

ZNACZENIE POSTUROMETRII I STABILOGRAFII W REHABILITACJI I ZAPOBIEGANIU UPADKOM U OSÓB PO UDARZE MÓZGU

Andrzej Dyszkiewicz^{1,3}, Józef Opara²

W opracowaniu został przedstawiony fizjologiczny i kliniczny zarys zagadnień dotyczących utrzymywania równowagi w postawie stojącej oraz upadków osób po udarze mózgu. Zwrócono uwagę na rolę oceny składników symetrii ruchów złożonych oraz ważny z punktu widzenia wiarygodności- problem wielotorowej i jednoczesnej rejestracji danych. Zebrano ciekawsze metody pomiaru bezpośrednich wyznaczników ruchów ciała, oraz parametrów pośrednich, będących konsekwencjami ruchu. W celu uzyskania większej powtarzalności w rejestracji i unikania subiektywnej oceny wyników zaproponowany został algorytm obróbki obrazów diagnostycznych oraz wyznaczników ruchu automatyzujący uciążliwy proces wykonywania pomiarów i wykonywania obliczeń przez lekarza.

Proces obróbki konturów obrazów uzyskanych metodą statyczną jak i dynamiczną może przebiegać w trybie automatycznym lub interaktywnym, gdzie lekarz inicjuje procedurę, zaznaczając kursorem kluczowe punkty struktur biologicznych. System wzbogacony został o możliwość współpracy z modułem analizy biokinematycznej, w tym z analizatorem toru oddechowego, stabilometrem tensometrycznym i akcelerometrycznym, analizatorem chodu, analizatorem symetrii czucia

¹ Uniwersytet Śląski Instytut Informatyki i Nauki o Materiałach, Zakład Komputerowych Systemów Biomedycznych w Sosnowcu

² Katedra Fizjoterapii UN i NR Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach

³ Laboratorium Biotechnologii w Cieszynie

skórnego oraz modulem oceny symetrii metabolicznej, oceniającym temperaturę i przepływ krwi w mikrokrażeniu kończyn.

Słowa kluczowe: *udar mózgu, posturometria, stabilometria, upadki,*

Wstęp

Problematyka upadków po udarze mózgu

W miarę postępów leczenia coraz więcej chorych przeżywa udar mózgu, lecz często stają się osobami niepełnosprawnymi. Głównym objawem po udarze jest niedowład połowiczny. Objawia się to głównie zaburzeniem funkcji manualnych i trudnościami z chodzeniem. U części chorych występują zaburzenia utrzymania postawy ciała i zaburzenia równowagi. Chorzy ci wykazują skłonności do upadków, które często kończą się złamaniami, zmieniającymi w sposób zasadniczy dalsze rokowanie.

W wyniku udaru w mózgu dochodzi do zniszczenia części struktury neuronowej oraz zaburzenia funkcji ocalałych tkanek bezpośrednio sąsiadujących z ogniskiem, co prowadzi do zachwiania, bądź utraty kontroli stabilności postawy ciała, zaburzeń poznawczych, zaburzeń widzenia, nie trzymania moczu i stolca. Prawidłowa postawa jest niezbędna dla wszelkich czynności czuciowych i ruchowych. Charakterystyczną cechą sylwetki ludzkiej jest pionowe ustawienie osi ciała względem płaszczyzny podparcia. Taka orientacja ciała w polu grawitacyjnym powoduje, że człowiek ustawicznie narażony jest na utratę równowagi. Jedynie dzięki procesom związanym z aktywną kontrolą równowagi postawy kompensowane są skutki niestabilności. Oznacza to, że kontrola ta zapewnia optymalny margines stabilności, pozwalający skutecznie realizować wszelką aktywność ruchową z lokomocją włącznie. Sterowanie ruchem i postawą odbywa się poprzez ten sam aparat wykonawczy. Sterowanie postawą sprowadza się do nadania ciału określonej sylwetki, natomiast kontrola stabilności postawy

dotyczy zagadnień dynamicznych związanych z utrzymaniem lub przywróceniem postawy ciała w przypadku utraty równowagi.

