

Ocena czynności układu równowagi u pilotów poddawanych przyspieszeniom za pomocą statokinezyometrii

Statokinesiometric assessment of equilibrium system function in military pilots subjected to angular accelerations

Wiesław Kluch, Jurek Olszewski

Uniwersytet Medyczny, Łódź

Streszczenie

Ocena czynności układu równowagi pilota wojskowego jest bardzo ważnym elementem badań lotniczo-lekarskich. Jedną z metod oceny stanu czynnościowego układu równowagi jest statokinezyometria. Materiał badań stanowiło 18 zdrowych mężczyzn – ochotników pilotów, w wieku 22–47 lat (średnio $31 \pm 7,78$), o zróżnicowanym poziomie wyszkolenia lotniczego (nalot ogólny 240–4300h, średnio $1408,13 \pm 1054$ h). Wszyscy badani posiadali aktualne orzeczenie komisji lotniczo-lekarskiej o zdolności do służby w powietrzu. Każdy badany był trzykrotnie eksponowany na działanie przyspieszeń w symulatorze orientacji przestrzennej GYRO-IPT, a następnie poddany testom statokinezyometrycznym w wariantach: „oczy otwarte”, „oczy zamknięte” i z „biologicznym sprzężeniem zwrotnym”. Analizie poddano parametry wykazujące istotność statystyczną. Na podstawie analizy zarejestrowanych parametrów statokinezyometrycznych stwierdzono indywidualne zróżnicowanie w pobudliwości narządu przedsionkowego oraz, że pobudliwość narządu przedsionkowego na przyspieszenia i możliwości jego adaptacji do bodźców, podczas wykonywania działań lotniczych w warunkach zbliżonych do realnego lotu, jest właściwością osobniczo zmienną. Ta właściwość może decydować o przydatności danej osoby do wykonywania określonych zadań lotniczych. Metodyka badań zaproponowana w pracy w sposób obiektywny i trafny pozwoliła na ocenę tych cech. Uzyskiwane za jej pomocą wyniki mogą być obiektywnym dopełnieniem do oceny skuteczności i przebiegu treningu personelu latającego w zakresie orientacji przestrzennej w symulatorze lotniczym GIRO IPT.

Słowa kluczowe: narząd przedsionkowy, statokinezyometria, dezorientacja przestrzenna.

Summary

Evaluation of military flight personnel is of paramount importance in categories both flight safety and combat effectiveness. Assessment of equilibrium system in military pilots is very important part of fitness to fly evaluation. One of the assessment methods is statokinesiometry which can be used complementary to standard ENT evaluation methods. 18 instructor pilots volunteered to take part in experiment. Age of participants was in range 22 to 47 years (mean $31 \pm 7,78$), flight experience (240–4300 flying hours, mean $1408,13 \pm 1054$ h). All participants had current fitness to fly certificate. Each of participants underwent three expositions on GYRO Instrumental Physiological Trainer and consecutive statokinesiometric assessment in three conditions: „eye open”, „eye closed” and „feedback”. Statistic analysis was conducted for the following parameters. Best results in terms of center of gravity stability were obtained in „feedback” conditions, where conscious mechanisms of posture stability overtook vestibular stimulation. „Eye closed” condition, where posture stability is maintained solely due to vestibular and proprioceptive control showed most post-exposition disturbances. Analysis of recorded parameters revealed individual variations in vestibular organ sensitivity. Some of participants revealed short term decrease with consecutive increase in body stability. Capacity of vestibular system to cope an adapt to accelerations evoked in conditions similar to real flight is considered as important factor determining spatial disorientation susceptibility. Therefore it can be used as determinant whether certain individual is capable to perform military flight duties. Proposed method allows for objective and precise assessment of these qualities. Results obtained can be used as an objective complementation to flight personnel training efficiency assessment with use of aviation simulators.

Key words: vestibular system, statokinesiometry, spatial disorientation.

Wprowadzenie

W czasie lotu, pilot wojskowy jest narażony na działanie przyspieszeń o różnym charakterze pod względem ich wielkości, jak i czasu i kierunku działania [Knaufman (i in.) 2001]. Efektem działania przyspieszeń jest występowanie niepożądanych reakcji psychofizjologicznych (iluzji przedsionkowych, czy wzrokowych), które mogą stać się powodem utraty orientacji położenia przestrzennego ciała (samolotu) w odniesieniu do pionu grawitacyjnego Ziemi, a następnie pro-

wadzić do dezorientacji przestrzennej [Guedry (i in.) 1992]. Częstość i nasilenie ich występowania, zależy przede wszystkim od typu samolotu, na którym wykonywany jest lot, doświadczenia zawodowego pilota oraz stopnia trudności wykonywanego zadania [Hosman (i in.) 1999]. Piloci samolotów wysokomanewrowych typu F-16, Grippen, Mirage-2000, Mig-29 i podobnych, są najbardziej narażeni na działanie przedłużonych przyspieszeń o dużej wartości, działających w wielu osiach (duża siła ciągu i sterowanie komputerowe

pozwalają na wykonywanie manewrów nawet na pozakrzytycznych kątach natarcia] [Pancrantz (i in.) 1994].

