

Analiza zmian nacisku pióra podczas rysowania spirali Archimedesa za pomocą tabletu graficznego przez osoby zdrowe i pacjentów z chorobą Parkinsona

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki analizy zmian nacisku pióra zarejestrowanego podczas rysowania spirali Archimedesa za pomocą tabletu graficznego. Badania przeprowadzono dla osób zdrowych i osób z chorobą Parkinsona. Do oceny zmienności nacisku przyjęto parametry statystyczne. Badania wykazały, że miary przyjęte do oceny zmienności nacisku można wykorzystać w diagnostyce pacjentów z chorobą Parkinsona.

Abstract. The article presents the results of the analysis of pen pressure changes recorded while drawing Archimedes' spiral using a graphics tablet. The research was conducted for healthy people and people with Parkinson's disease. Statistical parameters were adopted to assess the pressure variability. Studies have shown that the measures used to assess pressure variability can be used in the diagnosis of patients with Parkinson's disease. (*Analysis of changes in pen pressure while drawing Archimedes' spiral using a graphics tablet by healthy people and patients with Parkinson's disease*).

Słowa kluczowe: spirala Archimedesa, tablet graficzny, analiza zmienności nacisku, miary statystyczne.

Keywords: Archimedes spiral, graphic tablet, pressure variability analysis, statistical measures.

Wstęp

Jednym z pierwszych objawów choroby Parkinsona, w przebiegu której następuje uszkodzenie i zanik różnych typów neuronów w ośrodkowym układzie nerwowym, jest pogorszenie pisma ręcznego. Pacjentów z chorobą Parkinsona charakteryzuje tzw. drżenie spoczynkowe, które dotyczy głównie rąk i powoduje mimowolny ruch oscylacyjny o zmiennej amplitudzie w zakresie częstotliwości 4–6 Hz [1]. Amplituda drżenia spoczynkowego zmniejsza się lub zanika w czasie ruchów związanych z wykonywaniem określonego zadania.

W diagnostyce medycznej do określenia stopnia zaawansowania choroby Parkinsona często wykorzystuje się test rysowania spirali Archimedesa na kartce papieru. Stopień deformacji kształtu spirali Archimedesa zwiększa się wraz z postępem choroby. W zaawansowanym stadium choroby Parkinsona na zniekształcenie spirali wpływa nie tylko drżenie ręki, ale także zaburzenia wzrokowo – przestrzenne. Wizualna ocena kształtu narysowanej spirali jest subiektywna i wykorzystuje np. „wzorcowe rysunki”, aby przypisać stopień zaawansowania drżenia samoistnego [2].

W ostatnich latach podejmowane są liczne próby zastosowania tabletu graficznego do rysowania wspomnianej krzywej. Takie rozwiązanie umożliwiłoby nie tylko uzyskanie i archiwizację obrazu spirali Archimedesa, ale także pozwala na zarejestrowanie różnych parametrów opisujących ruch ręki podczas rysowania. Zazwyczaj pióro współpracujące z tabletem graficznym jest wyposażone w zestaw czujników, które służą do wyznaczania m.in. współrzędnych położenia pióra, nacisku czy kąta nachylenia pióra. Na podstawie tych wielkości zarejestrowanych podczas rysowania można wyznaczyć wiele różnych parametrów opisujących przede wszystkim kinematykę i dynamikę pióra [3 - 8].

Test rysowania spirali Archimedesa ułatwia diagnostykę pacjentów z chorobą Parkinsona oraz osób z drżeniem samoistnym. Ponadto pozwala na monitorowanie skuteczności leczenia i rozwoju choroby Parkinsona.

Celem podjętych badań jest wyznaczenie na podstawie obiektywnej analizy pisma ręcznego (np. symboli graficznych, liter, cyfr) parametrów umożliwiających ocenę stopnia zaawansowania choroby PD i monitorowanie jej przebiegu.

W artykule zaprezentowano wyniki oceny zmienności nacisku pióra podczas rysowania spirali Archimedesa na ekranie tabletu graficznego przez osoby zdrowe i pacjentów z chorobą Parkinsona. Do oceny zmienności nacisku przyjęto metody statystyczne, natomiast w pracach [7 - 9] wykorzystano wartość średnią, szybkość i zakres zmian nacisku. Ponadto badano korelację pomiędzy naciskiem a cechami kinematycznymi [7].

