

<p>e-ISSN: 2345-0592 Online issue Indexed in <i>Index Copernicus</i></p>	<p>Medical Sciences</p> <p>Official website: www.medicisciences.com</p>	
---	--	---

Imprecise consonants in Parkinson's disease: literature review

Agnė Pacevičiūtė¹, Jolita Čičelienė²

¹Lithuanian University of Health Sciences, Medical Academy, Faculty of Medicine, Kaunas, Lithuania

²Lithuanian University of Health Sciences Kauno klinikos, Department of Neurology, Kaunas, Lithuania

Abstract

Background. Parkinson's disease is characterized by signs of hypokinetic dysarthria, which occurs in the majority of patients. One of the main signs of hypokinetic dysarthria is the inaccuracy of pronouncing consonants. A change in speech is recorded earlier than the classic motor signs of Parkinson's disease. Acoustic analysis of recorded speech signals can help detect subtle speech disorders that may be missed by listening.

Aim: to identify changes in consonant pronunciation in Parkinson's disease.

Methodology. A literature review was conducted by using “PubMed” database. A total of 13 literature sources examining consonant pronunciation changes in Parkinson's disease were selected and reviewed.

Results. In Parkinson's disease, the pronunciation of plosives, affricates and fricatives is most affected. Articulation inaccuracy can be caused by an increased range of tongue movements during the release phase of consonants, muscle rigidity, slow movements and decreased movement force of the tongue, lips, soft palate, vocal cords, and impaired control of the vocal cords.

Conclusion. Although consonant analysis provides a lot of information, a standardized speech analysis method to diagnose Parkinson's disease is not yet available.

Keywords: Parkinson's disease, imprecise consonants, hypokinetic dysarthria.

Priebalsių tarimo sutrikimai, sergant Parkinsono liga: literatūros apžvalga

Agnė Pacevičiūtė¹, Jolita Čičelienė²

¹Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Medicinos fakultetas, Kaunas, Lietuva

²Lietuvos sveikatos mokslų universiteto ligoninė Kauno Klinikos, Neurologijos klinika, Kaunas, Lietuva

Santrauka

Įvadas. Parkinsono ligai būdingi hipokinetinės dizartrijos požymiai, kurie pasireiškia didžiajai daliai sergančiųjų. Vienas iš pagrindinių hipokinetinės dizartrijos požymių yra priebalsių tarimo netikslumas. Kalbos pasikeitimas fiksuojamas anksčiau nei klasikiniai motoriniai Parkinsono ligos požymiai. Įrašytų kalbos signalų akustinė analizė gali padėti aptikti subtilius kalbos sutrikimus, kurių klausant galima nepastebėti.

Tikslas: nustatyti priebalsių tarimo pokyčius sergant Parkinsono liga.

Metodika: Pubmed duomenų bazėje atrinkta 13 literatūros šaltinių, nagrinėjančių priebalsių tarimo pokyčius, sergant Parkinsono liga ir atlikta jų apžvalga.

Rezultatai. Sergant Parkinsono liga labiausiai pažeidžiamas sprogstamųjų, afrikatų ir pučiamųjų priebalsių tarimas. Artikuliacijos netikslumą gali lemti padidėjęs liežuvio judesių diapazonas priebalsių tarimo išleidimo fazėje, raumenų rigidiškumas, lėti judesiai bei sumažėjusi liežuvio, lūpų, minkštojo gomurio, balso stygų judėjimo jėga, pablogėjusi balso stygų kontrolė.

Išvados. Nors priebalsių analizė suteikia daug informacijos, tačiau standartizuoto kalbos analizės metodo, kuris padėtų diagnozuoti Parkinsono ligą dar nėra.

Raktažodžiai: Parkinsono liga, priebalsių tarimo sutrikimai, hipokinetinė dizartrija.

