

Ocena postępów rehabilitacji pacjentów ze zwyrodnieniami stawu biodrowego, kręgosłupa oraz po udarze mózgu z wykorzystaniem indeksów chodu

Streszczenie. Autorzy prezentują wyniki badań nad analizą nieprawidłowości w sposobie poruszania się na podstawie danych chodu uzyskanych za pomocą techniki *motion capture*. Badaniu poddano 3 grupy pacjentów: ze zwyrodnieniami stawu biodrowego, kręgosłupa i po udarze mózgu oraz grupę osób zdrowych. Sekwencje chodu nagrywano w dwóch sesjach – przed i po trzytygodniowym okresie rehabilitacji. Jako wskaźników nieprawidłowości użyto indeksów chodu.

Abstract. The authors present results of the research aiming at analysis of gait abnormalities based on the gait motion capture data. Three groups of patients suffering from the following affections: osteoarthritis of the hip, osteoarthritis of the spine and stroke underwent the recording process twice – before and after three-week rehabilitation. Healthy volunteers were also recorded. Gait indices were used as indicators of abnormality. (Evaluation of rehabilitation progress of patients with osteoarthritis of the hip, osteoarthritis of the spine or after stroke using gait indices).

Słowa kluczowe: technika *motion capture*, indeksy chodu, analiza ruchu.

Keywords: *motion capture* technique, gait indices, motion analysis.

Wprowadzenie

Choroba zwyrodnieniowa stawów biodrowych to jedno z najczęściej spotykanych schorzeń układu ruchu człowieka, stąd też stanowi ona istotne wyzwanie diagnostyczne. Zwyrodnienie takie zawsze objawia się zaburzeniami chodu, wywołanymi przez ból i нефizjologiczne ustawienie miednicy, co skutkuje przesunięciem środka ciężkości i w efekcie uwidacznia się przez utykanie i chód kaczkowy [1]. Z kolei w schorzeniach kręgosłupa chód jest ostrożny, z usztywnieniem tułowia i jego pochyleniem ku przodowi. Zaś w przypadku udaru mózgu następuje uszkodzenie ośrodkowego układu nerwowego (OUN), co skutkuje utratą sprawności ruchowej i poznawczej [2].

Chód jest wynikiem współdziałania wielu elementów ruchowych, na które składają się: wytrzymałość układu kostnego, sprawność układu nerwowego, mięśniowego, w tym praca i odpowiednia siła mięśni tułowia, miednicy, pośladków i kończyn dolnych. Sama czynność generowana jest przez OUN w mózgu, a informacja o ruchu przekazywana jest do mięśni przez układ piramidowy drogą korowo-rdzeniową [3]. Analiza chodu stanowi zatem konieczny, ale i złożony element badania i oceny funkcjonalnej chorych we wszystkich wymienionych schorzeniach. Rejestracje sekwencji chodu (przejsi) pacjentów dokonane z użyciem techniki przechwytywania ruchu (ang. *motion capture*; *mocap*) mogą służyć jako interesujący i ważny materiał do analiz dla celów diagnostycznych, co potwierdzają rezultaty osiągnięte w podobnych badaniach pacjentów z chorobą Parkinsona [4]. Zarejestrowane dane kinematyczne wykorzystano tam do wyznaczenia wartości wybranych *indeksów chodu* – wskaźników nieprawidłowości chodu. Potwierdzenie przydatności tych działań przez specjalistów zachęciło autorów do podjęcia analogicznej próby dla pacjentów ze zwyrodnieniami stawu biodrowego (ang. *osteoarthritis of the hip*), kręgosłupa (ang. *osteoarthritis of the spine*) i po udarze mózgu (ang. *stroke*).

Charakterystyka eksperymentów

Rejestracji ruchu pacjentów w trakcie chodu (wraz z danymi elektromiograficznymi; EMG) dokonano w laboratorium HML (*Human Motion Laboratory*) [5] Wydziału

Zamiejscowego Informatyki Polsko-Japońskiej Wyższej Szkoły Technik Komputerowych (WZI PJWSTK) w Bytomiu, wykorzystując system akwizycji i analizy kinematyki ruchu firmy Vicon, wyposażony w 10 kamer NIR (pracujących w bliskiej podczerwieni) działających z prędkością akwizycji od 100 do 2000 ramek/s przy rozdzielczości matrycy 4 Mpx i ośmiobitowej głębi szarości. System ten stosowany jest również w badaniach nad identyfikacją osób na podstawie ich sposobu poruszania się [6].



