

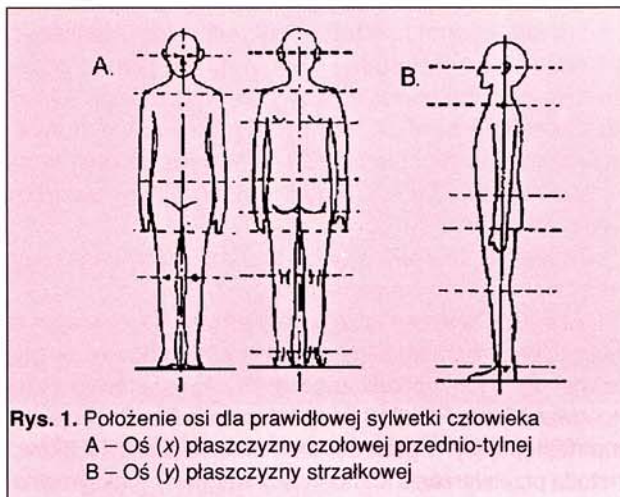
# Stanowisko do pomiaru położenia rzutu środka masy człowieka w zastosowaniu do diagnostyki medycznej

mgr inż. Grzegorz Nitecki  
mgr inż. Piotr Preibisch  
Wojskowa Akademia Techniczna  
w Warszawie

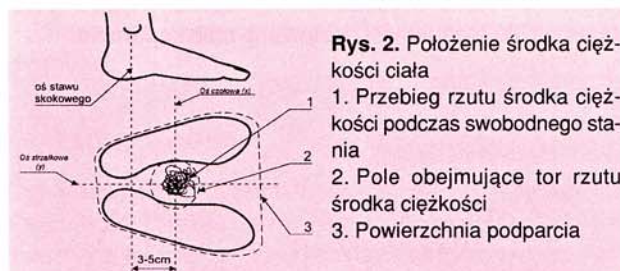
Skuteczność leczenia skrzywień kręgosłupa za pomocą zabiegu operacyjnego oraz kontrolę procesu rehabilitacji pooperacyjnej można ocenić analizując przesunięcie współrzędnych rzutu środka ciężkości ciała pacjenta.

Pomiar przemieszczenia rzutu środka ciężkości polega na rejestracji punktu przyłożenia wypadkowej siły oddziaływania stóp na podłoże. Metoda ta nosi nazwę stabilografii, natomiast zarejestrowany sygnał opisujący te zmiany zwany jest stabilogramem. Rzut środka ciężkości przemieszcza się po powierzchni koła, którego środek jest utworzony z przecięcia się dwóch osi (rys. 1), [1, 2]:

- ♦ osi czołowej przednio-tylnej przechodzącej przez środki kości łódkowatych obu stóp ( $x$ ),
- ♦ osi strzałkowej biegnącej w płaszczyźnie środkowej ciała ( $y$ ).



Obszar, w którym znajduje się środek ciężkości ciała w relacji do anatomii powierzchni podparcia, ukazuje rys. 2 [3, 4, 5]. Badania wykazały, że nacisk wywierany na podłoże przez stopy człowieka dotkniętego skrzywieniami kręgosłupa jest równomierny, wynika to z właściwości organizmu adaptowania się do odchyłonej od normy postawy.



Stosując zabieg operacyjny korygujący kręgosłup powodujemy, w początkowym procesie adaptacji, zmianę rzutu środka ciężkości masy ciała. Przesunięcie to odzwierciedla nierównomierny nacisk stóp na podłoże. W procesie rehabilitacji przesunięcie to maleje i w efekcie końcowym zanika. Właściwy dobór ćwiczeń rehabilitacyjnych

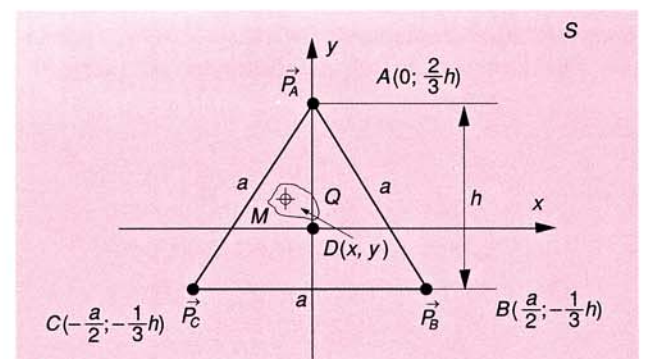
oraz ich stosowanie przyspieszają proces adaptacji w dużym stopniu. Duże zainteresowanie pomiarami posturograficznymi przyczyniło się do opracowania szeregu urządzeń stabilograficznych.