1. Įvadas

Parkinsono liga (PL) yra lėtinė progresuojanti liga, kuria serga apie 1% žmonių virš 60 metų amžiaus visame pasaulyje, ir prognozuojama, kad iki 2030 m. ši liga bus diagnozuota daugiau nei 9 milijonams žmonių išsivysčiusiose šalyse. Yra manoma, kad dėl klaidingos diagnozės, ar nenustatytų atvejų tikrasis sutrikimo dažnis gali būti didesnis [1,2]. Progresuojanti dopaminerginė nigrostriatinio kelio neurodegeneracija, besitęsianti nuo juodosios medžiagos iki dryžuotojo kūno, yra pagrindinis PL patogenezinis mechanizmas ir pamato branduolių motorinės kilpos disfunkcijos priežastis. Nigrostriatinė denervacija sukelia parkinsonizmo motorinių simptomų atsiradimą, įskaitant kalbos pokyčius [3].

Yra žinoma, kad PL yra būdinga prodrominė fazė, kurios metu vyksta neurodegeneracija, tačiau pagrindinių klinikinių simptomų dar nėra. Tam tikri kalbos sutrikimo požymiai fiksuojami iki 10 metų anksčiau nei pagrindinės motorinės ligos apraiškos ir dėl šios priežasties gali prisidėti prie ankstyvos ligos diagnozės [1]. PL sergantiems asmenims pasireiškia kalbos tarimo ir kalbos suvokimo sutrikimai [4]. Kalbos tarimo sutrikimai paveikia visus kalbos aspektus - fonaciją, artikuliaciją ir prozodiją [5] ir yra vadinami hipokinetine dizartrija (HD). HD būdinga netiksliai artikuliacija, silpnas balsas, trūkinėjanti, monotoniška kalba. HD išsivysto dėl tiesioginio neuropatologinio poveikio kalbos vykdymo sistemai, kai yra sutrikdomi kalbos padargų judesiai ir kalbos vykdymo sistemos koordinacija, o šis sutrikimas pasireiškia beveik 90 % PL sergančių žmonių [6]. Įrašytų kalbos signalų akustinė analizė gali padėti aptikti subtilius kalbos sutrikimus, kurių klausant galima nepastebėti [7]. Kai kurie autoriai naudojami mašininio mokymosi metodais, mėgina

iš balso įrašų atskirti sveikus žmones nuo sergančiųjų PL [8–10]. Šie metodai turi didelį potencialą norint sukurti efektyvius biomarkerius, kurie gali padėti neurologams diagnozuoti PL arba leisti pirminės sveikatos priežiūros gydytojams laiku nukreipti pacientą neurologo konsultacijai [11]. Taip pat yra bandoma iš balso įrašo nustatyti PL sunkumo laipsnį. Tai padėtų lengviau sekti PL eigą bei vertinti vartojamų vaistų efektyvumą [12].

Daugelyje PL kalbos tyrimų kliaujamasi fonacijos analize, tęsiant balse /a/, norint įvertinti paciento gebėjimą forsuoti orą iš plaučių į balso stygas ir priversti jas vibruoti, kad sklistų garsas. Tačiau vienas iš pagrindinių apribojimų naudojant tęsiamą balsių fonaciją yra tai, kad balsių tęsimas yra pernelyg paprasta užduotis, kuri neapima balso savybių svyravimų, ir negali suteikti daug informacijos apie artikulacinius. Norint išarti priebalsius, būtinas kvėpavimo, gerklų, artikuliacinių ir sąlyčio jėgos tarp lūpų, liežuvio ir gomurio koordinavimas. Taigi, priebalsių analizė suteikia informacijos apie kalbos padargų veiklos koordinavimą, jų ištraukimo savalaikiškumą ir trukmę, bei gerklų kontrolę [13]. Anksčiau atlikti tyrimai įrodė, kad priebalsiai labiau išsiskiria sergant PL [14,15], priebalsių tarimo netikslumas yra vienas iš pagrindinių PL būdingos HD požymių [16]. Artikuliacijos rodiklių įtraukimas į analizę su fonacijos rodikliais, taikant mašininio mokymosi metodus maksimaliai padidino PL automatinę aptikimą, kurio tikslumas svyravo nuo 80 iki 95 % [17].