Rys. 1. Pacjent podczas badania w laboratorium HML

Pacjenci poddani badaniu (rys. 1) to 28 osób leczących się w Klinice Chorób Wewnętrznych Angiologii i Medycyny Fizykalnej w Bytomiu, weryfikowanych według kryteriów Polskiego Towarzystwa Reumatologicznego pod kątem rozpoznawania zmian zwyrodnieniowych narządu ruchu i według kryteriów Polskiego Towarzystwa Neurologicznego dotyczących diagnostyki i wstępnego postępowania w przypadku ostrego udaru mózgu i udaru niedokrwiennego. Pacjenci z rozpoznanymi zmianami zwyrodnieniowymi stawu biodrowego, stawów kręgosłupa i stanem po udarze mózgu realizowali w Dziale Rehabilitacji trzytygodniowy blok fizjoterapeutyczny, zaplanowany i opracowany oddzielnie dla każdej grupy badawczej według rozpoznai klinicznych. Pacjenci przed i po zakończeniu bloku fizjoterapeutycznego poddani zostali rejestracji chodu z użyciem systemu przechwytywania ruchu. Zebrane dane pozwoliły na wyznaczenie: długości kroku, odległości

przebytych przez nadgarstki, prędkości kątowych stawu biodrowego, kolanowego i skokowego, ruchomości stawów ramiennych. Liczba nagranych przejść zależała od wytrzymałości i kondycji poszczególnych pacjentów. Zarejestrowano również chód 19 zdrowych ochotników, przy czym należy zaznaczyć, że grupa ta jedynie częściowo odpowiada kryteriom grupy kontrolnej – zaprezentowano ją, by pokazać, że asymetria jest też w pewnym stopniu obecna w chodzie osób zdrowych. Opis grup badawczych zawierają tabele 1 i 2.

Tabela 1. Charakterystyka grup pacjentów ze zmianami zwyrodnieniowymi stawu biodrowego lub kręgosłupa

	Zmiany zwyrodnieniowe stawu biodrowego		Zmiany zwyrodnieniowe kręgosłupa	
	Średnia	Odch. std.	Średnia	Odch. std.
Wiek [lata]	64,91	5,84	61,68	5,72
Wzrost [cm]	1,63	0,08	1,65	0,1
Waga [kg]	77,62	12,68	74,68	13,5
BMI [kg/m ²]	29,08	3,86	27,22	3,77
Czas trwania dolegliwości [lata]	0,95	1,05	12,63	8,96
Zabiegi fizykalne	pole magnetyczne laser elektroterapia TENS kinezyterapia sollux		metoda Mc Kenzie metoda Neurac elektroterapia laser balneoterapia	

Tabela 2. Charakterystyka grupy pacjentów po udarze mózgu oraz grupy zdrowych

	Udar mózgu		Zdrowi	
	Średnia	Odch. std.	Średnia	Odch. std.
Wiek [lata]	63,05	6,01	26,26	12,51
Wzrost [cm]	1,73	0,03	1,73	0,1
Waga [kg]	84,75	0,96	70,37	14,45
BMI [kg/m ²]	28,17	1,13	23,23	3,38
Czas trwania dolegliwości [lata]	0,2	0,14		
Zabiegi fizykalne	pole magnetyczne laser elektrostymulacja kinezyterapia			

Wyznaczenie indeksów chodu

Celem badania było porównanie w poszczególnych grupach badawczych wartości wskaźników nieprawidłowości chodu, określanych mianem indeksów chodu, przed i po fizjoterapii. Przetwarzając zarejestrowany zapis przejść pacjentów i osób zdrowych w środowisku obliczeniowym MATLAB na podstawie wymienionych wcześniej wielkości fizycznych wyznaczono następujące indeksy: 1) symetrii długości kroku, 2) asymetrii wymachu ramion, 3) symetrii wielkości wymachu ramion oraz 4) dekompozycji, związanej ze wzajemnymi relacjami ruchu w wybranych parach stawów.