Zakłócenie stabilności postawy może być wywołane zarówno własną aktywnością ruchową organizmu, jak i wynikać z interakcji z otoczeniem. Zgodnie z najbardziej ogólną definicją stabilności, równowagę postawy możemy zdefiniować jako zdolność organizmu do odzyskiwania wyznaczonej pozycji w przestrzeni po ustaniu działania bodźca destabilizującego. Traktując ciało jako obiekt czysto geometryczny można stwierdzić, że postawa pionowa jest stabilna, tak długo, jak rzut środka ciężkości ciała pozostaje wewnątrz pola podstawy. W tym kontekście, stabilność postawy zależałaby przede wszystkim od cech fizycznych osobnika a w szczególności od jego masy ciała, wysokości oraz od rozmiarów pola podstawy wyznaczonego wielkością i rozstawem stóp. Należy wspomnieć iż aktywna rola układu nerwowego w kontroli stabilności wprowadza dodatkowe czynniki decydujące o efektywności utrzymania postawy. Stabilność postawy zależy więc od szybkości z jaką układ nerwowy potrafi wykryć i skorygować zakłócenie stabilności oraz wykonać program ruchowy przeciwdziałający utracie równowagi. Cechy te zależą przede wszystkim od szybkości przetwarzania informacji w układzie nerwowym oraz sprawności aparatu ruchowego. Wszystkie zmiany patologiczne lub funkcjonalne, upośledzające działanie układu sterującego lub wykonawczego, znajdują swoje odbicie w zmianach stabilności postawy. Ma to miejsce także po udarze mózgu.

Obszar stabilności postawy stojącej można, ze względu na kontrolę równowagi, podzielić na kilka obszarów: margines stabilności (MS – w jego centrum znajduje się rzut środka ciężkości, nawet stojąc nieruchomo ciało, poza naszą świadomą kontrolą, wykonuje drobne ruchy oscylacyjne, które możemy rejestrować za pomocą posturografu – zjawisko to nosi nazwę kołysania podstawy KP), margines bezpieczeństwa (MB – znaczne zakłócenie równowagi i związane z tym przemieszczenie środka ciężkości poza margines stabilności, wymaga

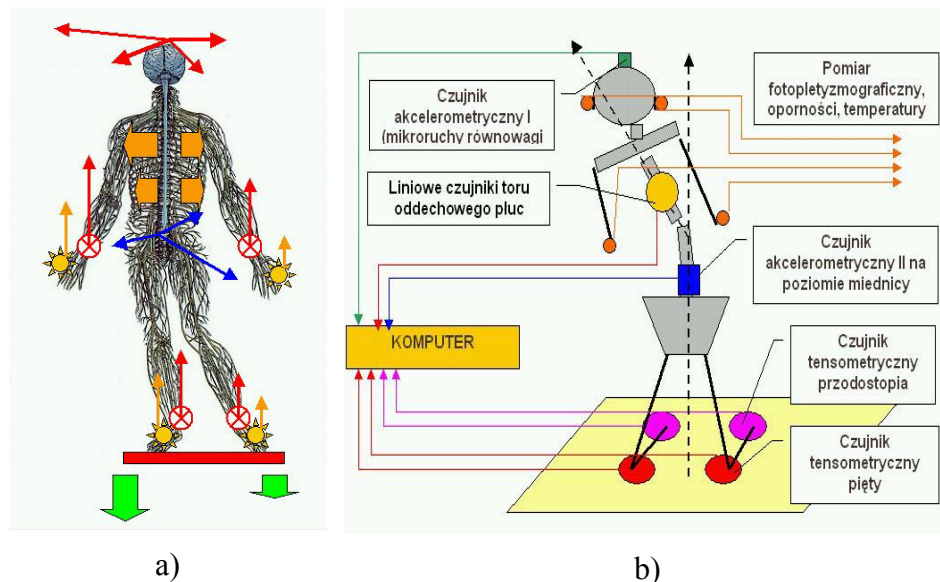
przerwania realizowanego programu ruchowego i wykonania odpowiedniego programu korekcyjnego). Jeśli w wyniku zakłócenia środek ciężkości przekroczy margines bezpieczeństwa, to odzyskanie równowagi staje się niemożliwe i osobnik przewraca się. Granica stabilności (GS) może wykraczać poza obszar objęty obwiednią stóp. Istnieją trzy strategie odzyskiwania równowagi postawy: dystalno-proksymalna, zwana strategią stawu skokowego, proksymalno-dystalna, zwana strategią stawu biodrowego i strategia utrzymania równowagi, zwana strategią kroku.