Rola narządu przedsionkowego w zachowaniu równowagi

Układ równowagi to złożony mechanizm zmysłowo-od ruchowy odpowiadający za kontrolę postawy naszego ciała w ruchu (równowaga kinetyczna), jak i w spoczynku (równowaga statyczna).

Zachowanie równowagi fizycznej i prawidłowej orientacji przestrzennej w czasie działania zmiennych przyspieszeń kątowych i liniowych (w tym sił grawitacji) zależy od harmonijnego współdziałania: narządu przedsionkowego, narządu wzroku i czucia proprioceptywnego. Wymienione wyżej narządy zmysłów, posiadają liczne połączenia nerwowe z ośrodkowym układem nerwowym (OUN), tj.: z mózdzkiem, tworem siatkowatym i korą mózgową tworzącymi *system równowagi*. Narząd przedsionkowy uczestniczy w trzech odrębnych funkcjach: orientacji w przestrzeni, ruchach gałek ocznych i regulacji równowagi postawy ciała.

Badania w locie wykazały [Guedry (i in.) 1992], że piloci z wyłączonym torem wzrokowym, nie są w stanie konsekwentnie odczuwać przechylenia (na bok – prawo – lewo) i pochylenia (do przodu) samolotu, jeżeli wartość przyspieszenia kąтового jest rzędu $1^\circ/s^2$ lub mniejsza, a dopiero przy prędkości $2^\circ/s^2$ i większej. W przypadku, gdy pochyłaniu samolotu towarzyszy kompensujące ustawianie mocy silników w celu utrzymania siły przeciążenia (zawsze skierowanej do podłogi) samolotu, próg dla pochylenia wzrasta powyżej $2,0^\circ/s^2$.

Statokinezyjometria

Statokinezyjometria jest metodą diagnostyczną coraz powszechniej stosowaną w badaniach fizjologicznych i diagnostyce klinicznej [Coogler 1996]. Służy do oceny ruchów wyrównawczych wykonywanych w postawie wyprostnej, związanych z odruchami przedsionkowo-rdzeniowymi. Przemieszczenie się środka ciężkości w postawie wyprostnej w czasie i przestrzeni poszczególnych części ciała (głowy, tułowia, kończyn górnych i dolnych), zależy od powstającej różnicy napięć w poszczególnych grupach mięśni, odpowiedzialnych za zachowanie pionowej pozycji ciała. Metoda ta umożliwia ocenę stanu równowagi ciała z zastosowaniem testów statycznych i dynamicznych [Kubiczkowa (i in.) 1999]. Charakteryzuje się prostotą wykonania oraz istniejącymi algorytmami oceny ilościowej.

W Polsce początki badań statokinezyjometrycznych to lata siedemdziesiąte. Zespół pod kierownictwem Janusza Kubiczkowej, kierownika Kliniki Otolaryngologicznej Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej (WIML) zainicjował wykonanie prototypowej płyty posturograficznej i opracował konieczne do badań testy [Kubiczkowa 1998]. Wieloletnie badania dotyczyły wpływu przyspieszeń, niedotlenienia, leków, alkoholu oraz zmian chorobowych na narząd przedsionkowy i były przydatne w diagnostyce klinicznej i orzecznictwie lotniczo-lekarskim [Kubiczkowa 1975].

Aktywności ruchowej człowieka towarzyszą dwa równoległe działające mechanizmy kontroli, tj. reakcje posturalne – utrzymanie środka ciężkości wewnątrz pola podparcia i mechanizmy kontroli ruchu celowego związanego z przemiesz-

czaniem ciała. Każda aktywność ruchowa zawiera kombinację tych mechanizmów kontrolnych, a ich wyodrębnienie jest trudne, ponieważ w czasie ruchu biorą udział te same grupy mięśni stabilizujących postawę [Błaszczak 1993].

