

Wiesław MASŁOWSKI<sup>1</sup>  
Tadeusz OPARA<sup>2</sup>  
Michał BUREK<sup>3</sup>

## OCENA FUNKCJONOWANIA UKŁADU RÓWNOWAGI KANDYDATÓW NA PILOTÓW WOJSKOWYCH

Jednym z wielu elementów określających predyspozycje kandydatów na pilotów wojskowych statków powietrznych jest ocena poprawności funkcjonowania ich systemu utrzymania równowagi, odpowiedzialnego (między innymi) za orientację przestrzenną w trakcie lotu. Podstawową wielkością kontrolowaną przez ten układ jest położenie środka masy ciała. W próbie quasi-statycznej punkt ten oscyluje wokół położenia równowagi. Ilościową informacją o tych oscylacjach jest trajektoria rzutu środka masy na płaszczyznę podparcia, którą można zarejestrować w badaniach posturograficznych, poprzedzonych wyznaczeniem położenia środka masy osoby badanej metodą dźwigni jednostronnej. Przebadano 58 kandydatów na pilotów samolotów odrzutowych, samolotów transportowych i śmigłowców (6 kobiet i 52 mężczyzn). Badane osoby to studenci Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie. Opierając się na przeprowadzonych pomiarach, dokonano oceny poprawności funkcjonowania ich układu równowagi, przez analizę średniej długości radialnej pozycji wektora określającego położenie rzutu środka masy na płaszczyznę platformy posturograficznej. Tangens kąta odchylenia środka masy, rozumiany jako stosunek średniej długości radialnej pozycji wektora do wysokości położenia środka masy, jednoznacznie różnicuje wyniki uzyskane przez poszczególnych badanych. Wskaźnik selektywności metody, zdefiniowany jako iloraz wzrostu wyników pomiaru do ich wartości średniej, dla omawianych danych ma wysoką wartość, wynoszącą 0,92. W testach brali udział podchorążowie, którzy uzyskali najwyższą kategorię zdrowia, a mimo to zaznaczyły się wyraźne różnice w predyspozycji do utrzymania stabilnej postawy ciała. Informacje zgromadzone w utworzonej bazie danych pozwalają na wskazanie osób o najwyższej zdolności do utrzymania równowagi statycznej.

**Słowa kluczowe:** posturografia, środek masy ciała, układ równowagi, platforma stabilograficzna

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji: Wiesław Masłowski, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, 08-521 Dęblin, ul. Dywizjonu 303 nr 35, tel.: 606266276, e-mail: w.maslowski@wsosp.pl.

<sup>2</sup> Tadeusz Opara, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Radom, e-mail: t.opara@uthrad.pl

<sup>3</sup> Michał Burek, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Dęblin, e-mail: m.burek@wsosp.pl

## 1. Wprowadzenie

Kandydaci na pilotów wojskowych przechodzą wiele testów kwalifikacyjnych. Jednym z wielu badań jest próba statyczna, pozwalająca na ocenę poprawności funkcjonowania ich systemu utrzymania równowagi. Układ ten jest odpowiedzialny między innymi za orientację przestrzenną w trakcie lotu. Jego działanie opiera się na informacjach uzyskiwanych z trzech torów czuciowych, którymi są: narząd wzroku, błędnik umożliwiający określenie położenia ciała w przestrzeni oraz proprioreceptory informujące o pozycji ciała [1, 2]. Układ równowagi umożliwia utrzymanie pionowej postawy ciała. Do podstawowych funkcji tego narządu należą [1-3]:

- odbieranie i integracja czucia ruchu i siły grawitacji,
- integracja odruchów związanych z położeniem środka masy ciała,
- utrzymanie obrazu na siatkówce oka podczas obserwacji obiektu będącego w ruchu.

Zdolność do utrzymania równowagi i orientacji w przestrzeni jest cechą osobniczą. Możliwość jej poprawy przez trening istnieje, ale jest ograniczona do kilkunastu procent. Ocenę tych predyspozycji umożliwia system testów sprawdzających. Zachowanie pionowej pozycji ciała polega na stałej kontroli wychwiał, sprowadzającej się do wykonywania ruchów korygujących. Istota utrzymania stabilnej postawy przez człowieka polega na ciągłym pobudzaniu i rozluźnianiu mięśni. Utrzymanie pionowej i wyprostowanej pozycji wymaga więc ciągłego wykonywania pracy izometrycznej [4-6].

