

Jan BISKUP, Michał KUCZYŃSKI, Marian GOLEMA

Katedra Rozwoju Motoryki Człowieka

AWF Wrocław

MECHANIZM KOMPENSACYJNY POZYCJI STOJĄCEJ CZŁOWIEKA

Streszczenie. Praca zawiera wyniki badań efektów oddziaływania zakłóceń postawy pionowej wnoszonych przez badanych na przebieg ich stabilogramów. Zakłócenia polegały na jednostkowych oraz rytmicznych wymachach kończyn górnych. Stwierdzono występowanie specyficznego mechanizmu kompensacji skutków zakłóceń, którego działanie wyprzedza proces regulacji.

Summary. The research into the effects of self-performed disturbances of erect posture on stabilograms was accomplished. The disturbances were single sudden changes of the position of arms, as well as rhythmic repeated movements. The results show the existence of specific mechanism anticipating the effects of disturbances and acting accordingly.

Zusammenfassung. Die Arbeit enthält Ergebnisse der Forschung verbunden mit dem Einfluss von selbstgemachten Störungen auf die senkrechte Position der Menschen. Die Störungen bestanden in einzelnen sowie rhythmischen Pendelbewegungen den Händen. Die Aktivität eines Mechanismus war beobachtet, die bestimmte Vorbeugungsfunktion spielt und den Steuerungsprozess der senkrechten Position zuvorkommt.

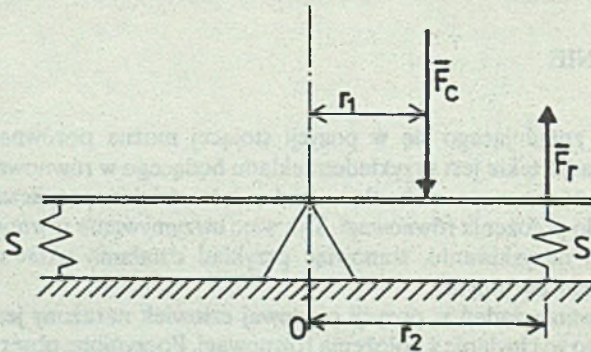
1. WPROWADZENIE

Ciało człowieka znajdującego się w pozycji stojącej można porównać do wahadła odwróconego. Wahadło takie jest przykładem układu będącego w równowadze chwiejnej. Ciało człowieka, podobnie do wahadła - pada, lecz dzięki specyficznej aktywności ruchowej powraca do położenia równowagi. Tak więc utrzymywanie równowagi polega na ciągłej jej utracie i odzyskiwaniu, stanowiąc przykład działania układu sterowania z ujemnym sprzężeniem zwrotnym.

Podczas wykonywania zadań w pozycji pionowej człowiek narażony jest na działanie sił powodujących jego wychwianie z położenia równowagi. Poczynione obserwacje sugerują występowanie odmiennych mechanizmów sterujących w zależności od pochodzenia sił (zakłóceń) oddziałujących na człowieka. Zakłócenie może pochodzić z zewnątrz (np. popchnięcie czy przemieszczenie podłoża, na którym stoi człowiek) lub zostać wprowadzone świadomie przez badanego. Regulacja równowagi w pozycji pionowej w obecności nieznanymi zakłóceń zewnętrznych jest niewątpliwie wynikiem mechanizmów odruchowych [3]. Wydaje się jednak, że gdyby osoby poddane działaniu zakłóceń zewnętrznych znały ich siłę oraz moment akcji, wówczas reagowałyby inaczej, tzn. wcześniej starałyby się skompensować skutki działania tego zakłócenia.