W warunkach klinicznych przeprowadza się testy statyczne i dynamiczne w różnych modyfikacjach (przy oczach otwartych lub zamkniętych, czy z biologicznym sprzężeniem zwrotnym), co poszerza możliwości diagnostyczno-różnicowe w ocenie narządu przedsionkowego [Silvestre (i in.) 1996]. W testach statycznych badany stojąc na nieruchomej platformie wywiera stopami nacisk na podłoże. Czujniki umieszczone w narożnikach platformy rejestrują przemieszczanie się środka ciężkości w osi strzałkowej i poprzecznej. W testach dynamicznych dodatkowo czynniki, jak ruch platformy (przód-tył, ruch obrotowy), czy otoczenia badanego, wpływające destabilizująco na zachowanie prawidłowej postawy, decydują o czułości badania.

Na podstawie badań statokinezyjometrycznych przeprowadzonych na grupie pilotów po wcześniejszej ekspozycji w symulatorze i wirówce przeciążeniowej, stwierdzono rozbieżności [Kubiczkowa 1975]. W zależności od wielkości przyspieszenia, czasu jego działania i zastosowanego programu, zapisy stabilogramów u badanych różniły się pod kątem reakcji przedsionkowo-okoruchowych i przedsionkowo-rdzeniowych. Nie stwierdzono korelacji między ocenianymi parametrami, a tolerancją na przyspieszenia. W ocenie odruchu przedsionkowo-rdzeniowego badanie statokinezyjometryczne uzupełniane było zapisem elektronystagmograficznym [Kubiczkowa (i in.) 1990]. Stwierdzono, że wywołany konflikt sensoryczny w locie realnym różni się od wywołanego w czasie lotu symulowanego, jednak odczucia subiektywne pilota są porównywalne. Poza tym istnieje znacząca korelacja między zaburzeniami orientacji przestrzennej, a związaną z nią niestabilnością postawy po treningu symulatorowym. Proponuje się wykonywanie pomiarów niezborności w czasie wywoływania tego zjawiska na symulatorze lotniczym [Kennedy (i in.) 1993].

Z testów statokinezyjometrycznych przeprowadzonych na pilotach, rozbieżności w uzyskanych wynikach zależały od doświadczenia zawodowego oraz typu samolotu na którym wykonywał loty. Większą stabilność postawy stwierdzono u pilotów samolotów wysokomanewrowych, mniejszą u pilotów śmigłowców [Kohen-Raz (i in.) 1994]. Wyniki testów statokinezyjometrycznych i prób przedsionkowych nie zawsze korelują ze sobą. U zdrowej osoby mogą się różnić. Wpływają na to takie czynniki, jak: stres, zmęczenie, niedojrzałość emocjonalna i in. Brak ustalonych poglądów co do wpływu wieku, płci, wzrostu, czy masy ciała na zachowanie równowagi. Większości autorów w swoich badaniach analizuje jedynie wpływ wieku na układ równowagi [Matherson (i in.) 1999]. Nie pomniejsza to jednak wartości testów statokinezyjometrycznych jako obiektywnej, powtarzalnej metody oceny kontroli układu równowagi. W medycynie lotniczej do oceny treningu symulatorowego, czy habituacji, a także stopnia pobudzenia narządu przedsionkowego na działanie przyspieszeń wykonywane są testy dynamiczne. Wykorzystanie testów do badań przesiewowych kandydatów do lotnictwa, czy selekcji pilotów przy zmianie typu samolotu może być zasadne, choć jednorazowa ocena wykazująca nieprawidłowości nie jest podstawą do dyskwalifikacji osoby badanej [Kubiczkowa 1975].

Celem pracy jest:

1. Ocena czynności układu równowagi u pilotów poddawanych działaniu przyspieszeń w symulatorze lotniczym GYRO IPT, w warunkach zbliżonych do realnego lotu;
2. Stwierdzenie, czy ocena czynności układu równowagi będzie przydatna do określenia skuteczności treningu i okresu wstrzymania od lotów;
3. Ocena czynności układu równowagi po powtarzanych ekspozycjach.