Żyroskopami układu utrzymania równowagi w dowolnej postawie są błędniki. Czujnikami realizującymi komunikację z otoczeniem są oczy oraz proprioreceptory, potocznie określane jako receptory grawitacyjne. Utrzymanie pionowej postawy i nieruchomej sylwetki wymaga zatem ciągłej pracy układu sterowania, w którym małe wychwiania są stale korygowane przez układ mięśniowy. Istotę tego zagadnienia opisał profesor Władysław Kopaliński w książce pt. „Opowieści o rzeczach powszednich” [7]: „(...) *podczas gdy maszyna wykonuje pracę wtedy tylko, kiedy porusza nią jakaś siła, to mięśnie ludzkie wydatkują energię, gdy są w napięciu, nawet nieruchome. Jest to tzw. praca izometryczna. Człowiek stoi spokojnie (nieruchomo) przy pomocy skomplikowanego systemu ściskanych kości i napiętych mięśni. Dlatego samo stanie pochłania energię*”.

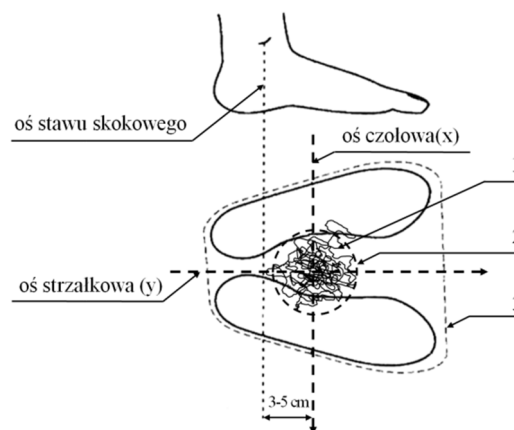
## 2. Istota posturografii

Zachowanie stabilnej sylwetki pionowej jest rezultatem ciągłego działania układu utrzymywania równowagi. Ilościowa ocena tego procesu jest realizowana w badaniach posturograficznych [3-6, 8-10]. Polegają one na rejestracji niewielkich ruchów środka masy ciała badanego. Bezpośredni pomiar tej wielkości jest złożonym zadaniem metrologicznym. Z tego powodu w badaniach stabilności postawy stojącej stosuje się miarę zastępczą. Jest nią położenie rzutu środka masy

na płaszczyźnie podparcia, określane jako środek nacisku stóp na płaszczyznę platformy posturograficznej [11]. Środek nacisku stóp na płaszczyznę podczas stania znajduje się wewnątrz obrysu stóp. Z punktu widzenia biomechaniki ruchu człowieka umiejętność stabilizacji pionowej pozycji polega na minimalizowaniu wychwień ciała (odchylenie „przód–tył” oraz „lewo–prawo”), tak aby rzut środka masy nie przemieszczał się poza granicę stabilności, wyznaczoną przez obwiednię powierzchni podparcia stóp (rys. 1.) [3, 8].

Rys. 1. Typowa trajektoria rzutu środka ciężkości człowieka (zdrowego) na płaszczyznę układu pomiarowego; 1 – trajektoria rzutu środka masy podczas swobodnego stania, 2 – obrys toru rzutu środka masy, 3 – powierzchnia podparcia

Fig. 1. Typical trajectory of a person's center of gravity projection in vertical position on the measurement system plane; 1 – trajectory of the center of mass projection when standing freely, 2 – outline of the center of mass projection line, 3 – envelope of the feet support area



Idea określenia położenia rzutu środka nacisku stóp polega na pomiarze sygnału od sił reakcji w punktach podparcia sztywnej płaszczyzny poziomej. Na platformie stoi człowiek, który usiłuje pozostać w całkowitym bezruchu, a jego stopy są ustawione w określonym miejscu (rys. 2.). W pierwszych wersjach posturografu stosowano mechaniczne ograniczniki położenia stóp [4-6]. Obecnie takich ograniczników już się nie stosuje.