Indeks symetrii długości kroku (*Step Length Symmetry; SLS*) zostanie policzony na podstawie zależności

$$(1) \quad SLS = \frac{SLs}{SLl} \cdot 100\% ,$$

gdzie *SLs* oraz *SLl* oznaczają, odpowiednio, mniejszą oraz większą spośród długości kroku wyznaczonych oddzielnie dla obu stron ciała. Długość kroku jest odległością między punktami $p(p_x, p_y, p_z)$ oraz $q(q_x, q_y, q_z)$ oznaczającymi pozycję markera umieszczonego na stopie, odpowiednio, w chwili jej całkowitego oderwania się od podłoża oraz w chwili jej ponownego zetknięcia się z podłożem. Długość kroku jest zatem wyrażona wzorem

$$(2) \quad SL = \sqrt{(q_x - p_x)^2 + (q_y - p_y)^2 + (q_z - p_z)^2} .$$

Na rysunku 2 pokazano interpretację pojęcia kroku. Chwile całkowitego oderwania się danej stopy od podłoża wyznaczone są przez linie opisane jako „rFO” dla stopy prawej (od „right Foot Off”) i „lFO” dla lewej, natomiast chwile ponownego zetknięcia się stóp z podłożem wskazują linie „rFS” (od „right Foot Strike”) i „lFS”. Dwa następujące po sobie kroki stanowią cykl chodu (ang. *stride*).

Indeks asymetrii wymachu ramion (*Arm Swing Asymmetry; ASA*), który ze względu na sposób jego wyznaczania można również określić mianem indeksu asymetrii drogi nadgarstków (*Wrist Distance Asymmetry; WDA*), jest opisany przez formułę, którą zaproponowano w pracy [7]:

$$(3) \quad ASA_WDA = \frac{45 - \arctan\left(\frac{WDS}{WDL}\right)}{90} \cdot 100\% .$$

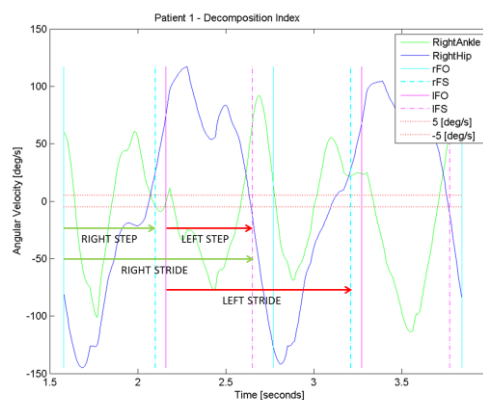
WDS oraz *WDL* oznaczają, odpowiednio, mniejszą oraz większą spośród odległości przebytych przez oba nadgarstki badanej osoby. Odległość przebyta przez dany nadgarstek jest długością trajektorii wyznaczonej przez kolejne zarejestrowane jego pozycje. W przypadku jednakowych odległości dla obu nadgarstków indeks przyjmuje wartość 0 (brak asymetrii równoważny pełnej symetrii). Należy zauważyć, że maksymalną wartością, jaką może osiągnąć indeks *ASA_WDA*, jest 50.

Indeks symetrii wielkości wymachu ramion (*Arm Swing Size Symmetry; ASSS*) został zdefiniowany następująco:

$$(4) \quad ASSS = \frac{FEADs}{FEADl} \cdot 100\% .$$

FEADs oraz *FEADl* oznaczają, odpowiednio, mniejszą oraz większą spośród wartości maksymalnych różnic między kątem wychylenia danego ramienia w przód i kątem jego wychylenia w tył, wyznaczonych dla obu ramion w ramach pojedynczego cyklu chodu.

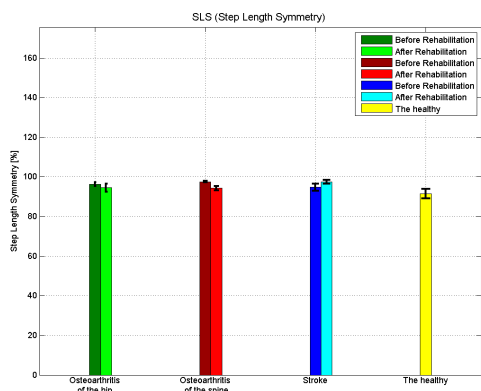
Indeks dekompozycji (*Decomposition Index; DI*) odnosi się do pary stawów i jest definiowany jako procentowy udział czasu trwania tej specyficznej fazy kroku, kiedy tylko jeden z pary rozważanych stawów znajduje się w ruchu, tzn. jego prędkość kątowa przekracza 5 [°/s], w czasie trwania całego cyklu chodu. Trzy pary stawów: biodrowo-kolanowy, biodrowo-skokowy oraz kolanowy-skokowy są wskazywane jako szczególne istotne dla stwierdzenia nieprawidłowości chodu. Przebiegi brane pod uwagę przy wyznaczaniu indeksu *DI* pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Przebiegi brane pod uwagę przy wyznaczaniu indeksu *DI* dla pary stawów biodrowo-skokowy

