

Metody pomiaru i analizy sygnału drżenia i dysfunkcji ruchowych w chorobach neurodegeneracyjnych

Tomasz Orzechowski, Ireneusz Wochlik

AGH Akademia Górniczo Hutnicza, Wydział EAIiE, Katedra Automatyki

Streszczenie: Choroby neurodegeneracyjne (inaczej neurozwyrodnieniowe) to zespół wrodzonych lub nabytych postępujących chorób układu nerwowego, w których obserwujemy zjawisko patologiczne utraty komórek nerwowych. Powstające objawy uszkodzeń neurologicznych można przyporządkować do dwóch podstawowych grup: związanych z zaburzeniami pamięci oraz związanych z zaburzeniami funkcji motorycznych. Zaburzenia funkcji motorycznych mogą być rejestrowane, a ze strumienia informacji wydobywa się szereg parametrów, często przy użyciu zaawansowanych obliczeń numerycznych, na podstawie których lekarz jest w stanie postawić odpowiednią diagnozę. W pracy przedstawiono szereg metod analizy zaburzeń funkcji motorycznych prowadzących do stworzenia systemu wspomaganego diagnostyki tych schorzeń.

Słowa kluczowe: choroby neurologiczne, PD, analiza drgań, przetwornik, czujnik przyspieszenia, EMG

1. Wprowadzenie

Drżenie jest definiowane jako mimowolne rytmiczne ruchy spowodowane przez rytmiczne skurcze mięśni antagonistycznych. Kliniczna klasyfikacja drżenia zależy od umiejscowienia drżenia (np. drżenie głowy czy rąk), pozycji w której występuje największa amplituda drżenia (drżenie spoczynkowe, pozycyjne i kinetyczne) oraz częstotliwości drżenia. Obiektywna ocena nasilenia drżenia, wielkości amplitudy oraz czasu występowania drżenia podobnie jak dominującej częstotliwości ma istotne znaczenie kliniczne w diagnostyce a także w monitorowaniu postępu choroby.

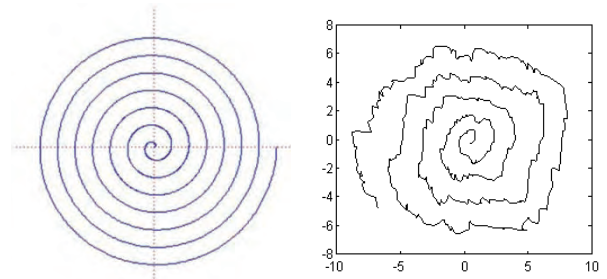
Najczęściej analizowanym przykładem chorób neurodegeneracyjnych jest choroba Parkinsona – samoistna, powoli postępująca zwyrodnieniowa choroba ośrodkowego układu nerwowego. Objawy schorzenia zostały opisane po raz pierwszy przez londyńskiego lekarza Jamesa Parkinsona w 1817 r. Cechą choroby Parkinsona jest występowanie drżenia spoczynkowego. Drżenie obejmuje najczęściej kończyny górne, głowę, a także dolne okolice twarzy (zuchwa, wargi). Objawy drżenia spoczynkowego ulegają redukcji w trakcie wykonywania czynności ruchowych, nasilają się natomiast w przypadku objawiających się emocji (stres, uczucie niepokoju, strach).

Klasyfikacja drżenia ze względu na częstotliwość drgań obejmuje podział na pasma częstotliwościowe wraz z przedziałem określonych schorzeń. Częstotliwości drżenia, jakie występują w PD (ang. *Parkinson's disease*) szacuje się w paśmie 3–7 Hz. Nieco innym schorzeniem z objawami drżenia jest tzw. drżenie samoistne ET (ang. *essential*

tremor), które jest jednym z najczęściej występujących schorzeń tego typu obok choroby Parkinsona. Częstotliwości drgań podawane w literaturze zaliczają tę chorobę do pasma 4–9 Hz. Należy w tym miejscu dodać, że większość typowych dolegliwości cechuje się występowaniem częstotliwości drżenia w pewnym określonych przedziałach, jednak pasma częstotliwościowe drżeń często pokrywają się w pewnym stopniu, co może powodować rozbieżności w ich diagnozie i dlatego konieczne jest przeprowadzanie dodatkowych testów.