Rys. 2. Określenie chwilowego położenia rzutu środka masy metodą posturograficzną

Fig. 2. Determination of the temporary position of the center of mass projection with the posturographic



Przetworniki siły są usytuowane w wierzchołkach dowolnej, symetrycznej figury geometrycznej. Zwykle jest to wielokąt foremny. Rzut środka masy przemieszcza się po powierzchni platformy. Kolejne położenia tego punktu są opisywane współrzędnymi  $x$  i  $y$ . W prostokątnym układzie współrzędnych:

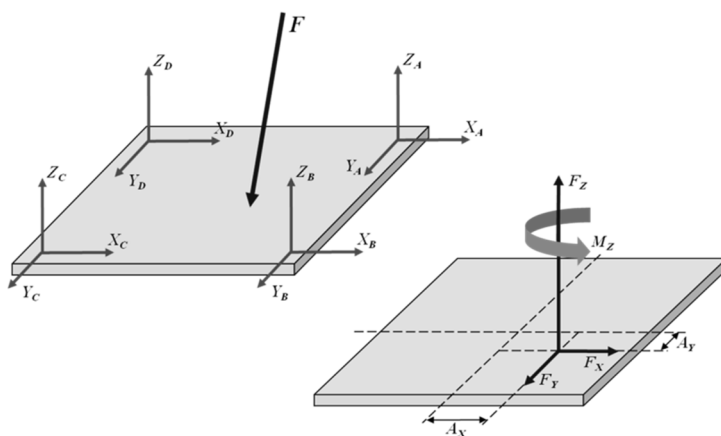
- kierunek  $x$  wyznacza oś poprzeczną (odchylenie „lewo–prawo”),
- kierunek  $y$  wyznacza oś strzałkową (odchylenie „przód–tył”).

Analiza współrzędnych rzutu środka masy ciała badanego człowieka pozwala:

- ocenić wpływ czynników powodujących zaburzenia równowagi (w raporcie międzynarodowego zespołu roboczego Kellogg z 1987 r. skatalogowano ponad sto przyczyn utraty równowagi. Wśród nich znaczną część stanowią czynniki o podłożu neurologicznym, powodujące zaburzenia biomechaniki ciała [1]),
- ocenić skuteczność układu utrzymania równowagi w różnych warunkach otoczenia,
- kontrolować proces zmian zdolności do utrzymania równowagi zachodzący w następstwie terapii lub treningu.

Ocenę funkcjonowania układu równowagi prowadzono przy użyciu platformy stabilograficznej AMTI AccuSway, natomiast do przetwarzania zarejestrowanych danych zastosowano program Balance Clinic.

Posturograf AccuSway umożliwia pomiar sił i momentów reakcji w czterech punktach podparcia. W każdym z czterech wierzchołków są umieszczone po trzy przetworniki Halla (rys. 3.). Sygnały z tych przetworników są rejestrowane, a następnie przetwarzane na wartości sił i momentów sił, które pozwalają na obliczenie składowych siły  $F(x,y)$  działającej w środku nacisku stóp na płaszczyznę posturografu [12].



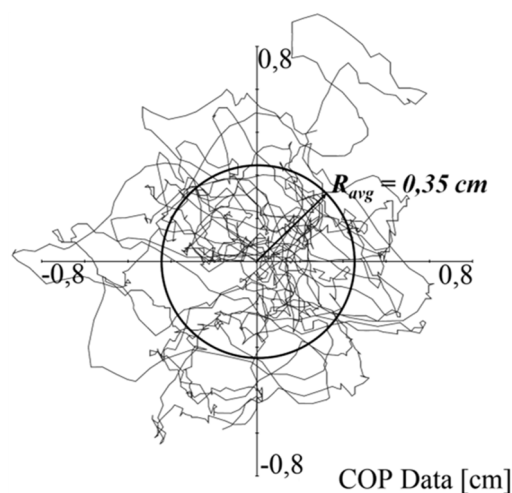
Rys. 3. Pomiar sił i momentów reakcji przez czujniki posturografu AccuSway

Fig. 3. Measurement of forces and moments of reaction by AccuSway posturograph sensors

Zastosowanie platformy stabilograficznej wraz z systemem rejestracji danych i oprogramowaniem do ich przetwarzania umożliwia obiektywną ocenę poprawności działania układu równowagi. Prowadzona analiza opiera się na danych z czujników, które pozwalają na określenie przemieszczenia środka nacisku stóp na powierzchnię podparcia. Przemieszczenie jest opisywane składowymi  $x$  i  $y$ . Do analizowanych parametrów przemieszczenia środka nacisku stóp na platformę należą między innymi [3, 9, 13]:

- minimalne i maksymalne przemieszczenie  $x$  i  $y$  od centroidu danych,
- długość drogi przebytej przez środek nacisku stóp,
- długość średniej radialnej pozycji wektora przemieszczenia,
- odchylenie standardowe,
- pole koła zawierającego 100% zbioru punktów danych,
- pole efektywne zawierające 66% zbioru punktów danych.