Symetria

Jednym z najłatwiej dostrzeganych zewnętrznie przejawów homeostazy organizmu jest dążność do symetrii funkcji w parzystych narządach ciała. Stąd zarówno kalifornijskie wyznaczniki chodu, jak i mikroruchy w trzech strategiach korekcji postawy stojącej powinna cechować symetria, świadcząca o sprawności układu kostno-stawowego, mięśniowego i nerwowego. Ocena symetrii dowolnych funkcji kinematycznych ciała przy pomocy ułamka dziesiętnego według kryteriów ($x = 1,0$) - pełna symetria, ($x < 1$) – asymetria w lewo, ($x > 1$) – asymetria w prawo, wydaje się być wykładnikiem bardzo wygodnym, wprowadza bowiem uniwersalny mianownik pomiędzy jednostkami miary kątowej, metrycznej, objętości, przyspieszenia i energii bez konieczności przeskalowania i odnoszenia do grup kontrolnych. Doświadczony terapeuta dostrzega jakościowe zmiany symetrii w zachowaniach ruchowych pacjenta, znacznie trudniej mu jednak oszacować parametry ilościowe tych obserwacji (rys. 1).

Ból, w szerokim zakresie modyfikuje zachowania ruchowe ciała. Będąc reakcją alarmową, w pierwszym rzędzie prowadzi do zmniejszenia zakresu ruchu, wywołującego ból. W dążeniu do wykonania zadania ruchowego, jednostronne zmniejszenie amplitudy ruchu powoduje z kolei kompensacyjny wzrost zakresu ruchu w innym, zazwyczaj symetrycznym obszarze ciała, zaburzając płynną, naprzemienną pracę

mięśni. Praktycznie każdy problem kliniczny związany bezpośrednio lub pośrednio z aktem chodu lub utrzymania postawy stojącej rzutuje na zakres symetrii obciążenia stopy, a w konsekwencji na możliwość modyfikacji jej sprężystej deformacji, a po dłuższym czasie nawet budowy anatomicznej. Asymetrii ulegają również wyznaczniki chodu, amplituda mikrokrażenia i temperatura kończyn, tor oddechowy oraz wrażliwość skórnych receptorów dotyku i bólu (rys. 1).