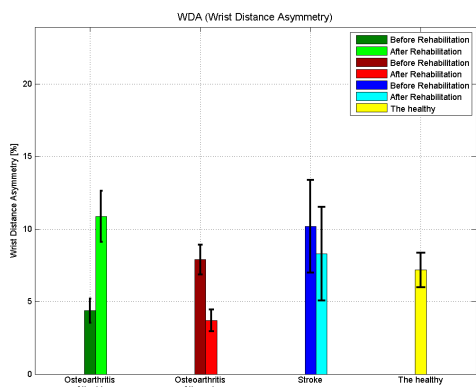
Dla każdego przejścia pojedynczego pacjenta uśredniono wartości wymienionych indeksów, które zostały

obliczone dla poszczególnych cykli chodu. Następnie uśredniono wartości indeksów dla poszczególnych pacjentów, oddzielając jednakże od siebie przejścia zarejestrowane przed i po zabiegach rehabilitacyjnych. Końcowe wartości indeksów zostały porównane z analogicznymi rezultatami uzyskanymi na podstawie nagrań osób, u których nie stwierdzono żadnego z rozważanych schorzeń.



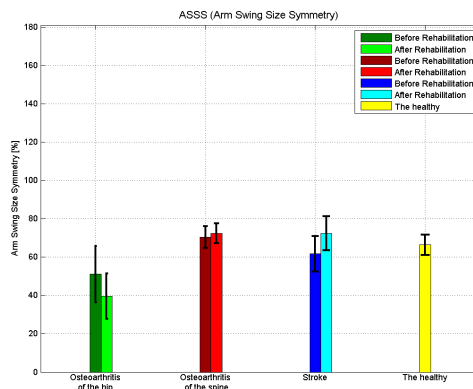
Rys. 3. Zmiany wartości indeksu SLS

Analizując przedstawiony na rysunku 3 indeks symetrii długości kroku zauważamy, że dla pacjentów ze zmianami zwyrodnieniowymi stawu biodrowego i stawów kręgosłupa jego wartość po okresie rehabilitacji zbliża się do indeksu dla grupy osób zdrowych. Jedynie w grupie w stanach po udarze mózgu następuje nieznaczny wzrost wartości indeksu SLS po rehabilitacji, przez co odbiega on od grupy zdrowej.



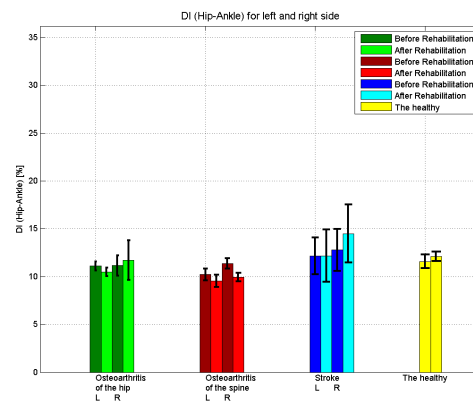
Rys. 4. Zmiany wartości indeksu ASA_WDA

Praca kończyn górnych w poszczególnych fazach chodu jest zmienna. Zależy od symetryczności długości kroku i przenoszenia środka ciężkości. Zaburzenia przenoszenia środka ciężkości są rekompensowane poprzez wychylenie ramion, co umożliwia zachowanie traconej równowagi. Na rysunku 4 obserwujemy, jak zmienia się asymetria wymachu ramion na skutek ćwiczeń rehabilitacyjnych, które mają wpływ na przeniesienie środka ciężkości. Indeks asymetrii wymachu ramion ASA_WDA jest bardzo dynamiczny. W grupie zmian zwyrodnieniowych stawów biodrowych po okresie rehabilitacji znacznie rośnie, natomiast w analogicznym przypadku dla grupy zmian zwyrodnieniowych kręgosłupa maleje. W grupie stanów po udarach mózgu również maleje przyjmując wartość bliską indeksowi grupy zdrowej.