Dane pomiarowe

W badaniach wykorzystano dane pochodzące z bazy [10,11] zarejestrowane podczas rysowania spirali Archimedesa z wykorzystaniem tabletu graficznego Wacom Cintiq 12WX oraz cyfrowego pióra.

Zbiór danych zawiera:

- współrzędne położenia x, y, z wyrażone w pixelach,
- nacisk pióra na powierzchnię ekranu,
- kąt nachylenia pióra,
- znacznik czasu.

Wymienione dane zarejestrowano z częstotliwością próbkowania 136 Hz. Rejestrację rozpoczęto w momencie zetknięcia pióra z powierzchnią tabletu i zakończono po wykonaniu zadania. Baza danych zawiera pliki zarejestrowane podczas testów statycznego oraz dynamicznego z udziałem 62 pacjentów z chorobą Parkinsona w różnym stadium zaawansowania oraz 15 osób zdrowych (grupa kontrolna). Test statyczny polegał na odtworzeniu spirali Archimedesa wyświetlonej na ekranie tabletu. Natomiast w teście dynamicznym wzorec spirali był wyświetlany i wygaszany cyklicznie. Podczas rysowania spirali należało wykonać trzy obroty w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara.

Do badań wybrano pliki z danymi zarejestrowanymi podczas testu statycznego.

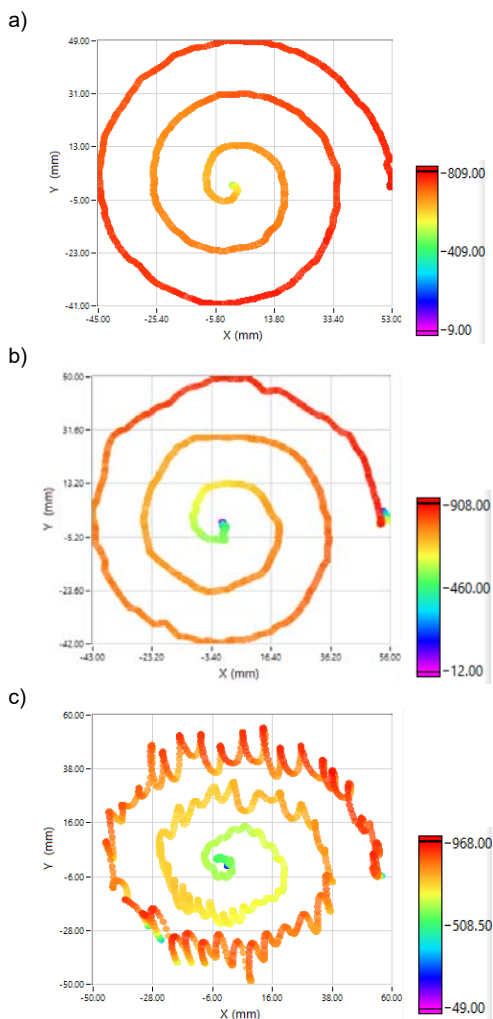
Metoda analizy danych pomiarowych

W ramach wstępnego przetwarzania danych odczyty położenia pióra zostały przeskalowane na mm. Na podstawie współrzędnych x, y można odtworzyć spiralę w kartezjańskim układzie współrzędnych. Wykonano operację przekształcenia spirali tak, aby jej początek reprezentował punkt o współrzędnych (0,0).

Nacisk pióra jest wyrażony jako wielkość bezwymiarowa, którą na wykresie 3D można oznaczać jako oś Z. Na rysunku 1 przedstawiono wykresy reprezentujące spiralę i nacisk pióra dla wybranej osoby zdrowej (Z1) i dwóch pacjentów w początkowym (PD1) i w zaawansowanym (PD2) stadium choroby Parkinsona. Intensywność koloru punktów spirali odpowiada wartościom nacisku.