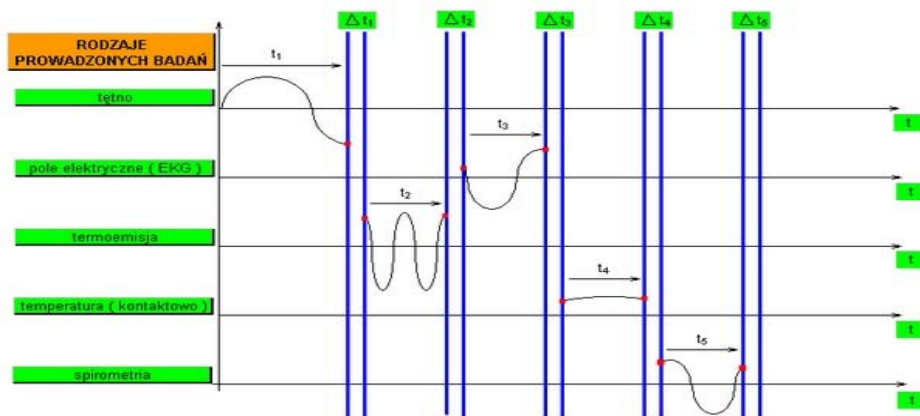


Rys. 1. a) Zmienność reakcji fizjologicznych, b) zespół czujników pomiarowych

Równoczesność pomiaru

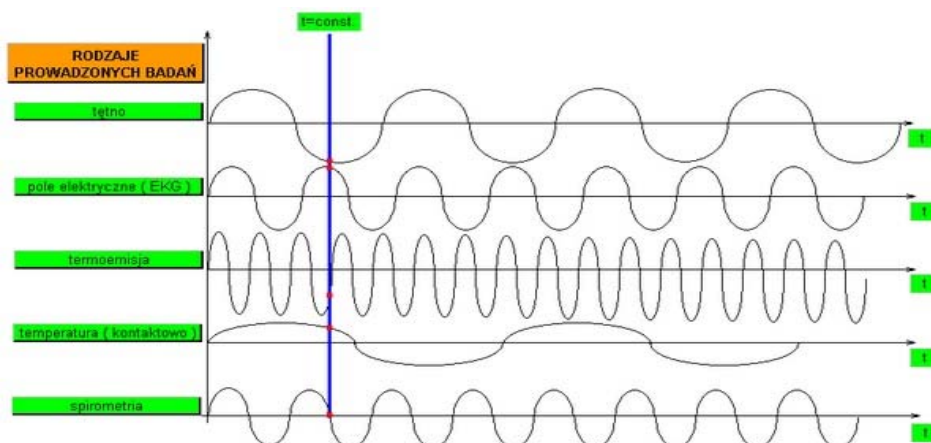
Umykająca bezpośredniej obserwacji wzrokowej subtelna gra mechanizmów fizjologicznych takich jak zmiana intensywności mikrokrażenia, temperatury kończyny, toru oddychania w trakcie ruchu, bądź nacisku ciała na podłoże stanowi mało eksponowane do tej pory tło analizowanych wektorowo funkcji ruchowych. Biorąc jednakże pod uwagę ich dużą zmienność powodowaną zmianą schematu ruchowego można je wykorzystać do nieswoistego monitoringu. Niestety, w chwili obecnej większość pomiarów biomedycznych wykonuje się w sposób

sekwencyjny, co prowadzi do zatarcia rzeczywistej synchronizacji pomiędzy wartościami szczytowymi i minimalnymi poszczególnych parametrów (rys. 2).



Rys. 2. Sekwencyjny pomiar parametrów tętna, oddechu, ekg, temperatury zatracają ich rzeczywiste związki fizjologiczne

W odróżnieniu od powyższego, realizowany wielokanałowo pomiar synchroniczny powoduje bardzo wyraźne określenie związków pomiędzy poszczególnymi parametrami.



Rys. 3. Równoległy pomiar synchroniczny umożliwia wyznaczenie konwergencji parametrów w dowolnym wycinku czasu rejestracji

CEL PRACY

Celem niniejszego opracowania było:

- (A) wyeksponowanie dwóch problemów klinicznych występujących w diagnostyce i monitorowaniu zarówno pierwotnych jak i wtórnych zaburzeń funkcji statyczno-dynamicznych ciała:
 - 1. sposobu i miary ilościowej określającej odstępstwa mierzonej cechy klinicznej pacjenta od przyjętego wzorca
 - 2. wzrostu klinicznej wartości sumy pomiarów wielodzielinowych wykonywanych jednocześnie (w odróżnieniu od badań w różnych okresach czasu)
- (B) przedstawienie autorskich wdrożeń systemów biodynamicznej oceny funkcji ciała możliwych do wykorzystania u pacjentów z zaburzeniami motoryki po udarach mózgu, realizujących powyższe kryteria kliniczne. System zbudowany jest z:
 - 1. modułu konturografii statycznej (podoskopowej i sylwetkowej)
 - 2. modułu konturografii dynamicznej (kwadroskopowy system rejestracji obrazu ruchu)
 - 3. modułu stabilimetrii tensometrycznej (4 czujniki tensometryczne zlokalizowane w czterech rogach płaszczyzny podstawy pacjenta)
 - 4. modułu stabilimetrii akcelerometrycznej (wieloosiowe czujniki akcelerometryczne na poziomie głowy, obręczy barkowej i biodrowej)
 - 5. modułu oceny toru oddechowego (4 czujniki liniowe do oceny symetrii ruchu oddechowego klatki piersiowej na poziomie podstawy płuc i szczytów)
 - 6. modułu oceny symetrii metabolicznej (4 czujniki pletyzmograficzne, 4 czujniki termiczne, umożliwiające ocenę symetrii temperatury i mikrokrażenia kończyn)
 - 7. modułu oceny sensorycznej skóry (18- kanałowy tester progu i symetrii wrażliwości skóry na impulsy elektryczne)