W Instytucie Podstaw Elektroniki WAT przy współpracy Instytutu Chirurgii Urazowej i Neurochirurgii CSK WAM opracowano, kilka lat temu, metodę oraz urządzenie do pomiaru współrzędnych rzutu środka ciężkości masy człowieka. Urządzenie to miało pewne niedogodności związane z procesem tarowania, centrowania oraz wizualizacją pomiarów [4]. Powstała więc koncepcja opracowania nowego stanowiska pomiarowego bazującego na poprzednim rozwiązaniu, ale pozbawionego tych niedogodności.

## Metoda pomiaru

Metoda pomiaru polega na określeniu sił reakcji w punktach podparcia sztywnej płaszczyzny poziomej. Na płaszczyźnie tej stoi człowiek utrzymując odpowiednią postawę, a jego stopy są ustawione w określonym miejscu. Przetworniki siły są usytuowane w wierzchołkach dowolnej figury geometrycznej.

Biorąc pod uwagę stabilność statyczną oraz minimalizując ilość przetworników pomiarowych wybrano do realizacji technicznej pomiar sił reakcji w trzech punktach podparcia, umieszczając przetworniki siły w wierzchołkach trójkąta równobocznego o boku  $a$ . Początek układu współrzędnych pokrywa się z geometrycznym środkiem płaszczyzny  $S$ . Ideę tą przedstawia rys. 3.



Usytuowana na płaszczyźnie  $S$  trójkąta równobocznego masa ciała  $M$  jest określona poprzez wektor siły ciężaru  $Q$ . Prosta działania tego wektora przechodzi przez płaszczyznę  $S$  w punkcie  $D$  będącym rzutem środka ciężkości masy  $M$  na tę płaszczyznę. Bez względu na

Usytuowana na płaszczyźnie  $S$  trójkąta równobocznego masa ciała  $M$  jest określona poprzez wektor siły ciężaru  $Q$ . Prosta działania tego wektora przechodzi przez płaszczyznę  $S$  w punkcie  $D$  będącym rzutem środka ciężkości masy  $M$  na tę płaszczyznę. Bez względu na



położenie masy  $M$  na płaszczyźnie  $S$  spełniona jest zależność:

$$Q = P_A + P_B + P_C \quad (1)$$

Położenie środka ciężkości masy  $M$  w tak przyjętym układzie współrzędnych  $(x, 0, y)$  leżącym w płaszczyźnie  $S$  jest funkcją sił reakcji na podporach oraz geometrii płaszczyzny  $S$ .

W oparciu o równanie (1) oraz równanie równowagi momentów względem osi  $x$  i  $y$  otrzymujemy algorytm pomiaru współrzędnych rzutu środka masy:

$$x = \frac{a}{2} \cdot \frac{P_A - P_C}{P_A + P_B + P_C} \quad (2)$$

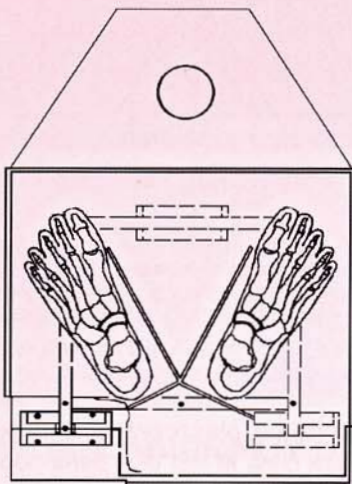
$$y = \frac{a}{2\sqrt{3}} \cdot \frac{2P_A - P_B - P_C}{P_A + P_B + P_C}$$

## Stanowisko pomiarowe

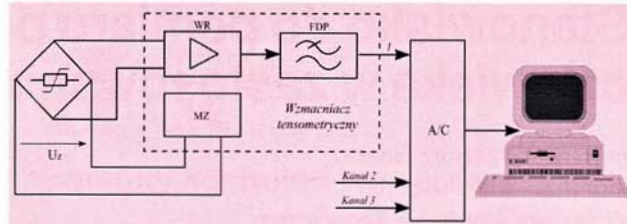
Główne elementy stanowiska to platforma posturograficzna, układ wzmacniania i formowania sygnałów oraz komputer wyposażony w kartę przetwarzania A/C, współpracujący z drukarką i ploterem.