2. MECHANIZM KOMPENSACYJNY UTRZYMYWANIA RÓWNOWAGI

W badaniach do niniejszej pracy postanowiono prześledzić proces sterowania pozycją pionową w obecności wewnętrznych zaburzeń równowagi, wywoływanych przez osoby badane ruchem kończyn górnych. Jest to bodziec znany i w związku z tym powinien wywołać znane i zapamiętane reakcje. Gdyby wyniki badań wykazały wspólne, charakterystyczne cechy tych reakcji, można by przyjąć hipotezę o istnieniu specyficznego mechanizmu sterującego pozycją pionową w tych sytuacjach. Zaś zbadanie tych mechanizmów pozwolić może na pogłębienie wiedzy o fizjologicznych podstawach procesu utrzymania równowagi. Jako hipotezę roboczą przyjęto zaistnienie specyficznego zachowania człowieka, polegającego na wcześniejszej (w odniesieniu do chwili zadania bodźca zakłócającego) reakcji układu wykonawczego systemu sterowania. Ponadto spodziewano się zaobserwować tzw. działanie przygotowawcze do właściwej reakcji ruchowej. Badaniami objęto 27 studentów wrocławskiej AWF. Zadaniem każdego badanego było wykonanie na sygnał, w pozycji stojącej "na baczność", jak najszybszego wymachu kończynami górnymi: w przód z zatrzymaniem rąk, w przód z natychmiastowym powrotem do postawy oraz ruch wahadłowy rozpoczynając w przód. Próby te powtórzono polecając wykonać pierwszy wymach w tył. Następnie powtórzono cały eksperyment przy obciążeniu dłoni ciężarkami o masie 2 kg. W ten sposób każda osoba wykonała 12 prób. Badani stali na stabilografie. Do kończyny górnej przymocowany był czujnik przemieszczeń liniowych rejestrujący położenie ramion względem zewnętrznego układu odniesienia. Ponadto rejestrowano zmianę położenia punktu przyłożenia wypadkowej siły reakcji podłoża (stabilogram). Zasadę działania stabilogramu przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Zasada działania stabilogramu

Fig.1. The operating principle of stabilogram

Moment siły utworzony przez stojącego człowieka $F_C r_1$ jest równoważony momentem $F_r r_2$ pochodzącym od siły reakcji sprężyn. Wobec tego miejsce przyłożenia wspomnianej wypadkowej określone jest jednoznacznie przez wartość r_1 , proporcjonalną do siły reakcji sprężyn.

3. WYNIKI BADAŃ

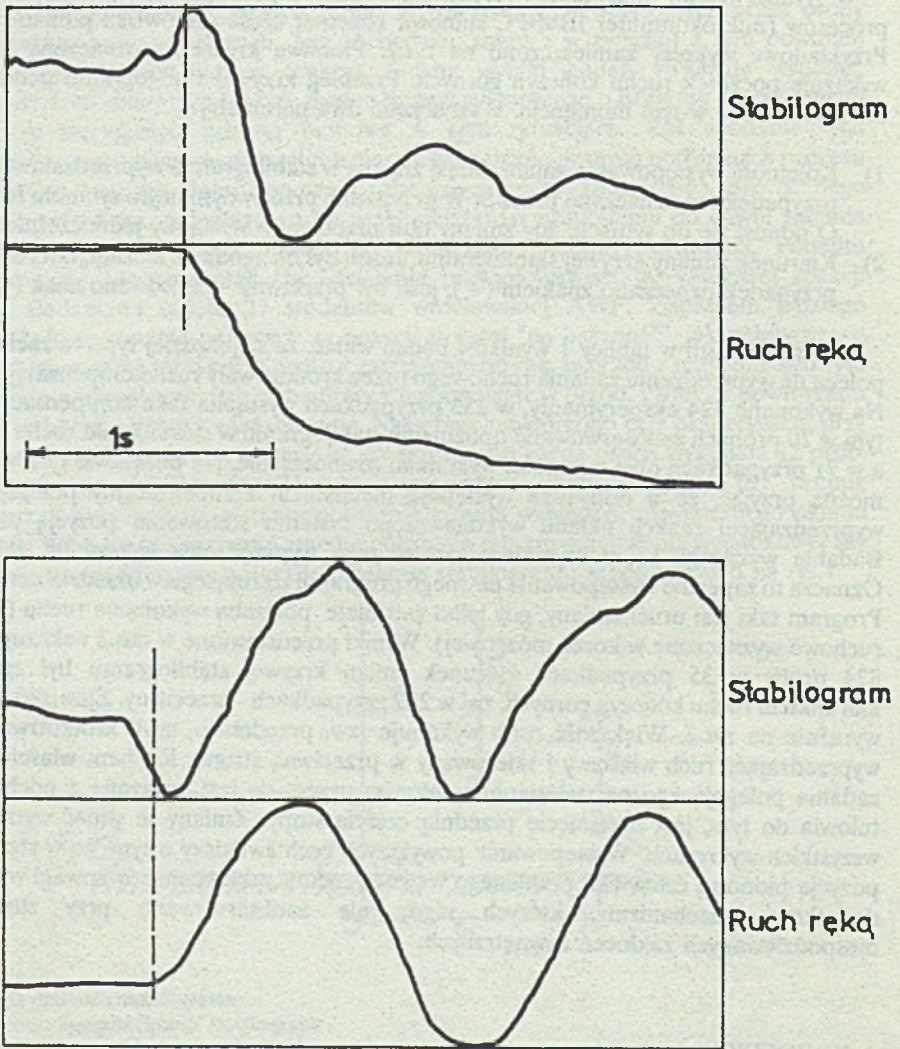
W wyniku badań otrzymano wydruki komputerowe przebiegów obu rejestrowanych procesów (mikrokomputer IBM-PC stanowił końcową część stanowiska pomiarowego). Przykładowe wykresy zamieszczono na rys.2. Pionowa kreseczka oznaczona literą k wskazuje początek ruchu kończyn górnych. Przebieg krzywej stabilogramu poddawano analizie właśnie w tym momencie. Wyznaczano dwa parametry:

- 1) Kolejność występowania zmian. Jeżeli zmiana w stabilogramie wyprzedzała ruch rąk, przypadek ten oznaczano przez S. W przypadku przeciwnym użyto symbolu R. Litera O odnosi się do sytuacji, gdy zmiany obu przebiegów wystąpiły jednocześnie.
- 2) Kierunek zmiany krzywej stabilogramu. Jeżeli był on zgodny z kierunkiem ruchu rąk, przypadek oznaczano znakiem (+), jeśli był przeciwny – stosowano znak (-).

Z zestawionych w tablicy 1 wyników badań widać, że najbardziej typowe zachowanie polega na wyprzedzeniu zadania ruchowego przez krótkotrwały ruch kompensacyjny stóp. Na wykonane 324 eksperymenty, w 253 przypadkach wystąpiła taka kompensacja. Poza tym w 20 próbach zaobserwowano opóźnienie stabilogramu w stosunku do ruchu ramion, a w 71 przypadkach obie czynności wykonano równocześnie. Na podstawie tych wyników można przyjąć, że u człowieka występuje mechanizm kompensacyjny polegający na wyprzedzającej reakcji układu wykonawczego systemu sterowania pozycją pionową. Badania wykazały, że maksymalna wartość tego wyprzedzenia wynosi ok. 0,20 sek. Oznacza to zapewne występowanie pewnego programu sterującego w układzie nerwowym. Program taki jest uruchamiany, gdy tylko zaistnieje potrzeba wykonania ruchu (zadanie ruchowe wyznaczone w korze mózgowej). Wyniki przedstawione w tab.2 wskazują, że na 324 próby w 35 przypadkach kierunek zmian krzywej stabilogramu był zgodny z kierunkiem ruchu kończyn górnych, zaś w 289 przypadkach - przeciwny. Zjawisko to widać wyraźnie na rys.2. Większość osób wykonuje tzw. przedmach, czyli krótkotrwały ruch wyprzedzający ruch właściwy i skierowany w przeciwną stronę. Ruchem właściwym dla zadania polegającego na uniesieniu ramion w przód, co jest związane z odchyleniem tułowia do tyłu, jest naciśnięcie przednią częścią stopy. Zmiany te widać wyraźnie na wszystkich wykresach. Występowanie powyższych cech świadczy o tym, że w sterowaniu pozycją pionową człowieka poddanego wewnętrznemu zakłóceniu równowagi występują dodatkowe mechanizmy, których nigdy nie zaobserwowano przy stosowaniu niespodziewanych zakłóceń zewnętrznych.