Zarządzanie systemem

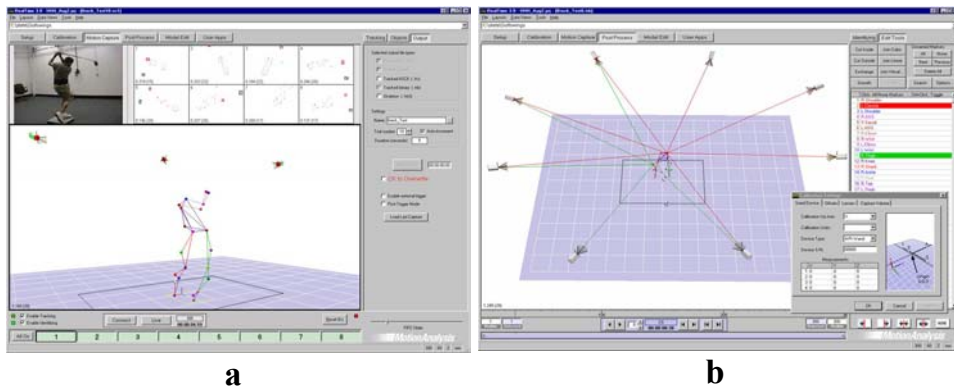
Zarządzanie systemem odbywa się przy pomocy wyjściowego okna dialogowego (rys. 4), z którego przechodzi się do okien dedykowanych poszczególnym funkcjom pomiarowym. Umożliwia to realizowanie pojedynczych zadań diagnostycznych (zazwyczaj statycznych), bądź pomiarów zespolonych, wielofunkcyjnych (dynamicznych).



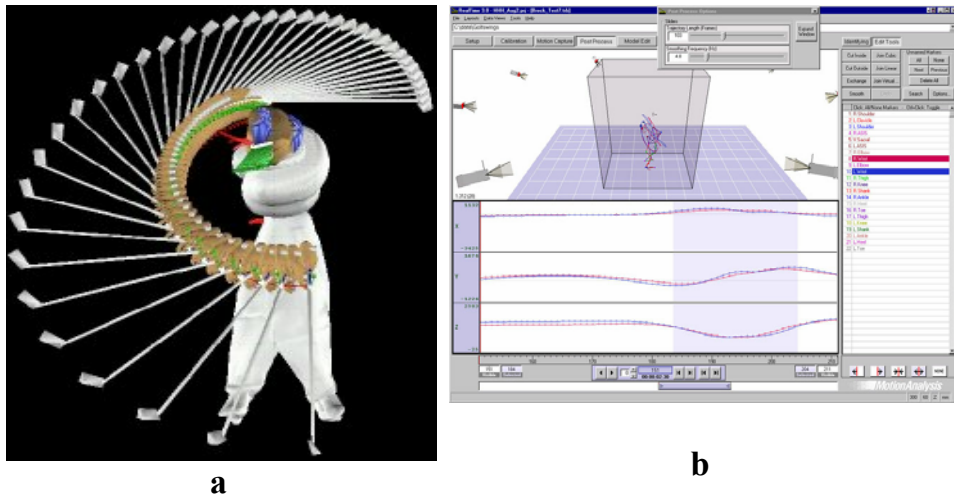
Rys. 4. Okno dialogowe programów platformy konturograficznej i biokinematycznej

Konturografia dynamiczna

Interesującym sposobem globalnej oceny ruchu z uwzględnieniem kąto-wektorowych relacji pomiędzy poszczególnymi częściami ciała, rejestrowanymi dodatkowo przez kamery z kilku kierunków jest konturografia dynamiczna. Metoda umożliwia przestrzenną, rejestrację pełnego obrazu, konturu zewnętrznego, bądź markerów punktowo-wektorowych (rys. 7). Przestrzenno-czasowe relacje parametrów umożliwiają ocenę pacjenta pod kątem diagnostycznym (wyjściowym), jak również mogą być zastosowane do monitorowania rezultatów leczenia, bądź generowania animacji ruchu w celach szkoleniowych.



Rys. 7. a) Rejestracja obrazu punktowo-wektorowa; b) w geometrii okręgu podzielonego na 8 sektorów



Rys. 8. a) Wykorzystanie czasowo-kątowych historii ruchu markerów do kreowania animacji; b) wykresów zmienności amplitudy w dziedzinie czasu

Stabilometria tensometryczna

Rozkład nacisku wywieranego przez przodostopia i pięty na płaszczyznę podparcia w trakcie realizowania strategii kontroli postawy stojącej powoduje, że obraz konturograficzny stóp zarejestrowany na szklanym podłożu należy traktować jako chwilowe uśrednienie. Chcąc dokonywać bardziej dyskretnych analiz związanych z mikroruchami

zachodzącymi w krótkich przedziałach czasowych zbudowano system złożony z czterech czujników tensometrycznych, zlokalizowanych w rogach płaszczyzny podparcia. Synchroniczna, czterokanałowa rejestracja umożliwia ocenę symetrii fluktuacji amplitudowo-czasowych składowych ciężaru ciała (rys. 9). System współpracuje z czujnikami przyspieszenia, które mogą być zlokalizowane na głowie, obręczy barkowej i biodrowej, tworząc dopełnienie oceny ruchu (rys. 10).