2. Metody rejestracji i analizy ruchów dłoni pacjentów z zaburzeniem funkcji motorycznej

Analizując zatem szereg zaburzeń funkcji motorycznej pacjenta, należy zarejestrować i poddać ocenie obserwowany ruch, np. dłoni. Istnieje szereg metod pozwalających dokonać oceny tego ruchu. Polegają one na rejestracji ruchu (przy użyciu klasycznych metod jak również za pomocą aparatury cyfrowej), a następnie analizie zebranego materiału i porównaniu go z wzorcem definiującym dysfunkcję bądź stopień jej nasilenia.



Rys. 1 Spirala Archimedesowa: wzorec oraz jej rysunek wykonany przez chorego

Fig. 1. Archimedes spirals: pattern & drawn by PD patients

Jedną z podstawowych klasycznych metod oceny zaburzeń funkcji motorycznej w chorobach neurodegeneracyjnych jest ocena poziomu występującego drżenia kończyny oraz spowolnienia ruchowego przeprowadzana na podstawie testu rysowania spirali Archimedesowej (rys. 1).

Badanie polega na rysowaniu przez pacjenta spirali w pozycji siedzącej, na wcześniej przygotowanej kartce papieru z naniesionym wzorem spirali. Ocena wystawiana przez lekarza (w skali 1–10) uwzględnia czynniki, takie jak: amplituda drżenia, poprawność odwzorowania kształtu spirali, stopień nierównomierności drżenia jak również czas, w którym pacjent rysował spiralę. Badanie to prze-

prowadzane jest w większości ośrodków klinicznych na całym świecie i jest ono referencyjne w stosunku do nowych, cyfrowych metod.

Klasyczne zadania, takie jak test rysowania spirali, będące podstawą metod klinicznych, takich jak skale oceny, mają tę wyższość nad metodami aparaturowymi, iż są dostępne niemal dla każdego klinicysty, jednak nie są tak dokładne oraz wymagają pewnego doświadczenia w ocenie. Mają one ponadto element subiektywnej oceny lekarza. Powoduje to, że bardzo trudno jest zbudować na ich podstawie obiektywną metrykę oceny, którą można wykorzystać do uniwersalnego opisu zaawansowania objawu, a także do porównania wyników z różnych ośrodków medycznych. Dlatego też wprowadzane są metody oceny zaburzeń funkcji motorycznej pacjentów ze schorzeniami neurodegeneracyjnymi z wykorzystaniem aparatury cyfrowej i technik informatycznych. Niektóre z nich zostaną opisane poniżej.

2.1. Test rysowania spirali Archimedesesa z wykorzystaniem tabletu graficznego

Bazę do tej metody stanowi klasyczny test rysowania spirali Archimedesesa na kartce papieru z naniesionym szablonem. Kartkę papieru zastąpiono cyfrowym tabletem graficznym. **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**, a zarejestrowany obraz odwzorowujący kolejne sekwencje ruch dłoni pacjenta poddaje się analizie w dedykowanym oprogramowaniu.

Stanowisko do przeprowadzenia testu musi zapewniać badanemu możliwość swobodnego oparcia ramion na blacie biurka, na którym ustawia się cyfrowy tablet. Na tablecie tym naniesiony jest wzór spirali Archimedesesa, zatem pacjent nie musi odrywać wzroku w trakcie badania. Ponadto w czasie badania na ekranie komputera wizualizuje się w czasie rzeczywistym rysowaną przez pacjenta spiralę. Sposób wykonania badania jest identyczny z klasycznym, tzn. na test nie nakłada się ograniczenia czasowego, a pacjent rysuje spiralę z odpowiadającą mu prędkością.