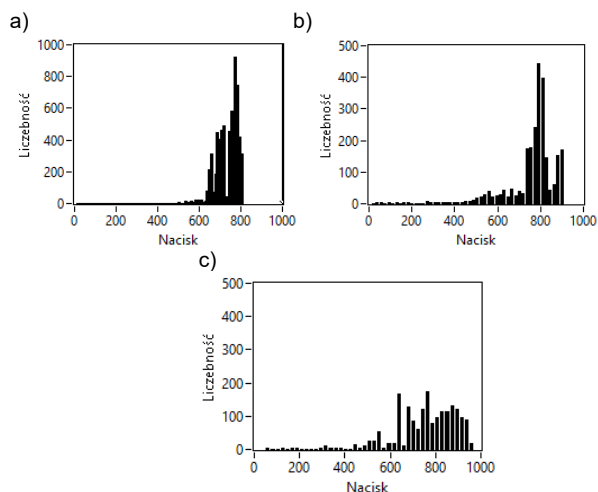
Pacjenta w zaawansowanym stadium choroby Parkinsona charakteryzuje drżenie o dużej amplitudzie uniemożliwiające wierne odtworzenie kształtu spirali, który w znacznym stopniu odbiega od wzorca. Ostatni obrót spirali u tej osoby cechują największe odchylenia położenia pióra od punktów reprezentujących wzorcową spiralę. Towarzyszą im widoczne zmiany wartości nacisku.

Osoba zdrowa odtwarza spiralę ze stosunkowo dużą dokładnością. Osobę chorą odróżnia od zdrowej większy zakres zmian wartości nacisku w czasie rysowania.



Rys. 1. Wykresy trajektorii pióra na płaszczyźnie x, y oraz zmian nacisku zarejestrowane podczas rysowania spirali Archimedesesa dla osoby zdrowej (a), pacjenta we wczesnym stadium choroby (b) oraz pacjenta w zaawansowanym stadium choroby Parkinsona (c)

Rozrzut wartości nacisku pióra przez osoby Z1, PD1, PD2 podczas rysowania spirali ilustrują histogramy na rysunku 2. Kształt histogramów osoby zdrowej i chorych świadczy o asymetrii lewostronnej rozkładów wartości nacisku. Siła asymetrii jest największa dla osoby zdrowej, natomiast największe rozproszenie wartości nacisku obserwuje się dla osoby w zaawansowanym stadium choroby Parkinsona.



Rys. 2. Histogramy rozkładu surowych wartości nacisku dla osoby zdrowej (a), pacjenta we wczesnym stadium choroby (b) oraz pacjenta w zaawansowanym stadium choroby Parkinsona (c)

Miary statystyczne

Na podstawie zarejestrowanych podczas rysowania spirali Archimedesesa wartości nacisku pióra wywieranego na powierzchnię tabletu wyznaczono podstawowe miary statystyki opisowej. W tabeli 1 zestawiono miary przyjęte do oceny zmienności nacisku. Uwzględniono podział parametrów ze względu na opisywane właściwości rozkładu wartości nacisku. Obliczenia wykonano dla wszystkich uczestników testu, otrzymując tym samym 77 wyników dla każdej z miar.

Tabela 1. Parametry statystyczne przyjęte do oceny zmienności nacisku pióra

Miary położenia	Miary rozproszenia	Miary asymetrii	Miary koncentracji
średnia arytmetyczna, mediana	rozstęp, współczynnik zmienności	klasyczny współczynnik asymetrii (skośność)	klasyczny współczynnik skupienia (kurtoza)

W tabeli 2 zestawiono wartości miar przyjętych do oceny zmienności nacisku pióra dla osoby zdrowej i dwóch pacjentów, których spirale przedstawiono na rysunku 1. Uzyskane wyniki potwierdzają większy rozrzut wartości nacisku dla osoby w zaawansowanym stadium choroby Parkinsona oraz większą siłę asymetrii lewostronnej u osoby zdrowej. Ponadto wraz z postępem choroby rośnie wartość współczynnika zmienności, a spada wartość kurtozy.

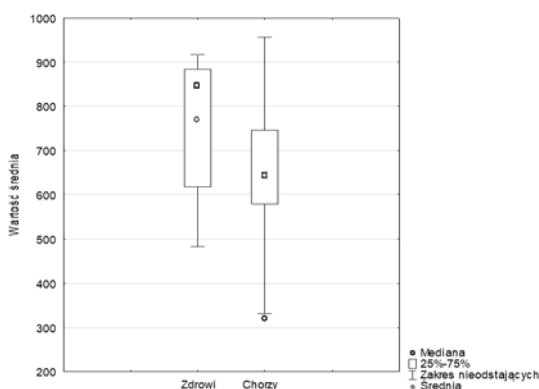
Tabela 2. Przykładowe wyniki dla miar przyjętych do oceny zmienności nacisku pióra