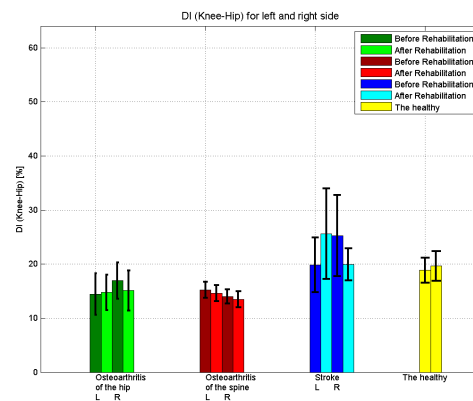
Rys. 5. Zmiany wartości indeksu ASSS

Indeks symetrii wielkości wymachu ramion (rys. 5) wyraża spadek symetrii wymachu ramion w grupie zmian zwyrodnieniowych biodra tak w stosunku do obserwacji przed rehabilitacją, jak i w porównaniu z grupą zdrowych. W grupie zmian zwyrodnieniowych w stawach kręgosłupa i w stanach po udarze mózgu symetryczność była duża, a po rehabilitacji jeszcze wzrosła. Porównując indeksy ASSS oraz ASA_WDA zauważamy korelację między ich wartościami.



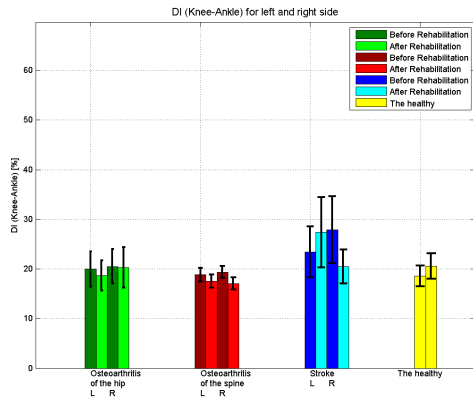
Rys. 6. Zmiany wartości indeksu DI dla pary stawów biodrowo-skokowy

Indeks dekompozycji biodra i stawu skokowego dla grupy zdrowej jest prawie taki sam dla obu stron ciała (rys. 6). W grupach badawczych ulega on zmianom pod wpływem czynników rehabilitacyjnych. Największe różnice dla strony prawej i lewej dają się zauważyć u pacjentów po incydencie mózgowym, co potwierdza się w obrazie klinicznym tej jednostki chorobowej, gdzie dochodzi do największych dysproporcji funkcjonalnych i chodu strony niedowładnej i zdrowej.



Rys. 7. Zmiany wartości indeksu DI dla pary biodro-staw kolanowy

Indeks dekompozycji pary stawów biodrowego i kolanowego prawej i lewej strony ciała dla grupy pacjentów zdrowych jest zróżnicowany w niewielkim stopniu (rys. 7). W jednostkach chorobowych obciążonych chorobowo jednostronnie, a takimi są zmiany zwyrodnieniowe stawu biodrowego oraz udar mózgu, po usprawnieniu rehabilitacyjnym zachowuje się odmiennie dla obu stron, natomiast w zmianach zwyrodnieniowych kręgosłupa maleje.



Rys. 8. Zmiany wartości indeksu DI dla pary stawów kolanowo-skokowy

W grupach zmian zwyrodnieniowych stawu biodrowego i stawów kręgosłupa indeksy dekompozycji pary stawów kolanowego i skokowego prawej i lewej strony nie ulegają znaczącym zmianom po usprawnieniu rehabilitacyjnym (rys. 8), podobnie jak w przypadku pary stawów kolanowo-biodrowy. W grupie pacjentów po incydencie mózgowym zmiany dla obu stron są mocno zróżnicowane.

Ocena funkcjonalna pacjenta z chorobą zwyrodnieniową stawów biodrowych czy kręgosłupa lub po incydencie mózgowym pod kątem określenia celów rehabilitacji i oceny postępu pacjenta jest konieczną i integralną częścią prowadzonej diagnostyki i leczenia. Jakościowa ocena chodu u chorych na podstawie materiału DVD z uwagi na swoją powtarzalność obserwacji staje się coraz powszechniejszą metodą oceny chodu [8], [9]. Mimo swoich wielu zalet nadal jednak pozostaje metodą subiektywną. Wykorzystanie techniki przechwytywania ruchu z możliwością wyznaczenia indeksów chodu czyni ją obiektywną metodą oceniania pacjenta w ruchu. Dzięki możliwości otrzymania wyniku pomiaru w wartościach liczbowych i obrazowaniu graficznemu, ocena funkcjonalna pacjenta staje się prosta i wiarygodna. Możliwość obiektywnej oceny narządu ruchu czyni ją przydatną w wielu schorzeniach mających wpływ na sprawność ruchową człowieka.