Materiał i metody

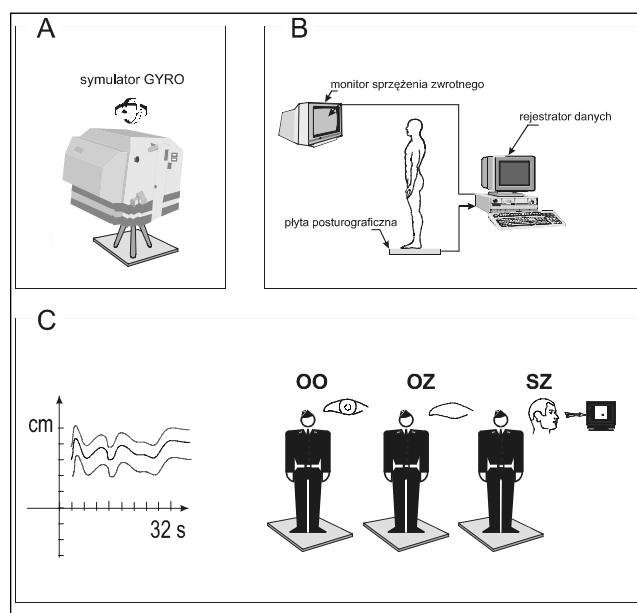
Badania przeprowadzono z udziałem 18 zdrowych mężczyzn – ochotników pilotów, w wieku 22–47 lat (średnio $31 \pm 7,78$), o zróżnicowanym poziomie wyszkolenia lotniczego (nalot ogólny 240–4300h, średnio $1408,13 \pm 1054$ h). Wszyscy badani posiadali aktualne orzeczenia o zdolności do służby w powietrzu wydane przez komisję lotniczo-lekarską. Badani w okresie ostatnich kilku dni nie przyjmowali żadnych środków farmakologicznych. Wszystkie badania przeprowadzono po przespanej nocy i o tej samej porze dnia (w godzinach 9.00–16.00). Każda osoba była poddawana trzykrotnie ekspozycjom na działanie przyspieszeń w symulatorze orientacji przestrzennej GYRO-IPT w WIML. Pojedyncze ekspozycje były przeprowadzane w odstępach 4–7 dniowych. Były one zgodne z procedurą opisaną w tymczasowej instrukcji: „Program praktycznego szkolenia lotniczo-lekarskiego dla kandydatów na pilotów samolotów wysokomanewrowych” zatwierdzonej przez Szefa Szkolenia Lotniczego Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej. Każda ekspozycja była identyczna i polegała na symulacji ustalonych (według właściwej praktyki lotniczej) profilów lotu, w których dochodzi do pobudzenia narządu przedsionkowego: „korkociągu śmierci” (*graveyard spin*), „spirali śmierci” (*graveyard spiral*) oraz poddawania badanych działaniu przyspieszeń kątowych wywołanych profilem lotu w połączeniu z określonymi ruchami głową (przyspieszenia Coriolisa). Pod względem lotniczym próby były wykonane z parametrami lotu właściwymi dla samolotu TS 11 „Iskra”, na którym wykonuje regularnie loty 15 z 18 badanych pilotów. Environmental Tectonics Corporation (ETC) [40], tj. $0,2-5^\circ/s^2$, w zależności od profilu symulowanego lotu. Maksymalna wartość przyspieszenia kąтового wynosiła $4,25^\circ/s^2$, a czas działania 115 sekund. Łączny czas pojedynczej ekspozycji wynosił około 10 minut. Przed rozpoczęciem i bezpośrednio po zakończeniu każdej ekspozycji symulatorowej przeprowadzono badanie statokinezyometryczne. Powtarzalność stopnia pobudzenia narządu przedsionkowego wywołanego podczas wyżej opisanych ekspozycji w GYRO-IPT oceniano na podstawie zapisu okulograficznego, a czynność układu równowagi przy pomocy statycznych testów statokinezyometrycznych.

Na rycinie 1 przedstawiono graficznie schemat przeprowadzonych badań, gdzie: A – ekspozycja w symulatorze GYRO-IPT; B – stanowisko badawcze (statokinezyometr); C – rejestracja testów statokinezyometrycznych (OO – oczy otwarte, OZ – oczy zamknięte, SZ – biologiczne sprzężenie zwrotne).

Na osi czasu zaznaczono odcinki po jakich wykonywano kolejne testy posturograficzne (0 – test przed ekspozycją, 0' – test zaraz po zakończeniu ekspozycji, 1 – 6 – kolejne testy w odstępach czasu co 30min.).

Statyczne testy statokinezyometryczne były przeprowadzone w trzech wariantach:

- a) „oczy otwarte” – badany stojąc na płycie patrzył na monitor;
- b) „oczy zamknięte” – badany stojąc na płycie zamykał oczy;
- c) z „biologicznym sprzężeniem zwrotnym” – badany stojąc na płycie na komendę kierował wzrok na umieszczony w odległości 1,5 metra monitor zawieszony na wysokości jego oczu. Na monitorze badanego na środku ekranu był wyświetlany stabilny kwadrat o boku 1 cm oraz w centrum kwadratu plamka obrazująca przemieszczenia środka ciężkości ciała badanego (ryc. 1b). Położenie plamki było sterowane sygnałem z płyty posturograficznej. Zadaniem badanego było utrzymanie plamki w centrum kwadratu.