Miara	Osoba Z1	Osoba PD1	Osoba PD2
średnia arytmetyczna	734,92	763,19	755,54
mediana	753	792	764
rozstęp	800	896	919
współczynnik zmienności, [%]	7,84	15,39	18,15
skośność	-2,49	-2,41	-1,31
kurtoza	21,21	11,51	6,08

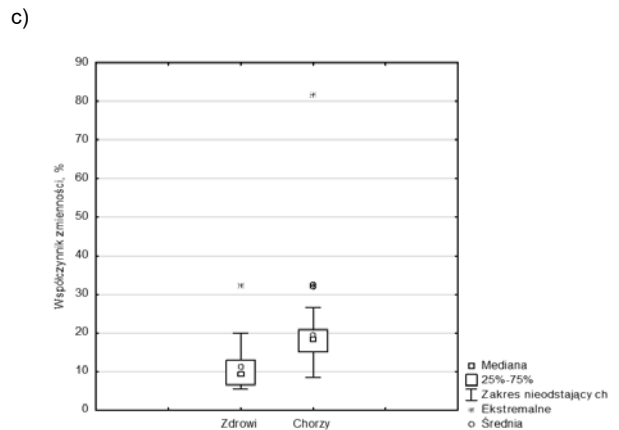
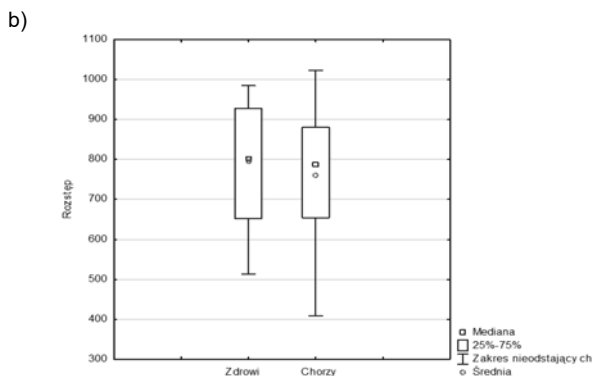
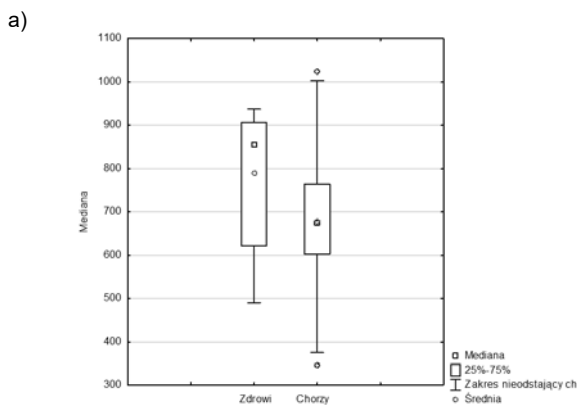
Wykresy pudełkowe

Wykresy pudełkowe ilustrują rozrzut wartości w zbiorze danych [12]. Konstrukcja wykresu pudełkowego opartego na kwartylach umożliwia obserwację danych, dla których nie można przyjąć rozkładu normalnego. Mediana jest