Metoda ta jest bardzo popularna i stosowana w wielu ośrodkach zagranicznych oraz polskich. W kraju przygotowaniem i przeprowadzeniem badań z wykorzystaniem tabletu graficznego zajmuje się interdyscyplinarna grupa badawcza Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz Katedry Automatyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Szczegółowy opis stosowania metody przedstawiono w pracy [3], walidację nowej, aparaturowej metody oceny drżenia wraz z opisem przyjętych parametrów określających stopień nasilenia objawu. Badaniu poddano grupę 101 pacjentów ze stwierdzoną chorobą Parkinsona oraz 52 pacjentów chorych na drżenie samoistne. Do porównania oceny nasilenia objawów parkinsonizmu wykorzystano następujące, referencyjne skale: UPDRS (ang. *unified Parkinson's Disease Rating Scale*, Ujednolicona Skala Oceny Choroby Parkinsona), Sch-E (ang. Schwab & England Scale), ADL Scale (ang. *Activities of Daily Living*). Badanie powtórzone trzykrotnie dla każdego pacjenta, co pozwoliło na wyeliminowanie bądź zmniejszenie wpływu nieudanych prób. Wektor współrzędnych z każdego zapisu

stanowił bazę do dalszej analizy. Informacje w nim zawarte odwzorowywały przebieg tworzenia spirali Archimedesesa w czasie, zatem możliwa była także ocena prędkości oraz przyspieszenia wykonanego ruchu. Podstawowe obliczenia umożliwiające późniejsze wyznaczenie parametrów i opracowanie statystyczne stanowiły:

- zamiana współrzędnych kartezjańskich na biegunowe,
- znaczenie wektora zmiany długości promienia rysowanej spirali,
- wyznaczenie wektora prędkości oraz przyspieszenia,
- transformata Fouriera z wektora przesunięcia, prędkości oraz przyspieszenia,
- wyznaczenie współczynników określających nasilenie drżenia.

Zaprojektowany algorytm na bazie sieci neuronowych został poddany uczeniu na zbiorze testowym, w którym każdy przypadek narysowanej spirali Archimedesesa został oceniony przez trzech lekarzy metodą VTR (ang. *Visual Tremor Rating*) w skali 1–10. Nauczona w ten sposób sieć neuronowa została wykorzystana do późniejszej analizy pozostałych badań.

Pomimo zadowalającej korelacji wyników z zastosowania metody z oceną lekarza test ten ma kilka niedogodności. Po pierwsze nie można go zastosować dla pacjentów z bardzo dużym nasileniem drżenia, gdyż nie są oni w stanie utrzymać pióra i nie odrywając go od powierzchni tabletu narysować spirali. Ponadto metoda ta jest trudna w zastosowaniu wśród pacjentów z objawami demencji lub zaburzeń wzroku, ponieważ wymaga znacznej współpracy pacjenta w czasie badania. Zaletą metody jest jej mobilność, gdyż wymaga jedynie tabletu graficznego podłączonego do dowolnego komputera np. przenośnego laptopa.

2.2. Metoda wykorzystująca pojedynczy akcelerometr

Metoda ta bazuje na klasycznej obserwacji i ocenie drżenia kończyny górnej wykonywanej przez specjalistę. Do pomiaru amplitudy drżenia wykorzystuje się dwu- lub trójosiowy, jednopunktowy akcelerometr umieszczony na dłoni bądź nadgarstku pacjenta (rys. 2). Badanie przeprowadza



Rys. 2. Czujnik przyspieszenia (źródło: BIOPAC Systems Inc, www.biopac.com)

Fig. 2. Accelerometer sensor (from: BIOPAC Systems Inc, www.biopac.com)

się przy stanowisku pozwalającym pacjentowi na swobodne wyprostowanie ramion w pozycji siedzącej. Zazwyczaj w czasie jednej serii pacjent wykonuje trzy zróżnicowane zadania, które pozwalają na ocenę drżenia spoczynkowego (ramiona położone swobodnie na blacie stołu), drżenia pozycyjnego (ramiona wyprostowane przed siebie) oraz drżenia kinetycznego, np. w trakcie rysowania spirali Archimedesesa. Zarejestrowany sygnał przetworzony wstępnie przez sprzętową jednostkę centralną poddawany jest dalszej obróbce i analizie w dedykowanym oprogramowaniu.