Przykładowy zapis z pomiarów stabilograficznych przedstawiono na rys. 4. Pokazuje on tor ruchu środka nacisku stóp na platformę. Badanie trwało 30 s, z częstotliwością próbkowania 50 sygnałów na sekundę. Oznacza to, że zarejestrowano 1500 punktów tworzących trajektorię przemieszczania się rzutu środka masy. Otrzymany zbiór punktów umożliwia wyznaczenie centroidu danych, który jest definiowany jako wartość średnia z położenia wszystkich zapisanych punktów. Przemieszczenia względem centroidu stanowią podstawę do obliczenia podstawowych parametrów zdefiniowanych zależnościami (1)-(4). Przybliżonym modelem układu równowagi człowieka może być wahadło odwrócone. Długość ramienia tego wahadła jest równa wysokości środka masy.



Rys. 4. Trajektoria rzutu środka nacisku stóp osoby badanej na powierzchnię platformy

Fig. 4. Trajectory of the center of pressure (COP) projection of the examined person's feet on the platform surface

W dalszej części pracy prowadzono analizę, opierając się na długości średniej radialnej pozycji wektora przemieszczenia  $R_{avg}$ . Jest ona wyznaczana na podstawie następujących zależności [3, 13]:

$$R_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (1)$$

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_{avg})^2 + (y_i - y_{avg})^2} \quad (2)$$

$$x_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

$$y_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4)$$

gdzie:  $x_i, y_i$  – chwilowe położenie środka nacisku stóp na platformę,  
 $n$  – liczba pomiarów w trakcie badania.

### 3. Ocena funkcjonowania układu utrzymania równowagi

Testom utrzymania równowagi na platformie stabilograficznej poddano 58 kandydatów na pilotów samolotów odrzutowych, samolotów transportowych i śmigłowców (6 kobiet i 52 mężczyzn) – studentów Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie. Wiek badanych to 20-28 lat. Badania posturograficzne były poprzedzone wyznaczeniem położenia środka masy ciała, prowadzonym metodą dźwigni jednostronnej (du Bois-Reymonda) [3, 9]. Wyniki tych pomiarów zestawiono w tab. 1. (kolumny D, E i F). Wysokość względna środka masy ciała  $h$  osoby badanej, przyjęta jako iloraz wysokości środka masy do jej wzrostu, dla całej badanej populacji waha się od 54,1 do 58,3% wzrostu.

Opierając się na przeprowadzonych pomiarach zmian położenia środka masy ciała w czasie, dokonano oceny funkcjonowania układu równowagi. Trajektorię utworzoną przez 1500 punktów pomiarowych zastąpiono okręgiem o średnicy  $R_{avg}$ , który umieszczony na wysokości środka masy  $h$  jest podstawą odwróconego stożka o wierzchołku znajdującym się w centroidzie danych na powierzchni platformy. Kąt tworzący tego stożka  $\alpha$  jest miarą pozwalającą ocenić zdolność badanego do utrzymania quasi-stałej postawy pionowej. Im wartość tego kąta jest mniejsza, tym wyższa jest zdolność badanego do utrzymania postawy pionowej. Średnie odchylenie kątowe  $\alpha$  wyznaczono na podstawie zależności:

$$\alpha = \arctg \frac{R_{avg}}{h} \quad (5)$$

gdzie:  $R_{avg}$  – średnia radialnej pozycji wektora położenia rzutu środka masy na płaszczyznę podparcia,

$h$  – wysokość środka masy ciała badanej osoby.