Prozodijos studijose daugiausia dėmesio skiriama kalbos greičiui, pauzėms, intonacijai ir bendriesiems žmonių bendravimo įgūdžiams. Tačiau yra žinoma, kad nerimas ir kitos emocijos turi įtakos PL simptomams [18]. Vadinasi, įrašai, atliekami

kontroliuojamoje aplinkoje, gali nesuteikti tikslų paciento balso pokyčių, patiriamų kasdieniame gyvenime. Kita vertus, detali artikuliacijos analizė gali iširti aspektus, kuriems mažesnę reikšmę turi paciento emocijos [19].

Dėl anksčiau išvardintų priežasčių, pasirinkome apžvelgti gana siaurą, bet reikšmingą PL sergančiųjų kalbos sutrikimo aspektą – priebalsių tarimo netikslumą.

2. Tyrimo metodika

Literatūros paieška atlikta „PubMed“ duomenų bazėje, naudojant raktažodžius: Parkinsono liga, Priebalsių tarimo sutrikimai, hipokinetinė dizartrija (Parkinson's disease, Imprecise consonants, Hypokinetic dysarthria). Rasti 331 straipsniai, išspausdinti 2014 - 2022 metų laikotarpyje. Į apžvalgą buvo įtraukti straipsniai, parašyti anglų kalba. Straipsniai apie balsių tarimo sutrikimus, prozodijos tyrimus sergant Parkinsono liga buvo atmesti. Papildomai atrinkti atitinkantys temą siūlomi susiję straipsniai. Iš viso atrinkti 13 literatūros šaltinių ir atlikta jų apžvalga.

3. Tyrimo rezultatai

3.1. Priebalsių artikuliacijos pakitimai sergant PL ir jų patofiziologija

Priebalsių netikslumas, kuris yra vienas iš dažniausių PL sergančiųjų kalbos sutrikimų, buvo išnagrinėtas atliekant tam tikrus suvokimo, akustinius ir fiziologinius tyrimus. Vieni pirmųjų šiuos tyrimus pradėjo Logemann ir Fisher. Ištyrę 200 PL sergančių pacientų jie nustatė, jog sergant PL labiausiai pažeidžiamas sprogstamųjų priebalsių, afrikatų ir pučiamųjų priebalsių tarimas [20]. Yra nustatyta, kad PL sergantiems pacientams kalbant yra sunku laiku sustabdyti balso stygų virpamuosius judesius. Dėl

šios priežasties tęsiasi dalinė vibracija ten, kur nebeturėtų tęstis balsingas garsas [20]. Taip tariami duslūs priebalsiai kalbos sraute suskardėja – pavyzdžiui, garsas /t/ ištiriamas panašiau į /d/.

F. L. Darley ir kt. [21,22] iškėlė hipotezę, kad priebalsių tarimo netikslumas gali būti riboto judesių diapazono, raumenų rigidiškumo, lėtų judesių ir sumažėjusios kalbos padargų (liežuvio, lūpų, minkštojo gomurio, balso stygų) judėjimo jėgos rezultatas. Wong ir kt. [23] tyrinėjo liežuvio judesius priebalsių tarimo metu pacientams, sergantiems PL su pasireiškusia dizartrija. Tyrimas parodė, kad šie pacientai, lyginant su kontrolinėmis grupėmis, turėjo panašų liežuvio artikuliacinių judesių diapazoną formuojant alveolinius priebalsius (kurių tarimo metu artikulatoriai suartėja priekinėje burnos ertmės dalyje – prie dantų alveolių), tačiau jis padidėjo formuojant velarinius priebalsius (kuriuos tariant artikulatoriai suartėja burnos gilumoje – minkštojo gomurio srityje). Wong ir kt. [23] pranešė, jog PL sergantiems pacientams su pasireiškusia dizartrija, lyginant su kontrolinėmis grupėmis, padidėja kalbos padargų judėjimo parametrų vertės (t.y. greitis, pagreitis ir lėtėjimas), daugiausia priebalsių tarimo išleidimo fazėje. Nepaisant padidėjusios judėjimo parametrų vertės, lyginant su kontrolinėmis grupėmis, PL sergančių asmenų su pasireiškusia dizartrija, liežuvio judėjimo trukmė velarinių priebalsių susidarymo metu buvo panaši, tačiau pailgėjo alveolinių priebalsių gamybos metu. Remdamiesi šiomis išvadomis [23], autoriai teigė, kad artikuliacijos netikslumą gali lemti padidėjęs liežuvio judesių diapazonas priebalsių tarimo išleidimo fazėje.