Ryc. 1. Schemat badania

W czasie badania rejestrowano stabilogramy w płaszczyźnie strzałkowej (przód-tył) oraz w czołowej (lewo-prawo) przez okres 32 sekund przy oczach otwartych i 32 sekundy przy oczach zamkniętych (po zakończeniu pierwszego testu polecano badanemu zamknąć oczy). Po kolejnych 32 sekundach wykonywano test z „biologicznym sprzężeniem zwrotnym”.

Przeanalizowano następujące parametry wykazujące istotność statystyczną dla testów: „oczy otwarte – OO” i „oczy zamknięte – OZ”:

- sX – (odchylenie standardowe sygnału X(t), tj. rzutu środka ciężkości w osi prawo-lewo);
- sY – (odchylenie standardowe sygnału Y(t), tj. rzutu środka ciężkości w osi przód-tył);
- S – (pole powierzchni rozwinętej);
- mL – (średnia długości drogi z próbki na próbce);
- sL – (odchylenie standardowe średniej długości całkowitej);
- sR – (odchylenie standardowe promienia);
- mR – (średni promień wychylenia).

Wyniki i dyskusja

Metody statystyczne zastosowane w pracy różnią się od powszechnie stosowanych w badaniach statokinezyometrycznych. W dotychczas przeprowadzonych badaniach oceniano reakcje narządów przedsionkowych pod wpływem takich czynników, jak: alkohol, leki, przeciążenia, niedotlenienie [Gill (i in.) 2000; Stablewski 1999].

Podstawowa metoda analityczna użyta w niniejszej pracy, czyli analiza wariancji w porównaniu z ogólnie stosowanymi metodami jest dużo bardziej pracochłonna i wymaga znacznie staranniejszego przygotowania danych pomiarowych do obróbki. Jednakże, zwłaszcza w odniesieniu do badań populacyjnych, daje ona znacznie precyzyjniejsze wyniki, których wiarygodność statystyczna jest o wiele wyższa w porównaniu z np. analizą wartości średnich. Średnie uzyskane z obliczeń statystycznych, aczkolwiek pomocne przy analizie większych grup, to przecież mogą zacięrać typową dla poszczególnych zaburzeń jakość uzyskanych wyników.

Ocena procesów kontroli utrzymania stabilnej postawy ciała u ludzi, u których doszło do pobudzenia narządu przedsionkowego była przedmiotem wielu badań [Black 2001; Coogler 1996; Kubiczkowa 1975; Silvestre (i in.) 1996]. Uzyskanie pełnej informacji, zarówno o komponentach czuciowej, jak i motorycznej systemu utrzymania równowagi, pozwala na diagnostykę stanu tego układu po zadziałaniu bodźca pobudzającego [Black 1994]. Jeżeli bodźcem pobudzającym jest działanie przyspieszeń, wyzwalanych podczas symulacji odzwierciedlających elementy realnego lotu, interesującym jest zachowanie się systemu równowagi po zakończeniu ekspozycji [Vallejo (i in.) 2002]. Ocena taka, z jednej strony służy określeniu stopnia doznanego pobudzenia, z drugiej, dotyczy przebiegu ustępowania pobudzenia (restytucji) i może świadczyć o indywidualnej pobudliwości narządu przedsionkowego u konkretnego badanego. Przeprowadzone badania statokinezyometryczne pozwoliły w sposób obiektywny ocenić wielkość parametrów wpływających na stabilność postawy. Zapisy krzywych (stabilogramy), obrazujące mimowolne ruchy osoby badanej w postawie wyprostnej, dostarczyły szereg danych liczbowych, pozwalających na obliczenie takich wartości, jak wielkość amplitudy i częstotliwość wychyleń. Określają one pozycję osi ciężkości ciała w stosunku do środka geometrycznego pola oraz prędkość z jaką badany koordynuje ruchy. Wartość tych danych podkreśla możliwość rozdzielenia ich i śledzenia oddzielnie na osi X i Y [Kubiczkowa 1975].

Zaproszenie do udziału w badaniach doświadczonych pilotów – instruktorów miało dwa podstawowe cele. Po pierwsze, chodziło o uzyskanie grupy reprezentatywnej dla populacji, która będzie odbywać trening z dezorientacji przestrzennej na symulatorze lotniczym GYRO-IPT. Drugim powodem takiego właśnie doboru osób badanych było to, że posiadają oni pewien wstępny poziom habituacji narządów przedsionkowych do bodźców ruchowych, co jest związane z wykonywaniem przez nich dużej ilości lotów. Ponieważ restytucja, której badanie było celem tej pracy, zawiera w sobie niewątpliwie pewną komponentę habituacyjną, istotnym było prowadzenie badań na osobach, które mają wyższy poziom habituacji od przeciętnej populacji. Pod tym właśnie kątem analizowano uzyskane dane eksperymentalne, zarejestrowane w testach statokinezyometrycznych. Z przyjętego doboru grupy badanych wynikają również zastosowane

metody statystycznej oceny wyników. Zastosowana metoda pozwoliła przybliżyć rozwiązanie mało znanych zagadnień wielkości wychyleń w pozycji pionowej, ich intensywności i szybkości powrotu do stanu wyjściowego, po ekspozycji w symulatorze lotniczym GYRO – IPT.

