



## Goniometryczny test wahadła w spastyczności

### *Pendulum testing in spasticity*

ANDRZEJ FRANEK, EDWARD BŁASZCZAK, JAKUB TARADAJ

Z Katedry i Zakładu Biofizyki Lekarskiej Śląskiej Akademii Medycznej w Katowicach

**STRESZCZENIE.** *Cel.* Podsumowanie metod goniometrycznych w nowoczesnej rehabilitacji u pacjentów z zaburzeniami ruchowymi. **Poglądy.** Opisano konstrukcję i zasadę działania goniometru cyfrowego, stosowanego do przeprowadzania testu wahadła w patologicznie zmienionym napięciu mięśniowym w kończynach dolnych. Optoelektryczny przetwornik przenosi do specjalnego programu komputerowego ujętą cyfrowo, zależną od czasu funkcję zmiany kąta mierzonego między udem a osią kończyny dolnej pacjenta. Funkcja jest rejestrowana, określone są niektóre wskaźniki opisujące ruchy kończyny w stawie, a pacjent jest przydzielany przez specjalny program do odpowiedniej grupy rehabilitacyjnej. Przedstawiono prawidłowe wartości testu wahadła uzyskane u osób bez zaburzeń.

**SUMMARY.** *Aim.* A review of the goniometric assessment in modern rehabilitation of patients with movement disorders is presented by the authors. **Review.** The construction and principle of operation of the digital goniometer, applied to pendulum testing of the lower extremities with pathologically changed muscle tone, are described. An electro-optical transducer transmits a digitised time-dependent function of an angle between the patient's thigh and leg axes via an interface to a special computer programme. The function is registered, some coefficients describing the extremity motion in the joint are determined and the patient is assigned to an appropriate rehabilitation group by the designed programme. Normal values of the pendulum test coefficients in asymptomatic subjects are presented

---

**Słowa kluczowe:** spastyczność / goniometria

**Key words:** spasticity / goniometric assessment

---

Celem pracy jest przedstawienie możliwości obiektywnej oceny spastyczności za pomocą testu wahadła. Testu wahadła próbowano użyć do wspomaganego diagnozy już na początku wieku, jednak zastosowanie go do racjonalnego badania spastyczności przypisuje się amerykańskiemu profesorowi neurologii Robertowi Wartenbergowi, który wykorzystał go jako jakościowy test diagnostyczny w 1950 r. [1]. Pewne upowszechnienie metody nastąpiło w latach siedemdziesiątych, lecz dopiero od czasu wprowadzenia techniki informatycznej można mówić o jej nowoczesnym zastosowaniu i intensywnym rozwoju [2, 3, 4, 5].

Jedno z najważniejszych zastosowań goniometrii w postaci testu wahadła dotyczy spastyczności. Test wahadła z powodzeniem był wykorzystywany do oceny farmakologicznego leczenia spastyczności za pomocą tizanidyny u chorych ze stwardnieniem rozsianym oraz do badań porównawczych skutków stosowania klonidyny, cyproheptadyny i baklofenu u chorych po urazie rdzenia kręgowego. Opisano też użycie testu wahadła do oceny skutków przeciwspastycznych elektrostymulacji i pionizacji chorych. Intensywnie poszukuje się dla celów diagnostycznych korelacji między objawami klinicznymi i danymi goniometrycznymi [6].

Od pewnego czasu analiza spastyczności za pomocą testu wahadła stała się uznaną metodą badawczą [3, 7, 8, 9, 10]. Autorzy pomijają badanie w pozycji siedzącej ze względu na częściowe wyłączenie czynności mięśnia czworogłowego uda, a zwłaszcza mięśnia prostego uda, co w dużej mierze eliminuje silny pierwszy zryw spastyczności. Po wnikliwej analizie można jednak zauważyć [3, 9], że badanie wykonane w tej właśnie pozycji może wnieść wiele ciekawych informacji na poruszony temat. Niektórzy badacze starają się opisać składowe ruchu kończyn zdrowych z obciążeniem i bez niego [10] oraz stworzyć interesujące modele z uwzględnieniem właściwości lepko-sprężystych mięśni, lecz nie poświęcają szczególnej uwagi zastosowaniu wyników w praktyce klinicznej. W tej sytuacji niezbędne stało się unowocześnienie metodyki pomiarowej i wprowadzenie wielu nowych parametrów, co pozwoliło lepiej i dokładniej niż dotąd opisać stan spastyczności i różnicować choroby.