Metoda ta jest stosowana w wielu ośrodkach badawczych i klinicznych, a wyniki z jej stosowania zostały przedstawione m.in. w pracach [4–7]. Badania pilotażowe zostały także zrealizowane przez grupę badawczą Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz Katedry Automatyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w 2005 r. celem oceny drżenia wśród osób z chorobą Parkinsona, a w kolejnych latach metoda ta była stosowana także klinicznie do oceny drżenia u chorych z połowicznym kurczem twarzy.

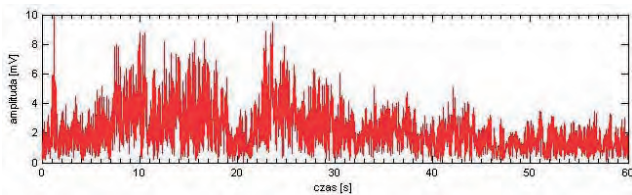
Rejestrację drżenia wykonano za pomocą trójosiowego czujnika przyspieszenia *BIOPAC Systems SS26L*. Według specyfikacji producenta jest on przewidziany do rejestracji wolnych ruchów (ruch kończyn podczas chodzenia) bądź ruchu drżenia. Jego podstawowe parametry zestawiono w tab. 1.

Tab. 1. Podstawowe parametry czujnika przyspieszenia BIOPAC SS26L (źródło: <http://www.biopac.com>)

Tab. 1. Basic parameters of the acceleration sensor (from: <http://www.biopac.com>)

Parametr	Wartość według producenta
Zakres	$\pm 5G$ (400 mV/G)
Pasma	DC – 500 Hz (–3 dB)
Nieliniowość	0,2 % pełnej skali
Wielkość	$33 \times 28 \times 19$ mm
Waga	17 g

Badania pilotażowe objęły 32 osoby z różnymi typami schorzeń neurodegeneracyjnych. Każdy pacjent został poddany trzem kolejnym testom, rejestrującym drżenie spoczynkowe, pozycyjne i kinetyczne. Zaprojektowana aplikacja umożliwia wstępne przetwarzanie oraz wizualizację sygnału (rys. 3) pozwalającą lekarzowi na szybką ocenę



Rys. 3. Wizualizacja zmian przyspieszenia, zapis drżenia pacjenta z PD

Fig. 3 Visualization of changes in acceleration signal, PD tremor signal

jego ogólnych parametrów (amplituda, nasilenie drżenia, zmiana drżenia w czasie) oraz stwierdzenie poprawności zapisu danych.

Podstawowa analiza sygnału w dziedzinie czasu obejmowała wyznaczenie następujących parametrów:

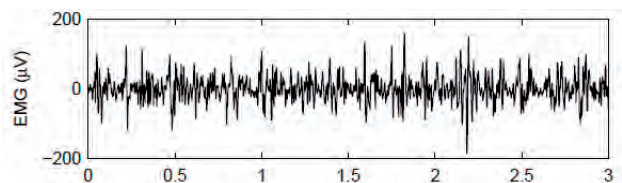
- amplituda maksymalna oraz średnia amplituda drżenia,
- moc sygnału,
- współczynnik nasilenie drżenia w czasie trwania badania,
- współczynnik stabilności drżenia (suma wartości bezwzględnych odchyżeń w każdym z zadanych przedziałów od średniej amplitudy całego sygnału).