3.2. Akustinės priebalsių tarimo netikslumo charakteristikos

Spektriniai momentai yra akustinės charakteristikos, naudojamos apibūdinti intensyvumo pasiskirstymą įvairiuose dažniuose. Yra nustatyta, kad bilabialis – lūpinis priebalsis (tariamasis suartintomis lūpomis) p yra susijęs su žemesne kurtoze, teigiamu pasvirimu ir žemesniu svorio centru. Alveolinis priebalsis (tariant, liežuvio priešakinė dalis prisispaudžia prie dantų arba alveolių, bet tarp liežuvio šonų ir šoninių dantų lieka angos, pro kurias oro srovė sklaidžiai, be trinties išeina lauk) t yra susijęs su žemesne kurtoze, neigiamu pasvirimu ir aukštesniu svorio centru. Gomurinis priebalsis (kuris tariamasis liežuvio užpakaline dalimi priglundus prie minkštojo gomurio) k yra susijęs su didesne kurtoze, vidutiniu pasvirimu ir tarpiniu svorio centru. Asmenims, sergantiems PL, nustatytas žemesnis gravitacijos centras ir standartinis nuokrypis bei didesnė kurtozė ir nuokrypis, lyginant su sveikais žmonėmis [24].

Tiriant tokius priebalsius kaip /b/, /d/, /t/ ir kt. buvo vertinamas jų fonacijos vėlinimas (angl. Voice Onset Time - VOT), siekiant nustatyti skirtumą tarp PL bei kontrolinių grupių. Šio tyrimo metu nustatyta, kad PL ir kontrolinių subjektų VOT skiriasi – PL sergančių asmenų VOT yra trumpesnis [24]. Šis pokytis manoma atsiranda dėl PL sergančių pacientų gerklų raumenų standumo, dėl kurio sumažėja balso kloščių atsivėrimas [25]. Pablogėjusi priebalsių artikuliacija, tiriama pagal VOT, kuris yra kalbos artikuliacijos ir balso koordinavimo laikinas matas, gali būti iš dalies susijusi su didesniu ašinės motorikos simptomų, pastebėtų sergant vėlyva PL, sunkumu. Šią prielaidą dar labiau patvirtina nustatytas ryšys tarp netikslios priebalsių artikuliacijos ir posturalinio nestabilumo, eisenos sunkumo balo, kuris negali būti aiškinamas kaip paprastas padidėjusio motorinio sutrikimo efektas, nes nėra pastebėta jokio ryšio su bradikinezijos ir rigidiškumo balu [26].

3.3. Mašininis mokymas PL priebalsių analizės tyrimuose

Buvo atliktas tyrimas siekiant nustatyti skardžiojo priebalsio /m/ efektyvumą diagnozuojant Parkinsono ligą. Garso /m/ diagnostinis pritaikomumas taip pat buvo lyginimas su garsu /a/, kuris dažniausiai naudojamas PL kalbos tyrimuose. Tyrime dalyvavo 40 tiriamųjų, iš kurių 18 sirgo PL, o 22 buvo sveiki. Išskirtos savybės buvo naudojamos atraminių vektorių klasifikatoriaus (angl. support vector machine - SVM) modelyje, siekiant atskirti PL sergančius asmenis ir sveikus individus. Garsas /m/ parodė 93% klasifikavimo tikslumą ir 0,85 Matthews koreliacijos koeficientą (MKK), o garso /a/ klasifikavimo tikslumas buvo 70% ir, 0,39 MKK. Spearman koreliacijos koeficiento analizė taip pat parodė, kad /m/ garso ypatybės koreliuoja su “Unifikuotos Parkinsono ligos skalės” motoriniu balu. Autoriai siūlo prielaidą, kad nosinius priebalsius galima naudoti diagnozuojant PL ir stebint šios ligos progresavimą. Taip pat šio tyrimo gauti rezultatai rodo, jog priebalsių tyrimas diagnozuojant PL gali būti tikslesnis už balsių tyrimus [16].