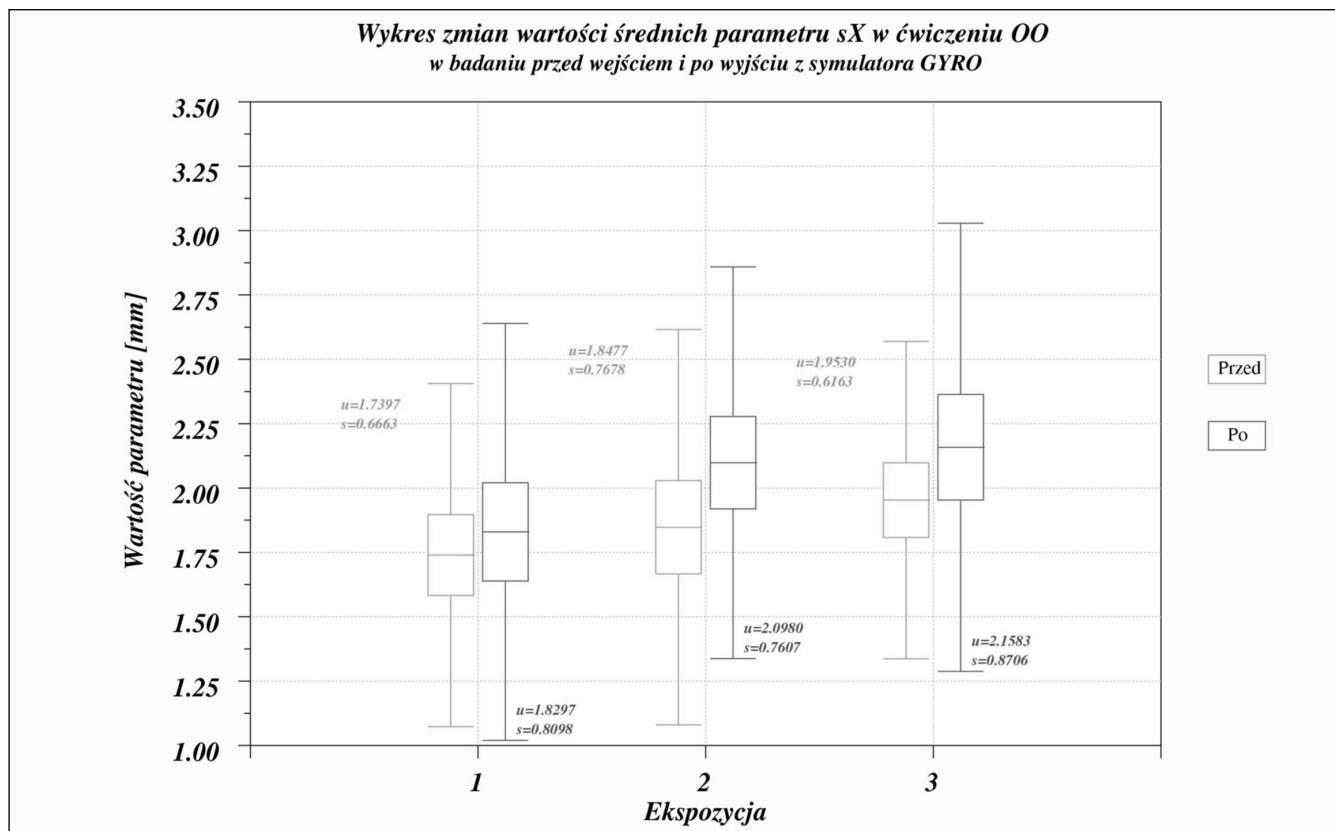
Restytucja narządów przedsionkowych może mieć różny przebieg i u części szkolenych trwa dostatecznie długo, by obniżając się, po pewnym czasie spowodować ponowny wzrost pobudzenia. Ze względu na obecność tego „przetwałętego efektu” przyjęło się wstrzymywać pilotów od realnych lotów przez określony czas [STANAG 1996]. Ocena statokinezyometryczna po programach treningowych z zakresu orientacji przestrzennej, zwłaszcza kandydatów i pilotów rozpoczynających szkolenie lotnicze, może pozwolić na diagnozowanie zaburzeń spowodowanych oddziaływaniem przyspieszeń kątowych i liniowych, pozwalając oceniać zdolności adaptacji do konfliktowych bodźców środowiska [Byrne 2002]. Doświadczeni piloci, doznając w czasie programu treningowego w symulatorze lotniczym GYRO-IPT subiektywnych wrażeń dezorientacji przestrzennej, modyfikowanych wrazeniami wzrokowymi i pobudzeniem narządu przedsionkowego, mogą też wykazywać różnice indywidualne w zdolności do utrzymania stabilnej postawy ciała, po zakończeniu ekspozycji, a ewentualne zaburzenia postawy mogą mieć wydłużony przebieg (w czasie).