Tabela 1. Dane antropometryczne i wyniki pomiarów stabilograficznych kandydatów na pilotów

Table 1. Anthropometric data and results of stabilographic measurements of pilots candidates

A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	F	G	H
301	PST	M	178,5	75,5	101,5	0,67	0,0066	408	PŚ	M	188,0	105,0	109,6	0,98	0,0089
302	PST	M	179,0	84,5	101,4	0,68	0,0067	409	PŚ	M	167,5	71,7	97,1	0,50	0,0051
303	PST	M	177,0	78,5	99,9	0,48	0,0048	410	PŚ	M	188,5	94,0	107,1	0,58	0,0054
304	PST	M	191,5	90,9	108,6	2,05	0,0188	411	PŚ	M	172,5	74,8	97,1	0,48	0,0049
305	PŚ	M	179,5	88,8	101,3	0,78	0,0077	503	PS	M	184,0	87,80	104,5	0,76	0,0072
306	PŚ	M	179,5	75,7	101,4	0,35	0,0035	504	PS	M	181,0	87,00	102,7	0,49	0,0047
307	PŚ	M	180,0	88,3	102,3	0,46	0,0045	505	PST	K	161,5	63,25	88,7	0,75	0,0085
309	PŚ	M	176,5	69,8	98,3	1,23	0,0125	506	PS	M	170,0	72,40	97,5	0,86	0,0088
310	PŚ	M	173,5	66,4	100,3	0,34	0,0034	507	PST	M	182,0	89,50	104,7	0,89	0,0085
311	PŚ	M	182,0	73,4	101,9	0,86	0,0085	508	PS	M	178,5	75,60	100,8	0,76	0,0076
312	PS	M	185,5	85,2	105,9	0,60	0,0057	509	PS	M	183,5	81,55	103,9	0,80	0,0077
313	PS	K	162,5	58,6	89,9	0,67	0,0075	510	PST	M	184,0	88,60	106,9	0,75	0,0070
314	PŚ	M	168,0	62,9	94,1	0,54	0,0057	511	PS	M	175,0	72,40	101,2	0,59	0,0059
315	PŚ	M	174,5	66,4	99,1	0,42	0,0042	512	PST	M	180,0	79,85	104,7	0,55	0,0053
316	PŚ	M	177,0	67,3	100,4	0,75	0,0075	811	PS	M	175,0	71,90	99,3	0,53	0,0054
318	PS	M	171,5	76,9	96,7	0,46	0,0047	812	PS	M	182,0	77,50	105,0	0,49	0,0047
319	PŚ	K	161,0	52,9	89,7	0,52	0,0058	813	PS	M	175,0	81,25	100,0	0,76	0,0076
320	PŚ	M	184,0	110,0	104,9	0,77	0,0073	814	PS	M	180,5	77,40	103,7	0,54	0,0052
321	PŚ	M	188,5	72,9	105,0	0,75	0,0071	815	PS	M	172,5	65,90	99,7	0,48	0,0048
322	PŚ	M	175,5	66,0	101,8	0,51	0,0050	816	PS	M	181,0	82,05	104,0	0,67	0,0065
323	PŚ	K	158,0	59,4	85,9	0,42	0,0049	817	PS	M	185,0	89,05	104,9	0,69	0,0066
324	PŚ	M	181,5	77,1	103,0	0,58	0,0056	818	PS	M	185,0	92,75	105,6	0,54	0,0051
401	PŚ	M	186,0	95,8	107,2	0,71	0,0066	819	PS	K	166,5	56,66	95,9	0,73	0,0076
402	PŚ	M	174,0	72,6	97,9	0,42	0,0043	820	PS	M	172,0	70,15	98,2	0,60	0,0061
403	PŚ	M	181,5	76,8	104,0	0,50	0,0048	821	PS	M	177,0	77,30	100,8	0,55	0,0054
404	PŚ	M	177,5	72,7	102,8	0,65	0,0063	822	PS	M	176,0	84,25	100,3	0,65	0,0065
405	PŚ	K	166,5	56,4	90,0	0,70	0,0077	823	PS	M	168,0	64,70	97,1	0,52	0,0053
406	PŚ	M	180,0	81,9	103,2	0,75	0,0072	824	PS	M	172,0	69,00	99,3	0,57	0,0057
407	PŚ	M	179,0	82,7	102,6	0,45	0,0044	825	PS	M	181,0	72,70	105,2	0,56	0,0053