Lin i wsp. [4] zastosowali test wahadła do oceny spastyczności stawu łokciowego dla pacjentów po udarze mózgu. W tym przypadku podobnie jak dla stawu kolanowego stwierdza się podwyższenie współczynników tłumienia.

Najnowsze prace z omawianego zakresu wprowadzają oryginalne techniki pomiarowe. Tradycyjny test wahadła, gdzie goniometr przymocowany jest do kończyny dolnej, zastępuje się systemem komputerowej analizy ruchu znaczników odbłaskowych na kończynie, rejestrowanym przez magnetowid [5]. Obecnie opracowuje się normy statystyczne tego badania.

## TEST WAHADŁA

Goniometryczny test wahadła służy do oceny ruchu wahadłowego mechanicznego układu jednoprzegubowego w wybranej płaszczyźnie. Pozwala on na wyznaczenie czasowej funkcji zmiany kąta  $\varphi$  zawartego pomiędzy ramionami przegubu, oraz oblicze-

nie charakterystycznych parametrów ruchu, takich jak: liczby wahań, czasu wahań, okresu, współczynnika tłumienia itp. Test wahadła jest badaniem obiektywnym przy ocenie wpływu różnego rodzajów napięć mięśniowych i ich zmian na ruchomość kończyn w niektórych stawach [3, 9].

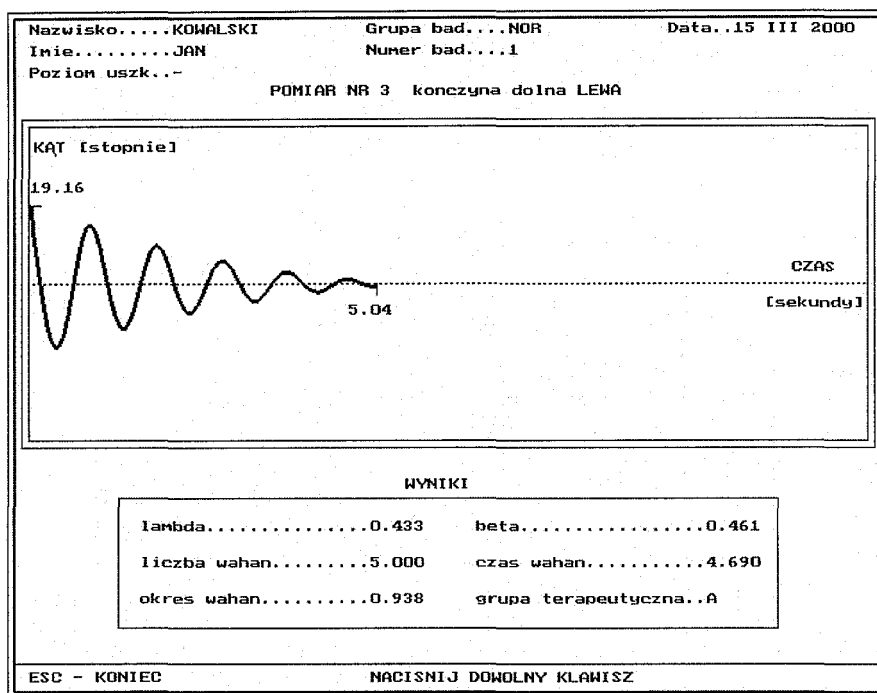
Zakres i swobodę ruchu kończyn oraz stan napięć mięśniowych charakteryzuje się za pomocą wskaźników, dających się obliczyć dzięki analizie funkcji  $\varphi = f(t)$  zmiany kąta w czasie. Ponieważ funkcja ta opisuje drganie tłumione, do wspomnianych wskaźników należą: logarytmiczny dekrement tłumienia ( $\lambda$ ) – definiowany tu jako logarytm naturalny ze stosunku drugiej i czwartej amplitudy lokalnej, współczynnik tłumienia ( $\beta$ ) – definiowany tu jako stosunek  $\lambda$  i  $T$ , liczba cykli ( $n$ ), całkowity czas wahań ( $t$ ) oraz okres wahań ( $T$ ).

Liczba wahań i czas wahań określają swobodę ruchu, a okres i parametry tłumienia zakres ruchomości.