Badanie to, w przeciwieństwie do metody wykorzystującej tablet cyfrowy, umożliwia przeprowadzenie testu wśród pacjentów z bardzo dużym stopniem nasilenia drżenia, a także z zaburzeniem wzroku (metoda nie wymaga współpracy pacjenta). Opracowany algorytm pozwala na proste wykorzystanie metody do oceny nasilenia drżenia oraz na różnicowe rozpoznanie różnych typów schorzeń charakteryzujących się inną wartością częstotliwości drżenia. Niedogodnością tej metody jest duży rozmiar jednostki centralnej powodujący, że stanowisko to nie nadaje się do mobilnego wykorzystania.

2.3. Metoda z wykorzystaniem elektromiografii EMG

Metoda ta bazuje na badaniu czynności elektrycznej mięśni, w szczególności na ocenie synchroniczności skurczu dwóch grup mięśni antagonistycznych – zginaczy i prostowników nadgarstka.

Podstawowe badania osób ze schorzeniami neurodegeneracyjnymi z wykorzystaniem aparatury EMG obejmują zapis aktywności mięśni kończyny górnej wskutek występującego drżenia, bądź zapis aktywności mięśni w czasie wykonywania powtarzalnej czynności manualnej, która ma na celu ocenę dysfunkcji ruchowej. Większość prac skupia się na badaniu drżenia spoczynkowego bądź pozycyjnego dla dwóch kończyn jednocześnie. Standardowa aplikacja dostarczana wraz z urządzeniem EMG pozwala na ocenę podstawowych parametrów w dziedzinie czasu i częstotliwości, a także na podgląd sygnału w czasie zapisu (rys. 4).



Rys. 4. Wizualizacja sygnału EMG obrazującego drżenie pacjenta, źródło: [15]

Fig. 4 Visualization of EMG signal showing the patient's tremor

Podstawowa analiza w dziedzinie czasu obejmuje wyznaczenie następujących parametrów:

- średnia kwadratowa (ocena siły mięśniowej, szacowanie amplitudy),
- średnia krocząca (badanie średniej amplitudy zmieniającej się w czasie),

- całkowanie sygnału (ocena wydatku energetycznego, porównywanie kumulacyjnej aktywności mięśni),
- progowanie w celu oznaczenia zdarzeń EMG (porównanie synchronizacji mięśni dla dwóch kończyn).

Natomiast analiza sygnału EMG w dziedzinie częstotliwości obejmuje wyznaczenie parametrów:

- częstotliwość dominującej składowej,
- widmowa gęstość mocy (odwzorowanie częstotliwości na moc, porównywanie rozkładów),
- mediana częstotliwości (śledzenie zmienności widmowej, ocena zmęczenia).

Podstawowa ocena zapisu EMG daje zadawalające wyniki umożliwiające klasyfikację zarejestrowanego zbioru danych. W szczególności możliwość zbadania synchroniczności skurczu grup mięśni antagonistycznych – zginaczy i prostowników nadgarstka daje doskonale uzupełnienie klasycznego podejścia skupiającego się na analizie pojedynczych parametrów. Do wad metody należy zaliczyć proces podpięcia pacjenta do aparatury EMG, który może być przeprowadzony przez specjalistę.