*A – numer badanego w bazie, B – specjalność (PST – pilot samolotu transportowego, PS – pilot samolotu, PŚ – pilot śmigłowca), C – płeć kandydata na pilota (K – kobieta, M – mężczyzna), D – wzrost kandydata na pilota [cm], E – masa ciała badanego [kg], F – wysokość środka masy [cm], G – średni promień  $R_{avg}$  [cm], H – kąt stożka średniego odchylenia  $\alpha = R_{avg}/h$  [rad]*

Dla bardzo małych wartości kąta  $\alpha$  (a mamy do czynienia z kątami, których średnia wartość jest mniejsza niż pół stopnia) można przyjąć przybliżenie:

$$\alpha = \arctg \frac{R_{avg}}{h} \approx \frac{R_{avg}}{h} \quad (6)$$

Wyniki obliczeń średniego kąta odchylenia środka masy  $\alpha$  od centroidu danych zestawiono w tab. 1. (kolumna H). Analiza średniej długości radialnej położenia rzutu środka masy odniesionej do jego wysokości nad powierzchnią podparcia pokazała, że kąt odchylenia  $\alpha$  różni się w sposób wyraźny dla poszczególnych badanych. W tabeli 2. przedstawiono wyniki osób, dla których kąt ten osiągnął najmniejsze i największe wartości.

Tabela 2. Wykaz osób o małym i dużym kącie odchylenia sylwetki od pionu

Table 2. List of people with a small and large angle of deviation from the vertical

Mały kąt odchylenia			Duży kąt odchylenia		
numer badanego	specjalność	średni kąt odchylenia [rad]	numer badanego	specjalność	średni kąt odchylenia [rad]
310	PŚ	0,00337	305	PŚ	0,00769
306	PŚ	0,00349	509	PS	0,00769
315	PŚ	0,00419	405	PŚ	0,00774
402	PŚ	0,00430	505	PST	0,00847
407	PŚ	0,00439	311	PŚ	0,00847
307	PŚ	0,00451	507	PST	0,00852
824	PS	0,00460	506	PS	0,00881
812	PS	0,00471	408	PŚ	0,00893
318	PS	0,00472	309	PŚ	0,01254
504	PS	0,00474	304	PST	0,01883

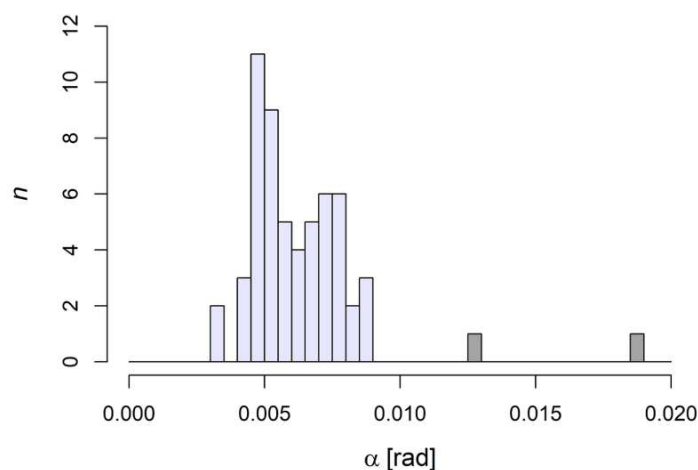
Najwyższą zdolność do utrzymania stabilnej postawy ( $\alpha_{\min} = 0,00337$  rad) wykazał badany o numerze 310 (tab. 2.). Dla kolejnych osób kąt nachylenia  $\alpha$  jest coraz większy, co oznacza spadek tej zdolności – wychwiania są większe. Największą wartość tego kąta ( $\alpha_{\max} = 0,01883$  rad) uzyskała osoba, której przypisano numer 304 w bazie danych. Maksymalny kąt odchylenia jest ponadpięciokrotnie większy od kąta minimalnego. Ze względu na dużą różnicę wychwian badanego o numerze 304 od wartości średniej dla całej grupy test został przeprowadzony ponownie. Powtórne badanie potwierdziło jednak wcześniejsze obserwacje.