Rys. 9. Stabilometria tensometryczna



Rys. 10. Stabilometria akcelerometryczna (graficzne zapis ruchu wokół środka równowagi w płaszczyźnie głowy, obręczy barkowej i biodrowej, z wydzieleniem głównych wektorów przyspieszeń)

Stabilometria akcelerometryczna

Jest systemem, w którym dzięki fiksacji czujników akcelerometrycznych w obrębie głowy, obręczy barkowej i biodrowej

umożliwia pomiar zakresu oscylacji czynnościowej, z możliwością oceny czasowo-kątowo-wektorowej symetrii na kolejnych płaszczyznach.

Podsumowanie

Przedstawione oprogramowanie z systemem urządzeń badawczych jest próbą zwrócenia uwagi szerokiego grona lekarzy praktyków i fizjoterapeutów zajmujących się na co dzień metrologią narządu ruchu na nowe jakościowo lub inaczej zinterpretowane metody monitorowania i interpretacji parametrów równowagi i ruchu, których specyfika zogniskowana jest na wielokanałowej, stąd jednoczesnej ocenie danych, których różnorodne jednostki metryczne zastąpione zostały bezwymiarowym wskaźnikiem symetrii.

Wyciągając wnioski z klinicznego zastosowania powyższych metod zauważalny jest fakt, że oprócz poszerzenia skali kryteriów dla poszczególnych jednostek chorobowych uzyskuje się dokładny, porównywalny parametr ilościowy bardzo przydatny przy monitorowaniu leczenia. Nowoczesne metody diagnostyczno-terapeutyczne w medycynie nie muszą polegać na naśladowaniu urządzeń narzucanych przez wielkie koncerny przemysłowe lecz może być zainicjowane przez każdego z nas, mających wiele interesujących doświadczeń praktycznych. Badania laboratoryjno-kliniczne i udane wdrożenia produkcyjne mogą być dokonane w oparciu o rodzimy przemysł i ośrodki naukowe, metodami niskonakładowymi

Cały szereg badań testowych wykonano na terenie SNZOZ „VIS” w Cieszynie, w których zastosowano prototypowe urządzenia diagnostyczne, zbudowane przy współpracy Laboratorium Biotechnologii w Cieszynie oraz Zakładu Komputerowych Systemów Biomedycznych w Sosnowcu. Wyniki pomiarów potwierdziły w większości przypadków wyższy poziom dokładności nowych metod, w przypadkach niepowodzeń stały się inspiracją do przebudowy urządzeń lub oprogramowania.

1. Adams A, Loper D, Willd S. 1998. Intra and interexaminer reliability of plumb line posture analysis measurements using a 3D electrogoniometer. *Res For.*; 4: 60.
2. Berg K., Maki B., Williams J.I. et al. 1992. A comparison of clinical and laboratory measures of postural balance in an elderly population. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*; 73: 1073-83.
3. Błaszczyk J., Hansen P., Lowe D. 1993. Evaluation of the postural stability in man: movement and posture interaction. *Acta Neurobiol. Exp.*; 53: 155-60.
4. Błaszczyk J.W., Lowe D.L., Hansen P.D. 1994. Ranges of postural stability and their changes in the elderly, *Gait&Posture*; 2: 11-17.
5. Browne J.E., O'Hare N.J. 2002. Przegląd metod badania zdolności utrzymania równowagi w pozycji stojącej. *Rehab. Med.*; 6 (1): 72-6.
6. Dyszkiewicz A, Wróbel Z. 1999. Możliwości zastosowania cyfrowej techniki obliczeniowej w naukach przyrodniczych, medycynie i ochronie środowiska. *Probl Ochr Środ.*; 7: 223.
7. Dyszkiewicz A, Koprowski R, Wróbel Z. 1999. Akcelerometryczna ocena narządu równowagi oraz monitorowania terapii. *Probl Tech Med.*; 1-4: 17.
8. Dyszkiewicz A., Wróbel Z. 2002. Analiza dynamicznych obrazów obiektów biologicznych W: *Biocybernetyka i Bioinżynieria, analiza obrazów*. NOT; Warszawa.
9. Dyszkiewicz A., Wróbel Z. 2002. Systemy bioinżynieryjne w diagnostyce i terapii rehabilitacyjnej W: *Biocybernetyka i Bioinżynieria, Bioinżynieria rehabilitacyjna*. NOT; Warszawa.
10. Esquenazi A. 2004. Rehabilitative Medicine: Falls and Fractures in Older Post-Stroke Patients with Spasticity: Consequences and Drug Treatment Considerations. *Clinical Geriatrics*; 12, 8: 27 – 35.
11. Gray P., Hildebrand K. 2000. Fall risk factors in Parkinson's disease. *J. Neurosci. Nurs.*; 32(4): 222-8.