2.4. Metoda z wykorzystaniem kamer cyfrowych

Metoda ta wzoruje się na klasycznej obserwacji drżenia kończyny górnej. Trójwymiarowa rejestracja ruchów dłoni wykonywana jest za pomocą cyfrowych kamer, które śledzą źródło światła (bądź pasywny marker odbijający źródło światła) umieszczone na dłoni pacjenta. Opracowaniem i wdrożeniem tej metody w kraju zajęła się interdyscyplinarna grupa badawcza Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz Katedry Automatyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Prace te zostały przedstawione m.in. w materiałach naukowych [9–12]. Badania przeprowadza się na stacjonarnym stanowisku pomiarowym zbudowanym z trzech stojaków z cyfrowymi kamerami, które przymocowane są do sztywnego podłoża. Rejestracja drżenia przeprowadzana jest w zdefiniowanej przestrzeni o strukturze sześcienu, w którym długość każdej krawędzi wynosi co najmniej 0,3 m. Przestrzeń ta pozwala na akwizycję danych z dużym zapasem. Dla przyjętego zakresu akwizycji obrazu dobiera się odpowiednie obiektywy szerokokątne, ogniskową i minimalną odległość od siatki sześcienu, dla której nie zachodzi zniekształcenie obrazu. Do akwizycji wykorzystuje się kamery wyposażone w sensor o wysokiej rozdzielczości oraz programowalny układ FPGA z modułem dokonującym akwizycji obrazu oraz jego przetworzeniem na postać binarną i detekcją punktowego światła (np. sensor KAC-1310).

Wyniki przeprowadzonych badań z wykorzystaniem kamer cyfrowych przedstawiono w rozprawie doktorskiej [12].

Badanie to pozwala na przeprowadzenie niezakłóconej ruchowo rejestracji dowolnego typu drżenia bez konieczności przyczepiania aparatury do dłoni pacjenta. Procedura badania jest zatem bardzo prosta i ogranicza się wyłącznie do umieszczenia dłoni pacjenta w obszarze kamer cyfrowych. Do wad metody należy przede wszystkim zaliczyć wysoką wrażliwość elementów rejestrujących na zakłócające oświetlenie zewnętrzne oraz duże gabaryty całego stanowiska przekraczające 1 m³ oraz jego dużą wagę wy-

szącą 15 kg, która nie pozwala na częste przenoszenie aparatury.

3. Podsumowanie

Klasyczne metody testów sprawności motorycznej polegają głównie na wizualnej ocenie amplitudy drżenia oraz dysfunkcji ruchowej pacjenta, kierując go ewentualnie na dalsze badania specjalistyczne. Wyniki testów są interpretowane w sposób subiektywny, a co się z tym wiąże, ocenianie ich na podstawie opinii lekarza zależy od wiedzy i doświadczenia oraz stanu osoby wykonującej analizę i późniejsze zakwalifikowanie stopnia zaawansowania.

Cyfrowa analiza sygnału drżenia i dysfunkcji ruchowych istotnie poszerza możliwości rejestracji samych danych i ich analizy. Opisywane metody analizy ruchu pozwalają na obiektywne wspomaganie diagnostyki schorzeń neurodegeneracyjnych.

Bibliografia

1. Prusiński A.: *Podstawy neurologii klinicznej*, PZWL, Warszawa 1989.
2. Fahn S., Jankovic J.: *Principles and Practice of Movement Disorders*, Churchill Livingstone Elsevier, Philadelphia 2007.
3. Rudzińska M. et al.: *Quantitative tremor measurement with the computerized analysis of spiral drawing*, „Neurologia i Neurochirurgia Polska”, June 2007, no. 41, 510–516.
4. Graham B.B.: *Using an Accelerometer Sensor to Measure Human Hand Motion*, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts 2000.
5. Sprdlik O., Hurak Z., Hoskocova M., Ruzicka E.: *Tremor analysis by decomposition of acceleration into gravity and inertial acceleration using inertial measurement unit*, [w:] *Information Technology and Applications in Biomedicine*, Prague, Nov. 2009, 1–4.
6. Machowska-Majchrzak A., Pierzchała K., Pietraszek S.: *Analysis of selected parameters of tremor recorded by a biaxial accelerometer in patients with parkinsonian tremor, essential tremor and cerebellar tremor*, „Neurologia i Neurochirurgia Polska”, May 2007, no. 41, 241–250.
7. Engin M.: *A recording and analysis system for human tremor*, „Measurement”, Apr. 2007, no. 40, 288–293.
8. Rissanen S., Kankaanpää M., Tarvainen M., Nuutinen J., Tarkka I.: *Analysis of surface EMG signal morphology in Parkinson's disease*, „Physiological Measurement” vol. 28 no. 12, 2007.
9. Izworski A., Michalek M.: *Pomiar drgań patologicznych w przestrzeni trójwymiarowej z zastosowaniem kamer cyfrowych*, [w:] *Sieci i systemy informatyczne: teoria, projekty, wdrożenia, aplikacje, XII konferencja*, Łódź, Oct. 2004, 521–526.
10. Izworski A. et al.: *Acquisition and interpretation of upper limbs tremor signal in Parkinsonian disease*, [in:] *WSEAS conferences*, Rio de Janeiro, Brazil, 2005, 84–85.
11. Izworski A., Tadeusiewicz R., Rudzińska M.: *Analysis and classification of tremor in Parkinsonian disease in two and three dimensional space*, [w:] *Systemics*,