## URZĄDZENIE POMIAROWE

Goniometryczny test wahadła składa się z urządzenia peryferyjnego współpracującego z komputerem typu IBM PC oraz oprogramowania. W skład urządzenia peryferyjnego wchodzi cyrkiel goniometryczny i układ interfejsu – przetwornika do współpracy z komputerem.

Cyrkiel goniometryczny składa się z dwu cienkich metalowych ramion, połączonych z sobą przegubowo. Jedno z ramion (nieruchome) może być zamontowane w specjalnym gnieździe mocującym umożliwiającym zmianę kąta ustawienia i długość ramienia lub też w uchwycie niski przylegającej do uda. Ramię ruchome może być prowadzone w tulejce suwliwej mocowanej na podudziu lub w uchwycie łuski przylegającej do podudzia. Ruch cyrkla w przegubie przenoszony jest na miniaturowy optoelektroniczny przetwornik typu C3A 27-4096 GE 01 firmy TWK, który konstrukcyjnie stanowi z cyr-



Rysunek 1. Zapis czasowej funkcji zmiany kąta  $\varphi = f(t)$  zawartego pomiędzy osią uda i podudzia wyznaczony testem wahadła

klem jedną całość. Położenie wałka przetwornika odczytywane jest za pomocą układu optycznego i tarczy kodowej, które pozwalają (z rozdzielczością 12 bitów na obrót) na zakodowanie położenia kąтового wałka w zakresie od 0 do 360 stopni z dokładnością do 0,088 stopnia. Sygnał podawany jest do interfejsu. Opracowana wersja programu pozwala na odczytanie 100 położzeń ruchomego cyrkla goniometrycznego w ciągu 1 sekundy i zapisanie tych wartości w odpowiednim miejscu programu.

W skład interfejsu wchodzi: układ mikroprocesora, zasilacz, kabel przetwornika oraz kabel RS 232 interfejsu (do komputera). Układ interfejsu zapewnia poprawną współpracę przetwornika pomiarowego z komputerem typu IBM PC, ochronę badanej osoby przez zastosowanie bariery galwanicznej oraz zasilanie układów elektronicznych stabilizowanym napięciem +5 V.

## METODA BADANIA NAPIĘĆ MIĘŚNIOWYCH

Badaną osobę sadza się na specjalnym fotelu pomiarowym. Cyrkiel goniometryczny urządzenia peryferyjnego mocuje się do badanej kończyny dolnej tak, że jedno z jego ramion (wsparte na statywie lub łusce) jest równoległe do osi uda, drugie zaś do podudzia. Przegub z przetwornikiem optoelektronicznym umieszcza się na wysokości szpary stawowej stawu kolanowego. Osobie badanej poleca się rozluźnić mięśnie tak dalece, jak tylko to możliwe, a następnie zgina się biernie badaną kończynę w stawie kolanowym. Kończyna waha się swobodnie wokół osi przechodzącej przez staw kolanowy, a przetwornik pomiarowy odczytuje funkcję  $\varphi = f(t)$  zmiany kąta zawartego między osią uda a podudzia od czasu. Pomiar powtarza się w odstępach 30-sekundowych, pięciokrotnie

dla każdej kończyny dolnej. Wszystkie dane pomiarowe zapisane zostają w pamięci komputera z częstotnością 100 wartości w ciągu sekundy.

Zastosowanie techniki informatycznej w procesie pomiaru goniometrycznego, oceniającego wybrane parametry biomechaniczne układu narządów ruchu pozwala na zebranie dużej liczby danych pomiarowych w bardzo krótkim czasie, zapisanie ich w pamięci operacyjnej, oraz zewnętrznej trwałej, przetwarzanie danych i wyliczenie szeregu parametrów biomechanicznych ruchu. Równocześnie następuje także przetwarzanie danych, by graficznie przedstawić interesującą nas funkcję, wyliczyć wartości średnie ważnych parametrów i zapisać niezbędne wartości otrzymanych parametrów. Po porównaniu otrzymanych wyników pomiarowych z wprowadzonym uprzednio do pamięci i wcześniej opracowanym, klinicznym wzorcem charakteryzującym stany patologiczne, program pozwala na podzielenie chorych na odpowiednie grupy rehabilitacyjne, znakomicie wspomagając diagnozę i ułatwiając podjęcie decyzji w stosowanym programie usprawniania chorych [11].