12. Harris J.E., Eng JJ, Marigold DS et al. 2005. Relationship of Balance and Mobility to Fall Incidence in People With Chronic Stroke. *Physical Ther.*; 85: 150-8.
13. Herzog W, Nigg B, Read L. 1989. Asymmetries in ground reaction force patterns in normal human gait. *Med Sci Sport Exer.*; 21: 110.
14. Lawrence D. 1984. Lateralization of weight in the presence of structural short leg. *J Manipul Physiol Ther.*; 7: 105.
15. Mathias S., Nayak U.S., Isaacs B. 1986. Balance in elderly patients: the "get-up and go" test. *Arch Phys Med Rehabil.*; 67(6): 387-9.
16. Means K. 1996. The obstacle course- a tool for the assesment of functional balance and mobility in the elderly. *J Reh Res Devel.*; 33: 413.
17. Michaelsen S.M. 2004. Short-term effects of practice with trunk restraint on reaching movements in patients with chronic stroke: a controlled trial. *Stroke*; 35: 1914.
18. Newton R.U., Neal R.J. 1994. Three-dimensional quantification of human standing posture. *Gait&Posture*; 2: 205-12.
19. Opara J, Błaszczuk J, Dyszkiewicz A. 2005. Zapobieganie upadkom w chorobie Parkinsona. *Reh Med.*; 9, 1: 31-4.
20. Podsiadło D., Richardson S. 1991. The timed „up and go”: a test of basic functional mobility for elderly frail persons. *J Am Geriatrics Soc.*; 39: 142-8.
21. Salgado R.I., Lord S.R., Ehrlich F. et al. 2004. Predictors of falling in elderly hospital patients. *Arch Gerontol Geriatr.*; 38(3): 213-9.
22. Stolze H., Klebe S., Zechlin C. et al. 2004. Falls in frequent neurological diseases - prevalence, risk factors and aetiology. *J. Neurol.*; 251(1): 79-84.
23. Żak M., Skalska A., Ocetkiewicz T. 2004. Upadki osób w starszym wieku – ocena zmiany ryzyka dokonywana po roku od upadku. *Rebab Med.*; 8, 3: 19-22.

POSTUROMETRY AND STABILIMETRY IN REHABILITATION AND PREVENTING FALLS IN POSTSTROKE PATIENTS

A. Dyszkiewicz, J. Opara

Summary

During last years a few reports on using posturography and stabilimetry in stroke patients have been published. Some post-stroke people appear disturbances with gait, in keeping stable posture and keeping balance. Sometimes they fall down which can be dangerous. Statistical data show that falls more than 40% post-stroke patients. These are factors predicting falls: age, cognitive disturbances, troubles in eyesight, incontinence of bowel and bladder, intake of some drugs.

Most important elements of rehabilitation in post-stroke persons are coordination and balance exercises and prevention of falls. In review report the common rules of comprehensive rehabilitation persons suffering from stroke and prevention of falls will be described. As well posturography as stabilimetry and gait analysis can be used for early diagnose as for rehabilitation, this can prevent falls. This can be done in vertical position using biokinematic procedures, stabilimetry, tensometry, accelerometry, and gait analysis. In diagnostic procedures the Timed "Up & Go" Test is also commonly used.

Key words: *posturometry, stroke, stabilimetry, falls,*