Kąty odchylenia środka masy osoby badanej od położenia neutralnego są małe, jednak ich wartości, określone dla uczestników testu utrzymania równowagi statycznej, różnią się znacznie, co w sposób ilościowy pokazuje wskaźnik selektywności metody  $S$ , określony jako iloraz rozstępu wyników pomiaru do ich wartości średniej:

$$S = \frac{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (7)$$



W badanej grupie można wskazać osoby o dużym, średnim i małym kącie odchylenia sylwetki od pionu. Są to podchorążowie, którzy uzyskali najwyższą kategorię zdrowia. Mimo to są widoczne wyraźne różnice w ich predyspozycji do utrzymania stabilnej postawy ciała, a wskaźnik selektywności jest wysoki, gdyż  $S = 0,92$  (w obliczeniach pominięto wyniki o wartościach odstających, uzyskane przez badanych o numerach 309 i 304). Na rysunku 5. przedstawiono rozkład statystyczny wartości kąta  $\alpha$  dla 58 kandydatów na pilotów wojskowych. Większość pomiarów jest skoncentrowana w przedziale 0,00337-0,00893 rad.



Rys. 5. Rozkład statystyczny wartości kąta  $\alpha$  dla 58 kandydatów na pilotów wojskowych

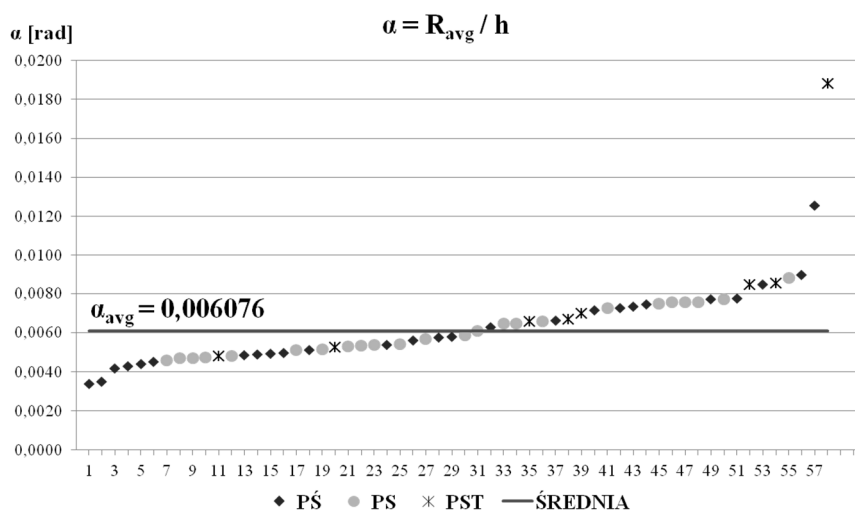
Fig. 5. Statistical distribution of  $\alpha$  values for 58 candidates for military pilots

Dwa wyniki mające znacznie większą wartość (0,01254 i 0,01883 rad) zostały uznane za obserwacje odstające i pominięte przy obliczaniu parametrów tego rozkładu. Średnia arytmetyczna z 56 punktów wynosi  $\alpha_{avg} = 0,00607$  rad, natomiast mediana  $\alpha_{med} = 0,00576$  rad. W rozkładzie tym pojawiły się dwa lokalne ekstrema:  $\alpha_{mod1} = 0,00475$  i  $\alpha_{mod2} = 0,00750$ , przy czym pierwsze z nich (11 wyników) ma charakter dominujący.

#### 4. Podsumowanie

Wsparciem w procesie wyboru kandydatów do szkolenia w zakresie pilotażu samolotów odrzutowych mogą być badania posturograficzne, które pozwalają na ilościową ocenę indywidualnych predyspozycji do zachowania równowagi w warunkach quasi-statycznych. Jest to cecha osobnicza, którą można poprawić tylko w ograniczonym zakresie, przez odpowiedni trening i późniejsze doświadczenie lotnicze. Na rysunku 6. przedstawiono wartości kąta  $\alpha$  wyznaczone dla 58

kandydatów na pilotów: 26 zakwalifikowanych do szkolenia na śmigłowcach (PŚ), 24 – do szkolenia na samolotach wysokomanewrowych (PS) i 8 – do szkolenia na samolotach transportowych (PST). Z tej grupy można wyodrębnić 31 osób (15 PŚ, 14 PS i 2 PST), które mają najwyższą zdolność do utrzymania równowagi statycznej, gdyż ich kąty wychwiał  $\alpha_i$  są mniejsze od wartości średniej  $\alpha_{avg} = 0,006$ . Badania posturograficzne mają charakter komplementarny wobec obecnie stosowanych metod. Należy także podkreślić, że opisany test sprawdzający jest relatywnie tani i realizowany w ciągu kilku minut. Może być traktowany jako dodatkowe kryterium (o charakterze ilościowym) w złożonym procesie wyboru kandydatów do szkolenia z zakresu najtrudniejszego rodzaju pilotażu, jakim jest lotnictwo myśliwskie i szturmowe.