D. Montana ir kt. [11] savo tyrime pasiūlė naują ekspertinę mašininio mokymo grįstą sistemą, skirtą atskirti sveikus žmones nuo PL sergančių žmonių ankstyvosiose ligos stadijose, naudojant diadochokinezės (DDK) testus. DDK testai yra vienas iš labiausiai paplitusių priemonių, skirtų įvertinti artikuliacinius sutrikimus tiek mokslinių tyrimų, tiek klinikinio vertinimo kontekste. DDK užduotys paprastai matuoja tiriamojo gebėjimą kartoti priebalsių – balsių derinį su lūpinėmis, alveolinėmis ir velarinėmis artikuliacijos vietomis, greitai ir ritmiškai. Tiriamųjų prašoma kuo greičiau

pakartoti trijų skiemenų derinį, pvz., /pa/-/ta/-/ka/. Tyrimo duomenimis PL segančių asmenų nustatymo metodas, pagrįstas /k/ sprogstamuoju priebalsiu, pasiekia aukščiausią atskyrimo gebą lyginant su atitinkamomis versijomis, pagrįstomis kitais dviem sprogstamaisiais priebalsiais (/p/ ir /t/) ir siekia beveik 95 procentus [11] E.Q. Wang ir kt. taip pat nustatė, kad sergant PL skiemuo /ka/ yra labiau pažeistas nei /pa/ ir /ta [27]. Tai leidžia suformuoti hipotezę, jog diagnostika, pagrįsta /k/ segmentais, turėtų užtikrinti geresnį rezultatą nei segmentų /p/ arba /t/ atveju.

3.4. Iššūkiai ir ateities perspektyvos

Nors priebalsių analizė suteikia daugiau informacijos nei balsių, norint atlikti išsamią šių fonemų analizę, reikia naudoti sudėtingesnius, specifiskesnius matavimus, nei atliekant fonacijos, ar prozodijos tyrimus. Be to, fonemų tarimas skiriasi priklausomai nuo nagrinėjamos kalbos [28]. Taip pat skiriasi priebalsių išsidėstymas ir dažnis skirtingose kalbose. Pavyzdžiui, anglų ir vokiečių kalboms, įprastai būdingos priebalsių grupės, o italų kalba turi vyraujančią priebalsių-balsių skiemens struktūrą ir turi mažiau priebalsių grupių [29]. Galima galvoti, kad, kalbos, kuriose yra sudėtingesnių priebalsių grupių, gali sukelti daugiau iššūkių PL sergantiems pacientams. Tačiau turimi įrodymai apie kalbos sutrikimą sergant PL daugiausia grindžiami vienos kalbos vertinimais [30]. Naujausi darbai tyrė atskirų foneminių grupių svarbą automatiniam PL identifikavimui, tačiau specifinis fonemų rinkinys, kuris būtų nepriklausomas nuo kalbos ir turėtų įrodytą didelę koreliaciją su liga, dar nėra prieinamas [28].

Matome prasmę tęsti PL kalbos tyrimus, ieškant patikimų ir standartizuotinių priebalsių analizės

metodų, o taip pat jautresnių PL diagnostikai kalbinių užduočių, atsižvelgiant į skirtingų garsų tarimo netikslumo niuansus. Tikslinga testuoti juos ankstyvose PL fazėse, taip pat būklėse, kurios turi žinomą padidėjusią riziką PL išsivystymui (REM miego elgesio sutrikimas, hiposmija), bei skirtingomis kalbomis kalbančiose populiacijose.

