni, 2015. Automatic Prosodic Analysis to Identify Mild Dementia. *BioMed Research International*.
- Goodglass H, K. E. B. B., 2001. Boston Diagnostic Aphasia Examination. 3rd ed..
- Hoffman, I. i inni, 2010. Temporal parameters of spontaneous speech in Alzheimer's disease. *International Journal of Speech-Language Pathology*, pp. 29-34.
- Khodabakhsh, A., Yesil, F., Guner, E. i Demiroglu, C., 2015. Evaluation of linguistic and prosodic features for detection of Alzheimer's disease in Turkish conversational speech. *EURASIP: Journal on Audio, Speech and Music Processing*.
- König, A. i inni, 2015. Automatic speech analysis for the assessment of patients with predementia and Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia: Diagnosis, Assessment & Disease Monitoring*, March, pp. 112-124.
- Lewicka, T., Stompel, D. i Nowakowska-Kempna, I., 2014. Zaburzenia językowe w chorobach neurodegeneracyjnych : aspekty diagnostyczne i terapeutyczne. *Logopedia Silesiana* 3, pp. 76-94.
- Pagliarin, i inni, 2014. Montreal-Toulouse language assessment battery for aphasia: validity and reliability evidence. *NeuroRehabilitation*, pp. 463-471.
- Podemski, R., 2008. *Kompendium neurologii*. Gdańsk: Via Medica.
- Rudzicz, F., 2016. Toward Dementia Diagnosis via Artificial Intelligence. *Today's Geriatric Medicine*, March/April, p. 8.
- Rymarczyk, K., 1999. Zaburzenia prozodii emocjonalnej i lingwistycznej u pacjentów z uszkodzeniami mózgu. *Przegląd Psychologiczny*, pp. 135 - 150 .
- Sajjadi, S. A., Patterson, K., Tomek, M. i Nestor, P. J., 2011. Abnormalities of connected speech in semantic dementia vs Alzheimer's disease. *Aphasiology*, pp. 847-866.
- Singh, S., Bucks, R. S. i Cuerden, J. M., 2000. An evaluation of an objective technique for analysing temporal variables in DAT spontaneous speech. *Aphasiology*.
- Szczudlik, A. i inni, 2016. Sytuacja osób chorych na chorobę Alzheimera w Polsce, Warszawa: Polskie Towarzystwo Alzheimerowskie.
- Szepietowska, E. M. i Daniluk, B., 2000. Zaburzenia językowe w demencji w ujęciu neuropsychologii klinicznej. *Audiofonologia*, pp. 117-135.

Yancheva, M., Fraser, K. i Rudzicz, F., 2015. Using linguistic features longitudinally to predict clinical scores for Alzheimer's disease and related dementias. Drezno, Association for Computational Linguistics .