W przedstawionej pracy badanie statokinezyometryczne przed ekspozycją w symulatorze lotniczym GYRO-IPT służyło wykluczeniu zaburzeń postawy ciała, uprzedniego działania używek, przeciążeń i innych czynników środowiskowych, a ich wyniki stanowiły wartość wyjściową, do której w dalszych pomiarach odnoszono wyniki

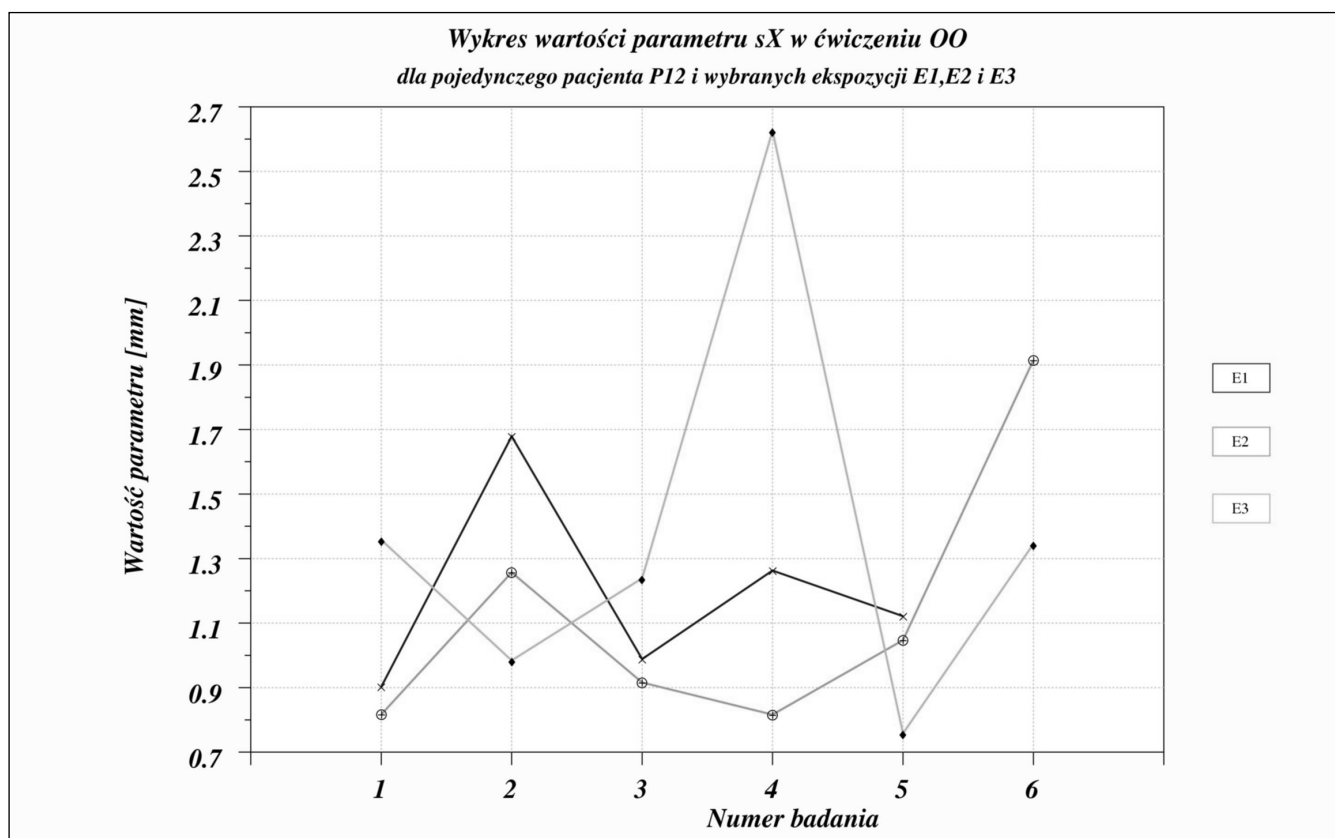
Istotne zmiany grupowe wskaźników testów statokinezyometrycznych świadczą o istnieniu zjawiska restytucji. Natomiast z punktu widzenia lotniczego, istotny jest przebieg restytucji po pobudzeniu u indywidualnych pilotów. U kilku badanych zaobserwowano po przejściowym wygaszeniu pobudzenia przedsionkowego, ponowne wzrosty odchyleń w dalszym przebiegu restytucji