4. WNIOSEK

Człowiek świadomy zaburzenia procesu utrzymania równowagi przewiduje jego skutki i włącza specjalny program ruchowy przeciwdziałający tym skutkom. Najprawdopodobniej celem istnienia kompensacji jest dążenie organizmu do minimalizacji energii niezbędnej do zapewnienia równowagi.



Rys.2.Przykładowe wydruki komputerowe wyników badań

Fig.2.An example of computer recordings of the signals representing stabilograms and arm motions

Tablica 1

Kolejność występowania zmian w przebiegach dla różnych prób

BEZ OBCIĄŻENIA			Z OBCIĄŻENIEM		
W P R Z Ó D					
A	B	C	A	B	C
17	22	17	20	23	19
2	2	3	4	2	3
8	3	7	3	2	5

BEZ OBCIĄŻENIA			Z OBCIĄŻENIEM		
W T Y Ł					
A	B	C	A	B	C
23	24	19	20	24	25
0	2	1	1	0	0
4	1	7	6	3	2

- A - Wyrzut ramion z ich zatrzymaniem
- B - Wymach ramion z powrotem do pozycji wyjściowej
- C - Wykonanie ruchu wahadłowego

Tablica 2

Zestawienie liczby przypadków zgodności i niezgodności kierunku zmian zaburzeń stabilogramu z kierunkiem ruchu kończyn górnych. Oznaczenia zgodne z tablicą 1.

BEZ OBCIĄŻENIA			Z OBCIĄŻENIEM		
W P R Z Ó D					
A	B	C	A	B	C
7	3	5	2	2	6
20	24	22	25	25	21

BEZ OBCIĄŻENIA			Z OBCIĄŻENIEM		
W T Y Ł					
A	B	C	A	B	C
4	2	4	0	0	0
23	25	23	27	27	27

LITERATURA

- [1] Golema M.: Biomechaniczne badania procesu regulacji równowagi u człowieka. Studia i Monografie AWF Wrocław, 1982, Nr 2.
- [2] Golema M.: Stabilność pozycji stojącej. Studia i Monografie AWF Wrocław, 1987, Nr 17.
- [3] Golema M., Jaśkiewicz G.: Matematyczna interpretacja procesu utrzymywania równowagi w pozycji stojącej. Wychowanie Fizyczne i Sport, 1980

THE COMPENSATION MECHANISM OF THE ERECT POSTURE OF A MAN

Abstract

A man standing in erect position maintains his balance by means of a trained controlling system. However, very often several disturbances may affect this equilibrium. We distinguish inner and outer forces causing different actions of the nervous system. In this study a hypothesis is set up that inner, self performed disturbance result in specific behavior of the human being and, accordingly, in the shape of stabilograms of people exposed to these forces. Fig.1 shows the operation principle of stabilograph where 27 subjects were measured. Their tasks were:

- 1) to lift their arms and stand still,
- 2) to lift their arms and immediately take them back,
- 3) to start rhythmic repeated movements forward and backward with the arms.

It was repeated 2 times and then the same investigations were performed with the subjects keeping two 2N dumbbells in their hands. Thus, we obtained the total number of 324 investigations. Each time the movement of the arm was recorded to make possible the comparison between the very beginning of this movement, (dash K in Fig.2) and the respective change in the stabilogram.

Two qualities were chosen and observed: the succession of the changes in the recorded signals as well as their direction. The results are given in tables. They show that the typical action consists in a specific body movement which precedes the motion of arms and which one may call a compensatory reflex. Table 1 confirms its existence in 253 out of 324 cases (letter S) while 71 cases show contrary succession (R) and 20 cases could not have been interpreted (0). The maximal preceding time was found to be 0.2 s. Table 2 shows that in most cases (289) the directions of changes in stabilograms and the arms movements are opposite, what is totally contrary to the results obtained by the presence of outer disturbances. It proves the existence of specific controlling program in the man's consciousness which acts to compensate the effects of known disturbances to be. It is very like connected with the natural need to minimize the efforts, the energy required to keep us in the erect position or perform any other purposeful activity.

Recenzent: Dr inż. Jerzy Świder

Wpłynęło do redakcji w styczniu 1992