Rys. 6. Porównanie średniego kąta odchylenia dla badanej grupy kandydatów na pilotów

Fig. 6. Comparison of the average deviation angle for the examined group

## Literatura

- [1] Błaszczak J.: Biomechanika kliniczna, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2004.
- [2] Bober T., Zawadzki J.: Biomechanika układu ruchu człowieka, Wydawnictwo BK, Wrocław 2001.
- [3] Masłowski W., Opara T., Burek M.: Posturographic tests of candidates for military pilots, *Trans. Institute Aviation*, 247 (2017) 45-56.
- [4] Opara T., Preibisch P.: Stabilografia komputerowa jako narzędzie diagnostyczne dla wybranych przypadków schorzeń kręgosłupa. IV Konf. Komputerowe Systemy Wspomagania Nauki, Przemysłu i Transportu TRANSCOMP, Zakopane 2000, s. 673-680.

- [5] Opara T., Preibisch P.: Computerized stabilography as diagnostic tool for selected cases of curvature of the backbone, VI<sup>th</sup> Int. Conf. CADSM 2001, Publishing House of Lviv Polytechnic National University, 2001, pp. 265-268.
- [6] Opara T., Preibisch P.: Określenie parametrów charakteryzujących statokinetyczną równowagę człowieka, V Szkoła – Konf. Metrologia Wspomagana Komputerowo MWK'2001, sekcja VI – Inne Zastosowania Metrologii, t. 2, s. 335-342.
- [7] Kopaliński W.: Opowieści o rzeczach powszednich, Oficyna Wydawnicza Rytm, Warszawa 2016.
- [8] Golema M.: Charakterystyka procesu utrzymania równowagi ciała człowieka w obrazie stabilograficznym, Wydawnictwo AWF, Wrocław 2002.
- [9] Masłowski W., Opara T., Burek M.: Posturographic examination of candidates for military pilots, I Kongres Lotniczy i Kosmonautyczny, Rzeszów 2016, s. 73-75.
- [10] Opara T., Preibisch P., Iwanejko L.: Determination of synthetic parameters characterizing the human balance in static conditions, TCSET'2002 Proceedings, Publishing House of Lviv Polytechnic, p. 315-319.
- [11] Winter D.A.: Human balance and posture control during standing and walking, Gait Posture, 3 (1995) 193-214.
- [12] AccuSway<sup>Plus</sup>. User's manual and Install Guide, AMTI, Watertown 2005.
- [13] Balance Clinic Manual, AMTI, Watertown 2014.

## ASSESSMENT OF THE FUNCTIONING OF BALANCE SYSTEMS OF CANDIDATES FOR MILITARY PILOTS

### Summary

One of many elements determining the predispositions of candidates for military pilots is the assessment of correct functioning of their balance system, which is responsible (among other things) for spatial orientation during the flight. The basic parameter controlled by this system is the location of the body mass center. In a quasi-static test, this point oscillates around the equilibrium position. Quantitative information about these oscillations is the trajectory of the projection of the mass center on the support plane, which can be recorded in posturographic studies. Fifty-eight candidates for military pilots (6 women and 52 men) were examined. The people who took part in the study are students of the Air Force Academy in Dęblin. Based on the measurements carried out, the correctness of the functioning of their balance system was evaluated by analyzing the average length of the radial position of the vector defining the position of the projection of the center of mass on the plane of the posturographic platform. The tangent of the center of mass angle deflection, understood as the ratio of the average length of the radial position of the vector to the height of the mass center, uniquely differentiates the results obtained by the individual subjects.

The tests were taken by cadets who obtained the highest category of health, and yet there are clear differences in the predisposition to maintain a stable posture. The information gathered in the created database allows to indicate people with the highest ability to maintain static balance.

**Keywords:** posturography, center of body mass, balance system, stabilographic platform

DOI: 10.7862/rm.2018.29

*Przesłano do redakcji: 23.04.2018*

*Przyjęto do druku: 20.05.2018*