- Cybernetics and Informatics*, Orlando, USA, 2004, 203–207.
12. Michałek M.: *Analiza w przestrzeni trójwymiarowej drgań kończyn górnych występujących przy chorobie Parkinsona*, rozprawa doktorska pod kierownictwem naukowym prof. Ryszarda Tadeusiewicza, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2006.
 13. Banaszkiwicz K., Rudzińska M., Bukowczan S., Izworski A., Szczudlik A.: *Spiral drawing time as a measure of bradykinesia*, „Neurologia i Neurochirurgia Polska” no. 43, Jan. 2009, 16–21.
 14. Tadeusiewicz R.: *Neural network as a tool for medical signals filtering, diagnosis aid, therapy assistance and forecasting improving*, [w:] Dössel O., Schlegel W.C. (red.): IFMBE Proceedings, vol. IV: *Image processing, biosignals processing, modelling and simulation, biomechanics*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2009, 1532–1534.
 15. Tarkka I.: *Analysis of surface EMG signal morphology in Parkinson's disease*, „Physiological Measurement” vol. 28, no. 12, 2007. ■

Methods of measurement and analysis of tremor signal and movement dysfunction in neurodegenerative diseases

Abstract: Neurodegenerative diseases are group of inborn or acquired progressive diseases of nervous system in which pathologic effect of nervous cells' degradation can be observed. Forming neurological degradation symptoms can be assigned to two elemental groups: connected to memory disorder and connected to motor functions disorder. Motor functions disorders can be recorded and from data stream series of parameters can be separated often using advanced numerical computations based on which doctor can set correct diagnosis. In this research series of methods of motor functions disorders' analysis which lead to diagnosis support system's creation are introduced.

Keywords: neurological diseases, PD, tremor analysis, digitizer tablet, accelerometer sensor, EMG

mgr inż. Tomasz Orzechowski

Ukończył kierunek Informatyka w Akademii Górniczo-Hutniczej oraz Zarządzanie Projektami w Wyższej Szkole Europejskiej w Krakowie. Obecnie asystent w laboratorium biocybernetyki Katedry Automatyki. Brał udział w projektach interdyscyplinarnych zajmujących się analizą sygnału drżenia w chorobie Parkinsona, analizą słuchowych potencjałów wywołanych z pnia mózgu, badaniem patologicznej mowy w chorobach neurodegeneracyjnych oraz analizą aktywności struktur mózgu z wykorzystaniem fMRI.

e-mail: fando@agh.edu.pl



dr inż. Ireneusz Wochlik

Biocybernetyk, specjalista w zakresie sztucznej inteligencji oraz systemów przesiewowych, absolwent Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej, adiunkt w Laboratorium Biocybernetyki Katedry Automatyki Wydziału Elektrotechniki Automatyki Informatyki i Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej. Autor 50 publikacji z zakresu przetwarzania sygnałów biomedycznych, wykorzystania sieci neuronowych w diagnostyce medycznej oraz telemedycyny i systemów informatycznych wspierających diagnostykę medyczną.

e-mail: Ireneusz.wochlik@agh.edu.pl