4. Išvados

Priebalsių analizė suteikia daugiau informacijos nei balsių, nes balsių tęsimas yra pernelyg paprasta užduotis, kuri neapima balso savybių svyravimų, negali suteikti daug informacijos apie artikulacinius. Sergant Parkinsono liga labiausiai pažeidžiamas sprogstamųjų priebalsių, afrikatų ir pučiamųjų, priebalsių, ypač tų, kuriuos tariant dalyvauja užpakaliniai artikulatoriai tarimas. Artikuliacijos netikslumą gali lemti padidėjęs liežuvio judesių diapazonas priebalsių tarimo išleidimo fazėje, raumenų rigidiškumas, lėti judesiai bei sumažėjusi liežuvio, lūpų, minkštojo gomurio, balso stygų judėjimo jėga, pablogėjusi balso stygų kontrolė. Nors priebalsių analizė suteikia daug informacijos, tačiau standartizuoto kalbos analizės metodo, kuris padėtų diagnozuoti PL dar nėra.

Literatūros šaltiniai

1. Amato F, Borzi L, Olmo G, Artusi CA, Imbalzano G, Lopiano L. Speech Impairment in Parkinson's Disease: Acoustic Analysis of Unvoiced Consonants in Italian Native Speakers. *IEEE Access*. 2021;9:166370–81.
2. Marshall K, Hale D. Parkinson Disease. *Home Healthc now. Home Healthc Now*; 2020;38:48–9.
3. Pinto S, Ozsancak C, Tripoliti E, Thobois S, Limousin-Dowsey P, Auzou P. Treatments for dysarthria in Parkinson's disease. *Lancet Neurol*.

Lancet Neurol; 2004;3:547–56.

4. Lieberman P, Kako E, Friedman J, Tajchman G, Feldman LS, Jiminez EB. Speech production, syntax comprehension, and cognitive deficits in Parkinson's disease. *Brain Lang*. Brain Lang; 1992;43:169–89.

5. Ma A, Lau KK, Thyagarajan D. Voice changes in Parkinson's disease: What are they telling us? *J Clin Neurosci* . Elsevier; 2020;72:1–7.

6. Logemann JA, Fisher HB, Boshes B, Blonsky ER. Frequency and Cooccurrence of Vocal Tract Dysfunctions in the Speech of a Large Sample of Parkinson Patients. *J Speech Hear Disord* . American Speech-Language-Hearing Association; 1978;43:47–57.

7. Harel BT, Cannizzaro MS, Cohen H, Reilly N, Snyder PJ. Acoustic characteristics of Parkinsonian speech: a potential biomarker of early disease progression and treatment. *J Neurolinguistics*. 2004;17:439–53.

8. Naranjo L, Pérez CJ, Campos-Roca Y, Martín J. Addressing voice recording replications for Parkinson's disease detection. *Expert Syst Appl*. Pergamon; 2016;46:286–92.

9. Hariharan M, Polat K, Sindhu R. A new hybrid intelligent system for accurate detection of Parkinson's disease. *Comput Methods Programs Biomed*. *Comput Methods Programs Biomed*; 2014;113:904–13.

10. Little MA, McSharry PE, Hunter EJ, Spielman J, Ramig LO. Suitability of dysphonia measurements for telemonitoring of Parkinson's disease. *IEEE Trans Biomed Eng*. *IEEE Trans Biomed Eng*; 2009 ;56:1015–22.

11. Montaña D, Campos-Roca Y, Pérez CJ. A Diadochokinesis-based expert system considering articulatory features of plosive consonants for early detection of Parkinson's disease. *Comput Methods*

Programs Biomed. *Comput Methods Programs Biomed*; 2018;154:89–97./

12. Majdinasab F, Karkheiran S, Soltani M, Moradi N, Shahidi G. Relationship Between Voice and Motor Disabilities of Parkinson's Disease. *J Voice*. *J Voice*; 2016;30:768.e17-768.e22.

13. Kurowski KM, Blumstein SE, Palumbo CL, Waldstein RS, Burton MW. Nasal consonant production in Broca's and Wernicke's aphasics: Speech deficits and neuroanatomical correlates. *Brain Lang*. Academic Press; 2007;100:262–75.

14. Antolík TK, Fougeron C. Consonant distortions in dysarthria due to parkinson's disease, amyotrophic lateral sclerosis and cerebellar ataxia. *Proc Annu Conf Int Speech Commun Assoc INTERSPEECH*. International Speech and Communication Association; 2013;2152–6.