Platforma składa się ze sztywnej podstawy, do której umocowano korpusy trzech czujników tensometrycznych do pomiaru siły, umieszczonych zgodnie z rys. 3. Do korpusów przymocowane są elementy sprężyste, na których naklejone są tensometry w układzie pełnego mostka Wheatstone'a. Na przetwornikach oparta jest szalka urządzenia związana mechanicznie z ramą nośną. Czujniki tensometryczne są początkowym elementem toru pomiarowego stanowiska. Do budowy czujników zastosowano tensometry typu 10/120 LP21 firmy Hottinger [4], uzyskując następujące parametry: zakres znamionowy 1000 Nm, przeciążalność 100 %, liniowość charakterystyki 0,1 %, przy napięciu zasilającym 10 V, sygnał znamionowy 26 mV, niestabilność czasowa w okresie 12 godzin poniżej 0,25 %.

Do szalki posturografu przymocowane są ograniczniki pozycjonujące stopy pacjenta. Ograniczniki te zapewniają powtarzalność ustawienia stóp w trakcie kolejnych pomiarów. Platforma posturografu przedstawiona jest na rys. 4.



Rys. 4. Widok platformy posturografu. Pozycja stóp wymuszona ogranicznikiem



Rys. 5. Tor pomiarowy stanowiska posturograficznego

Schemat funkcjonalny jednego z kanałów toru pomiarowego przedstawiony jest na rys. 5. Cały tor pomiarowy składa się z trzech kanałów o identycznej budowie. Elementem wspólnym do wszystkich kanałów jest karta przetwarzania A/C i komputer.

Wzmacniacze tensometryczne zrealizowane zostały na specjalizowanych układach 1B32 firmy Analog Devices, które zawierają: moduł zasilania mostka tensometrycznego (MZ), moduł wzmacniacza różnicowego (WR) oraz moduł filtra dolnoprzepustowego (FDP).

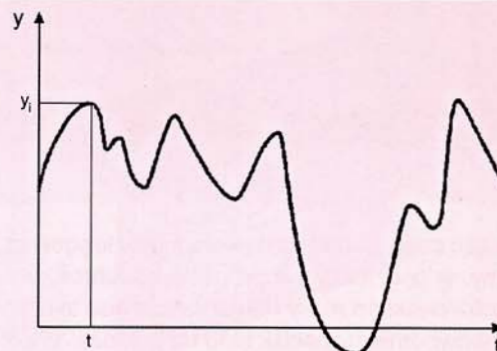
Wzmacniacz tensometryczny zapewnia: kompensację napięcia niezrównoważenia mostka, regulowane wzmocnienie sygnału, filtrację sygnału (częstotliwość graniczna filtra jest stała i wynosi 4 Hz), płynne przesuwanie poziomu odniesienia sygnału wyjściowego. Układ 1B32 cechują bardzo dobre parametry znamionowe: nieliniowość wzmocnienia 0,01 %, wejściowy dryft temperaturowy  $\pm 0,07 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , dryft temperaturowy wzmocnienia  $\pm 2 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ .

Zapewniono to całkowity błąd pomiarowy wnoszony przez wzmacniacz tensometryczny  $\leq 0,5 \%$ .

Na wyjściu wzmacniacza uzyskujemy analogowy sygnał napięciowy proporcjonalny do siły nacisku, dostosowany do wymagań karty przetwarzania A/C. Na stanowisku zastosowano kartę PCL818 firmy Advantech Co. Cechuje się ona następującymi parametrami: rozdzielczość 12 bitów, metoda przetwarzania kompensacji wagowej, maksymalna częstotliwość przetwarzania 100 kHz, liniowość  $\pm 1 \text{ bit}$ , dokładność 0,08 % odczytu  $\pm 1 \text{ bit}$ .

W wyniku przetwarzania otrzymujemy sygnał cyfrowy o binarnej wartości proporcjonalnej do siły nacisku na platformę pomiarową. Elementem końcowym toru jest komputer realizujący algorytm pomiarowy wyznaczenia współrzędnych rzutu środka masy zgodnie z równaniem (2).

Przykładowy przebieg współrzędnej  $y$  w funkcji czasu przedstawia rys. 6. Przedstawienie współrzędnych  $x$  i  $y$  na płaszczyźnie biegunowej nazywamy stabilogramem.



Rys. 6. Przebieg współrzędnej  $y$  rzutu środka masy



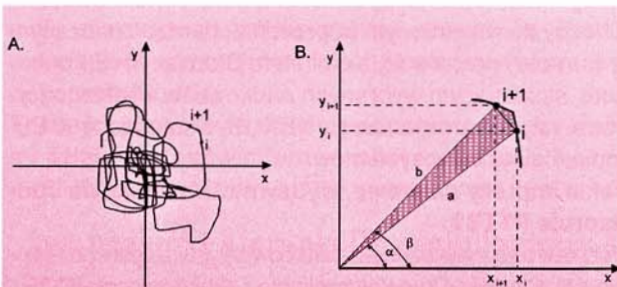
Zastosowanie na stanowisku plotera lub drukarki umożliwia archiwizację graficznej postaci pomiarów w zależności od wymagań procesu badania i obserwacji pacjenta.