## OCENA STOPNIA SPASTYCZNOŚCI ZA POMOCĄ TESTU WAHADŁA

Podstawą do opracowania skali stopnia spastyczności są wyniki pomiarów wykonanych testem wahadła w grupie ludzi chorych i zdrowych stanowiących tzw. normę testu

Tablica 1. Wyniki testu wahadła dla normy

Parametr	Wartość średnia ± odchylenie standardowe
$\lambda$	0,43 ± 0,04
$\beta$ [s <sup>-1</sup> ]	0,46 ± 0,06
n	5,09 ± 0,54
t [s]	4,78 ± 0,58
T [s]	0,94 ± 0,06

wahadła. W skład normy kwalifikuje się osoby po dokładnym badaniu internistycznym i neurologicznym oraz ukierunkowanym wywiadzie lekarskim, u których nie stwierdzono w czasie badania i wywiadzie żadnych odchyłeń od stanu normalnego.

W tabl. 1 podano wyniki testu wahadła dla 37 ludzi zdrowych (w tym 17 kobiet i 20 mężczyzn), wiek wahał się w granicach od 19 do 49 lat (średnio 27 lat).

Podstawowym parametrem różnicującym chorych pod względem spastyczności jest logarytmiczny dekrement tłumienia  $\lambda$ . W zależności od uszkodzenia rdzenia kręgowego jego wartość zmienia się w granicach od 0,1 do bardzo dużych wartości. Pozwala to określić stopnie nasilenia spastyczności, których opis podany jest w tabl. 2 [9].

Wprowadzenie skali określającej stopień nasilenia spastyczności ma bardzo ważne znaczenie z punktu widzenia rehabilitacji chorych, ponieważ pozwala to na dobór odpowiednich metod usprawniania w zależności od przynależności do odpowiedniej grupy.

Tablica 2. Stopnie nasilenia spastyczności

Stopień nasilenia	$\lambda$	Nasilenie spastyczności
A	0,10–0,50	słaba spastyczność
B	0,51–0,70	umiarkowana spastyczność
C	0,71–1,50	silna spastyczność
D	powyżej 1,50	bardzo silna spastyczność
E	bardzo duża	ekstremalnie silna spastyczność

**PIŚMIENNICTWO**

1. Wartenberg R. Pendulousness of the legs as a diagnostic test. *Neurology* 1951; 1: 18.
2. Bajd T, Vodovnik L. Pendulum testing of spasticity. *J Biomed Engn* 1984; 6: 9.
3. Franek A, i wsp. Modyfikacja własna goniometrycznego testu wahadła. *Probl Tech Med* 1989; 2: 35.
4. Lin CC, Ju MS, Lin CW. The pendulum test for evaluating spasticity of the elbow joint. *Arch Phys Med Rehab* 2003; 84 (1): 69.
5. Stillman B, Mc Meeken J. A video-based version of the pendulum test: technique and normal response. *Arch Phys Med Rehab* 1995; 76: 166.
6. Katz K, Rosenthal A, Yosipovitch Z. Normal ranges of popliteal angle in children. *J Pediatr Orthop* 1992; 12: 229.
7. Bajd T, Kralj A, Zefran M. Unstable states in four-point walking. *J Biomed Engn* 1993; 15: 159.
8. Bohannon RW, Larkin PA. Cybex II isokinetic dynamometer for the documentation of spasticity. *J Am Phys Ther Assn* 1985; 65 (1): 46.
9. Franek A. Zastosowanie elektrostymulacji w zwalczaniu spastyczności u chorych po urazie rdzenia kręgowego. Rozprawa habilitacyjna. Katowice: Ann Acad Med Sil; 1992.
10. Stefanovska A, i wsp. Effects of electrical stimulation on spasticity. *Phys Rehab Med* 1991; 3: 59.
11. Franek A, Błaszczak E, Grzesik J, Pietraszek S. Goniometr cyfrowy „Spasmometr GC-2”. *Wiad Lek* 1998; 51 (1–2): 18.

*Adres: Prof. Andrzej Franek, Katedra i Zakład Biofizyki Lekarskiej Śląskiej Akademii Medycznej, ul. Medyków 18, 40-752 Katowice, e-mail: afranek@slam.katowice.pl*