Podsumowanie

Standardowe badanie funkcjonalne pacjenta ze zmianami zwyrodnieniowymi stawów biodrowych lub stawów kręgosłupa, czy po incydencie mózgowym każdorazowo wymaga oceny chodu. Do zaburzeń lokomocji najczęściej dochodzi pod postacią zaburzeń symetrii

długości kroku i symetryczności zgięcia i wyprostów stawów kończyn górnych i dolnych.

Rezultaty eksperymentów potwierdziły użyteczność danych *mocap* dla oceny funkcjonalnej pacjenta, a w szczególności oceny nieprawidłowości chodu dla wybranych schorzeń za pomocą indeksów chodu.

PODZIĘKOWANIE

Pracę zrealizowano w ramach projektu badawczego o numerze UMO-2011/01/B/ST6/06988, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki. Praca jest również częściowo finansowana przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Społecznego (UDAPOKL.04.01.01-00-106/09-00, M. Stawarz).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Dega W.: *Ortopedia i rehabilitacja*. PZWL, Warszawa (2003)
- [2] Drużbicki M., Przysada G., Kołodziej K., Rykała J., Podgórska J.: Ocena chodu chorych z niedowładem połowicznym po udarze mózgu z wykorzystaniem Wisconsin Gait Scale – doniesienie wstępne. *Przegląd Medyczny Uniwersytetu Rzeszowskiego*, Rzeszów (2010) 152-159
- [3] Prusiński A.: *Neurologia praktyczna*. PZWL, Warszawa (2007)
- [4] Stawarz M., Kwiek S., Polański A., Janik Ł., Boczarska-Jedynak M., Przybyszewski A., Wojciechowski K.: Algorithms for Computing Indices of Neurological Gait Abnormalities in Patients after DBS Surgery for Parkinson Disease Based on Motion Capture Data. *Machine Graphics & Vision*, Vol. 20, (2011) 299-317
- [5] <http://hml.pjwstk.edu.pl>: strona laboratorium HML WZI PJWSTK w Bytomiu
- [6] Josiński H., Świtoński A., Michalczyk A., Wojciechowski K.: Motion capture as Data Source for Gait-based Human Identification. *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, r. 88, nr 12b/2012, (2012) 201-204
- [7] Zifchock R.A., Davis I., Higginson J., Royer T.: The symmetry angle: a novel, robust method of quantifying asymmetry. *Gait & Posture*, 27(4), (2008) 622-627
- [8] Domośławska D., Demczuk-Włodarczyk E.: Ocena wybranych cech budowy somatycznej i narządu ruchu sportowców z dolegliwościami bólowymi kręgosłupa. *Medycyna Sportowa*, 28(4), (2012) 233-244
- [9] Retlikowska-Lipińska M., Kostka J., Smolarek M., Czarna J., Kostka T.: Stopień sprawności funkcjonalnej a aktywność ruchowa u osób starszych. *Medycyna Sportowa*, 28(2), (2012) 93-100

Autorzy: dr inż. Henryk Josiński, Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik Komputerowych, Wydział Zamiejscowy Informatyki, Al. Legionów 2, 41-902 Bytom, E-mail: hjosinski@pjwstk.edu.pl; dr inż. Adam Świtoński, Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik Komputerowych, Wydział Zamiejscowy Informatyki, Al. Legionów 2, 41-902 Bytom, E-mail: aswitonski@pjwstk.edu.pl; mgr inż. Magdalena Stawarz, Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice, E-mail: magdalena.stawarz@polsl.pl; dr n. med. Romualda Mucha, Katedra i Klinika Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizykalnej, Śląski Uniwersytet Medyczny, ul. Batorego 15, 41-902 Bytom, E-mail: romam28@wp.pl; prof. dr hab. inż. Konrad Wojciechowski, Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik Komputerowych, Wydział Zamiejscowy Informatyki, Al. Legionów 2, 41-902 Bytom, E-mail: kwojciechowski@pjwstk.edu.pl.