15. Lowit A. Quantification of rhythm problems in disordered speech: a re-evaluation. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. The Royal Society; 2014;369.

16. Khojasteh P, Aliahmad B, Arjunan SP, Viswanathan R, Khojasteh P, Aliahmad B, et al. Efficiency of Voice Features Based on Consonant for Detection of Parkinson's Disease Human movement View project Voice analysis for diagnosis and severity monitoring of Parkinson's disease View project Rekha Viswanathan Amrita Vishwa Vidyapeetham Efficiency of Voice Features based on Consonant for Detection of Parkinson's Disease.

17. Moro-Velazquez L, Gomez-Garcia J, Dehak N, Godino-Llorente JJ. New tools for the differential evaluation of Parkinson's disease using voice and speech processing. *International Speech Communication Association*; 2021

18. Marsden CD, Parkes JD, Quinn N. Fluctuations of disability in Parkinson's disease – clinical aspects. *Mov Disord*. Butterworth-Heinemann; 1981;96–122.

19. Moro-Velazquez L, Gomez-Garcia JA, Arias-Londoño JD, Dehak N, Godino-Llorente JI. Advances in Parkinson's Disease detection and assessment using voice and speech: A review of the articulatory and phonatory aspects. *Biomed Signal Process Control*. Elsevier; 2021;66:102418.
20. Logemann JA, Fisher HB. Vocal tract control in Parkinson's disease: phonetic feature analysis of misarticulations. *J Speech Hear Disord* [Internet]. *J Speech Hear Disord*; 1981 ;46:348–52.
21. Darley FL, Aronson AE, Brown JR. Clusters of Deviant Speech Dimensions in the Dysarthrias. *J Speech Hear Res. American Speech-Language-Hearing Association*; 1969;12:462–96.
22. Darley FL, Aronson AE, Brown JR. Motor speech signs in neurologic disease. *Med Clin North Am. Med Clin North Am*; 1968;52:835–44.
23. Wong MN, Murdoch BE, Whelan BM. Kinematic analysis of lingual function in dysarthric speakers with Parkinson's disease: An electromagnetic articulograph study. *Int J Speech Lang Pathol. Int J Speech Lang Pathol*; 2010;12:414–25.
24. Cushnie-Sparrow D, Adams S, Knowles T, Leszcz TM, Jog M. Effects of Multi-talker Noise on the Acoustics of Voiceless Stop Consonants in Parkinson's Disease. 2016
25. Fischer E, Goberman AM. Voice onset time in Parkinson disease. *J Commun Disord. Elsevier*; 2010;43:21–34.
26. Rusz J, Tykalová T, Novotný M, Růžička E, Dušek P. Distinct patterns of speech disorder in early-onset and late-onset de-novo Parkinson's disease. *NPJ Park Dis* [Internet]. *NPJ Parkinsons Dis*; 2021;7.
27. Wang EQ, Metman LV, Bakay RAE, Arzbaecher J, Bernard B, Corcos DM. Hemisphere-Specific Effects of Subthalamic Nucleus Deep Brain Stimulation on Speaking Rate and Articulatory Accuracy of Syllable Repetitions in Parkinson's Disease. *J Med Speech Lang Pathol. J Med Speech Lang Pathol*; 2006;14:323–34.
28. Moro-Velazquez L, Gomez-Garcia JA, Arias-Londoño JD, Dehak N, Godino-Llorente JI. Advances in Parkinson's Disease detection and assessment using voice and speech: A review of the articulatory and phonatory aspects. undefined. Elsevier Ltd; 2021;66.
29. Rusz J, Hlavnička J, Novotný M, Tykalová T, Pelletier A, Montplaisir J, et al. Speech Biomarkers in Rapid Eye Movement Sleep Behavior Disorder and Parkinson Disease. *Ann Neurol. John Wiley & Sons, Ltd*; 2021;90:62–75.
30. Brabenec L, Mekyska J, Galaz Z, Rektorova I. Speech disorders in Parkinson's disease: early diagnostics and effects of medication and brain stimulation. *J Neural Transm. J Neural Transm (Vienna)*; 2017;124:303–34.