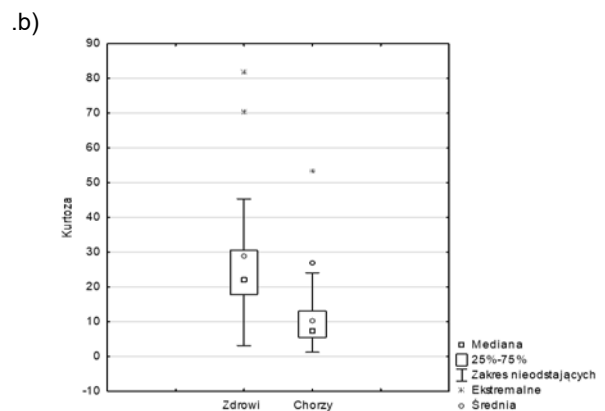
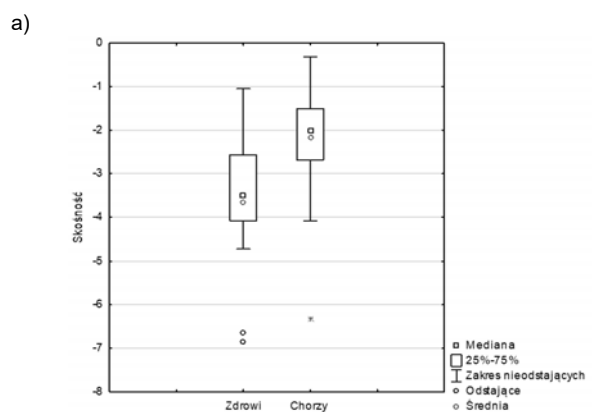
jedną z miar położenia i równocześnie wiarygodnym przybliżeniem tendencji centralnej dla rozkładów innych niż normalne ponieważ jest odporna na wartości odstające, które znacząco wpływają na wartość średnią powodując tym samym jej przesunięcie w kierunku skrajnych wyników. Wykres pudełkowy pozwala również na ocenę symetrii rozkładu wartości. Gdy rozkład danych jest symetryczny można oczekiwać, że mediana jest równa wartości średniej i zlokalizowana w środku pudełka. Natomiast odległość pomiędzy kwartylami Q1 i Q2 oraz Q2 i Q3 powinna być taka sama, a wartości odstające rozmieszczone równomiernie po obu stronach wąsów. W przypadku wystąpienia różnic w wartościach i odległościach pomiędzy parametrami wnioskuje się o asymetrii rozkładu oceniając również jej kierunek i siłę. W efekcie różnica pomiędzy średnią a medianą widoczna na wykresie pudełkowym jest wskaźnikiem stopnia i kierunku asymetrii danych oraz ich rozproszenia. Ponadto graficzna prezentacja danych oparta na wartości IQR (rozstępie międzykwartylowym) zapewnia obiektywną ocenę stopnia rozrzutu wyników.



Rys. 3. Wykresy pudełkowe wartości średniej wyznaczone na podstawie zmian nacisku pióra



Rys. 4. Wykresy pudełkowe mediany (a), rozstępu (b), współczynnika zmienności (c) wyznaczone na podstawie zmian nacisku pióra



Rys. 5. Wykresy pudełkowe skośności (a) i kurtozy (b) wyznaczone na podstawie zmian nacisku pióra

Przykładowe wyniki

Na rysunkach 3, 4 a-c i 5 a-b przedstawiono wykresy pudełkowe miar wyznaczonych na podstawie surowych wartości nacisku uwzględniając podział badanych na grupę osób zdrowych i grupę pacjentów. Analiz dokonano w środowisku programu Statistica 13.3. Granice pudełka stanowią wartości kwartyli Q1 - dolna i Q3 - górna, jego długość określa rozstęp międzykwartylowy IQR. Brązowym symbolem zlokalizowanym wewnątrz ramki oznaczono medianę, natomiast kolorem zielonym wartość średnią. Granice wąsów obliczono na podstawie wartości IQR, zaznaczone jako maksymalne wartości nacisku mieszczące się w granicach wyznaczonych na podstawie zależności: $(Q1 - 1,5 \cdot IQR; Q3 + 1,5 \cdot IQR)$. Wartości nacisku znajdujące się poza granicami wąsów zostały oznaczone jako wartości

odstające (symbol okręgu) bądź ekstremalne (w postaci gwiazdki). Kryterium różnicujące wartości odstające i ekstremalne również obliczono na podstawie wartości *IQR*.

Wyniki mieszczące się w granicach ($Q1 - 3 \cdot IQR$; $Q3 + 3 \cdot IQR$), ale znajdujące się poza granicami „wąsów” oznaczono jako wartości odstające natomiast te, które nie spełniają ostatniego kryterium oznaczono jako ekstremalne

Dla wszystkich badanych największe rozrzuty osiągają wartości miar położenia tj. wartość średnia, mediana i modalna. Ujemne wartości skośności w grupie badanych potwierdzają asymetrię lewostronną zmian nacisku.

Osoby zdrowe od chorych odróżniają większe wartości median wyznaczonych na podstawie przyjętych parametrów (z wyjątkiem skośności i współczynnika zmienności).

Granice pudełek i wąsów określają stopień rozproszenia wyników wskazując wartości graniczne, w których mieści się odpowiednio 50 % oraz 99 % środkowych wartości parametrów. Dla każdej z przyjętych miar z wyjątkiem kurtozy obserwuje się większe rozproszenie wartości w grupie osób chorych co potwierdza większa rozpiętość wąsów. Kurtoza i współczynnik zmienności najlepiej różnicują osoby zdrowe i chorych.

Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono wynik analizy zmian nacisku pióra podczas rysowania spirali Archimedesesa za pomocą tabletu graficznego. Badania przeprowadzono z udziałem osób zdrowych i osób z chorobą Parkinsona wykorzystując ogólnodostępną bazę danych. Do oceny zmian nacisku wywieranego na ekran tabletu przyjęto różne parametry statystyczne. Przedstawiono przykładowe wyniki badań porównując rozrzut wybranych parametrów w grupie kontrolnej i dla osób chorych. Wykazano asymetrię lewostronną rozkładu wartości zmian nacisku w obu badanych grupach oraz większe rozproszenie wartości przyjętych parametrów w grupie osób chorych. Uzyskane wyniki wykazały, że do oceny zmienności nacisku pióra podczas rysowania spirali w celu różnicowania osób chorych i zdrowych oraz obserwacji postępu choroby można przyjąć kurtozę i współczynnik zmienności.

W dalszych pracach przewiduje się badanie zmienności nacisku pióra w zależności od stadium zaawansowania choroby Parkinsona.

Autor: mgr inż. Małgorzata Augustyn, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Katedra Metrologii i Systemów Diagnostycznych, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, e-mail: m.augustyn@prz.edu.pl

LITERATURA

- [1] Abusrair A. H., Elsekaily W., Bohlega S., Tremor in Parkinson's Disease: From Pathophysiology to Advanced Therapies, *Tremor and Other Hyperkinetic Movements*, 12(1), (2022)
- [2] Louis E. D., Mayer S. A., Noble J. M., Merritt Neurologia.T. 1. Cz. I-XII, Wydawnictwo Edra Urban & Partner, (2018)
- [3] Danna J., Velay J. L., Eusebio A., Véron-Delor L., Witjas T., Azulay J. P., Pinto S., Digitalized spiral drawing in Parkinson's disease: A tool for evaluating beyond the written trace, *Human Movement Science*, 65 (2019), 80–88
- [4] Poon C., Gorji N., Latt, M., Tsoi K., Choy S. T. B., Loy C., Poon S., Derivation and analysis of dynamic handwriting features as clinical markers of Parkinson's disease. Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, (2019), 3721–3730
- [5] San Luciano M., Wang C., Ortega R. A., Yu Q., Boschung S., Soto-Valencia J., Bressman S. B., Lipton R. B., Pullman S., Saunders-Pullman R., Digitized spiral drawing: A possible biomarker for early Parkinson's disease, *PLoS ONE*, 11(10) (2016)
- [6] Isenkul M. E., Sakar B. E., Kursun O., Improved spiral test using digitized graphics tablet for monitoring Parkinson's disease. ICEHTM 2014 The 2nd International Conference on e-Health and Telemedicine, (2014), 171-175
- [7] Drotár P., Mekyska J., Rektorová I., Masarová L., Smékal Z., Faundez-Zanuy M., Evaluation of handwriting kinematics and pressure for differential diagnosis of Parkinson's disease, *Artificial Intelligence in Medicine*, 67 (2016), 39–46
- [8] Kamble M., Shrivastava P., Jain M., Digitized spiral drawing classification for Parkinson's disease diagnosis. *Measurement: Sensors* 16, 100047 (2021)
- [9] Zham P., Kumar D. K., Dabnichki P., Arjunan S. P., Raghav S.. Distinguishing Different Stages of Parkinson's Disease Using Composite Index of Speed and Pen-Pressure of Sketching a Spiral. *Frontiers in Neurology*, 8(SEP), 435 (2017)
- [10] Isenkul M.E., Sakar B.E., Kursun O., Improved spiral test using digitized graphics tablet for monitoring Parkinson's disease., The 2nd International Conference on e-Health and Telemedicine (ICEHTM-2014), (2014), 171-175
- [11] Erdogdu Sakar B., Isenkul M., Sakar C.O., Sertbas A., Gorgen F., Delil S., Apaydin H., Kursun O., Collection and Analysis of a Parkinson Speech Dataset with Multiple Types of Sound Recordings, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 17(4), (2013), 828-834
- [12] Nuzzo R. L., The Box Plots Alternative for Visualizing Quantitative Data, *PM and R*, 8(3), (2016), 268–27