## Opracowanie wyników badań

Stabilogram, jaki uzyskuje się podczas wykonywania badań statycznych (statokineziogram), ma postać jak na rys. 7A. Do oceny wyników tychże badań przyjmuje się standardowe parametry opisane w szeregu światowych publikacji [6,7,8,9].

Do parametrów tych należą:

- promień średni statokineziogramu  $R_{\text{śr}}$
- pole powierzchni rozwiniętej statokineziogramu  $P$ ,
- długość całkowita statokineziogramu  $l$ ,
- średnia prędkość statokineziogramu  $V_{\text{śr}}$
- wychylenie średnie stabilogramu w płaszczyźnie strzałkowej  $d_{y\text{śr}}$
- wychylenie średnie stabilogramu w płaszczyźnie czołowej  $d_{x\text{śr}}$



**Rys. 7.** Stabilogram oraz sposób wyznaczania jego parametrów  
A – przykład stabilogramu z zaznaczonymi kolejnymi próbkami  $i$  oraz  $i+1$ ; B – fragment stabilogramu z próbkami  $i$  oraz  $i+1$

Na przykład w oparciu o rys. 7A i 7B otrzymujemy:

$$R_{\text{śr}} = \frac{\sum R_i}{n} \quad \text{gdzie} \quad R = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \quad (4)$$

$$d_{y\text{śr}} = \frac{\sum d_{yi}}{h} \quad \text{gdzie} \quad d_{yi} = y_i \quad (5)$$

$y_i$  – odchylenia stabilogramu w płaszczyźnie strzałkowej w chwili  $t_i$

$x_i$  – odchylenia stabilogramu w płaszczyźnie czołowej w chwili  $t_i$

Pozostałe parametry wyznacza się w sposób analogiczny.

## Podsumowanie

Opisane stanowisko pomiarowe cechuje się nowoczesną konstrukcją. Pozwala pominąć złożony proces ręcznej kalibracji zastępując go rozwiązaniem programowym. Taki sposób realizacji stanowiska ułatwia lekarzowi sprawne przeprowadzenie badań i umożliwia bezinwazyjną ocenę stopnia rehabilitacji pacjentów. W związku z tym, że stanowisko to podlega procesowi modernizacji programowej trudno jest w pełni ocenić jego zalety i ograniczenia. Dalsze prace na stanowisku i ich weryfikacja praktyczna w trakcie badań pacjentów pozwolą na ocenę jego funkcjonowania.

Po zakończeniu modernizacji stanowiska możliwe będzie przeprowadzenie pełnej oceny metrologicznej. Wydaje się jednak, że zastosowane rozwiązania zapewniają dużą dokładność toru pomiarowego. W tego typu pomiarach z udziałem człowieka jest on elementem decydującym o stopniu obiektywności i rzetelności pomiarów.

## Bibliografia:

- [1] Będziński R., Firlej M., Śliwa W.: Elementy biometrii krzywych kręgosłupa i postawy ciała. WKiŁ, Warszawa 1990.
- [2] Hoppe U.: Kryteria biomechaniczne prawidłowej postawy człowieka, Konferencja Biomechaników BIOMECHANIKA '94.
- [3] Piórko A.: Posturografia jako metoda oceny dynamiki układu równowagi człowieka, Rozprawa doktorska. WIML, Warszawa 1996.
- [4] Jakubiak S., Schmidt M.: Pomiar współrzędnych rzutu środka ciężkości masy organizmu ludzkiego. ISPA WAT, Warszawa 1985.
- [5] Stęślińska-Mydlarska W.: Zarys anatomii funkcjonalnej człowieka. PWN, Warszawa 1978.
- [6] Kubickowa J.: Test statokineziometryczny w ocenie stanu równowagi, Rozprawa habilitacyjna. WIML, Warszawa 1975.
- [7] Morecki A., Ekiel J., Fidelus K.: Biomechanika ruchu. PWN, 1971.
- [8] Maki B., Holliday J., Fernic G.: A posture control model and balance test for relative postural stability. IEEE Trans on Bio-medical Eng., Vol. BME-34, No 10, 797-810, 1987.
- [9] Ishida A., Miyazaki S., Identification of the posture control system using records during quiet stance. Vestibular and visual control ..., 7th Symp. Soc. Posturography, 70-73, Houston 1983.