Może to świadczyć o tym, że obniżony zostaje próg pobudliwości na bodźce ruchowe [Gillingham 1986]. Ruchy dowolne, jakie wykonywał pilot między pomiarami, powodują reakcję układu równowagi. Taki indywidualny (znacznie odbiegający od wartości grupowej) wykres wartości wychyleń środka ciężkości w osi poprzecznej – „prawo-lewo” (sX, „OO”) przedstawiono na rycinie 2. Pobudzenie w kolejnych ekspozycjach przebiega w odmienny sposób, utrzymując się znacznie dłużej, niż w wartościach średnich dla grupy. Występują też powroty pobudzenia w 90-120 min. po wcześniejszym 30-90 min. wygaszeniu pobudzenia. Należy stwierdzić, że ekspozycje na przyspieszenia kątowe w symulatorze lotniczym GYRO-IPT (iluzja Coriolisa, wywołanie oczopląsu i iluzja okuloobrotowa) wywołały statystycznie istotny i powtarzalny wzrost wartości parametru sX (odchylenie standardowe przemieszczenia rzutu środka ciężkości w osi poprzecznej ciała, czyli sygnału X(t)) (ryc. 3).

Zastosowanie komputerowej obróbki danych pozwoliło na wnikliwą ich analizę, a także umożliwiło ustalenie kryteriów wyników odbiegających od normy. Należy jednak stwierdzić, że wnioskowanie na podstawie wyników statokinezyometrycznych powinno być ostrożne i kiedy nie jesteśmy dostatecznie pewni, należy badanie powtórzyć. Zmiany w zapi-



Ryc. 2. Wykres wartości parametru sX w teście „oczy otwarte” dla pojedynczego badanego w trzech ekspozycjach



Ryc. 3. Wykres zmian wartości średnich parametru sX dla testu „OO” w badaniu przed wejściem i po wyjściu (po ekspozycji) w symulatorz lotniczym GYRO-IPT

się mogą być spowodowane działaniem innych czynników egzo- i endogennych [Kubiczkowa 1998; Rios (i. in.) 2002; Silvestre 1996]. Należy także zaznaczyć, że ze względu na dużą różnorodność zachowania się rejestrowanych parametrów wyniki stabilogramów powinno się analizować indywidualnie, podobnie jak zapis elektrokardiograficzny (EKG) lub elektroencefalograficzny (EEG) [Black 2001].

Uzyskane wyniki i znaczne różnicowanie indywidualne przebiegu restytucji pobudzenia narządów przedsionkowych wskazują na przydatność badania statokinezyometrycznego po treningu orientacji przestrzennej z elementami zaburzenia ich czynności. Jednocześnie zmienność ta jest przyczyną stwierdzenia braku istotności statystycznej w niektórych badaniach grupowych. Wykonane badania statokinezyometryczne oceniają funkcjonalny stan równowagi u pilota po zadziałaniu przyspieszeń kątowych i mogą być wskaźnikiem zdolności adaptacyjnych do niezwykłego środowiska z konfliktem sensorycznym [Kubiczkowa (i in.) 1990; Vallejo (i in.) 2002].

Wyniki opisywanych w niniejszej pracy badań wskazują, że w wyniku treningu rzeczywiście dochodzi do zmian funkcjonalnych w utrzymaniu prawidłowej równowagi w porównaniu z badaniami wyjściowymi. Zmiany te można zarejestrować posługując się statokinezyometrią statyczną. W toku przeprowadzonych badań testy te okazały się być bardzo użytecznym sposobem określenia pobudzenia narządu przedsionkowego. Największymi jej zaletami są: nieinwazyjność, prosta procedura badań, wysoka czułość oraz prosty i tani sprzęt do jej przeprowadzenia. Porównując dostępne dane literaturowe na temat statokinezyometrii statycznej i dynamicznej [Monsell (i in.) 1997; Vallejo (i in.) 2002] należy stwierdzić, że użycie tej drugiej do opisanych badań nie zwiększyłoby rozdzielczości i czułości otrzymywanych wyników komplikując procedury badawcze i podnosząc ogólny koszt badań. Usprawiedliwionym wydaje się więc stwierdzenie o trafności wyboru zastosowanej metody badawczej.

Planowane w początkowych założeniach pracy użycie dimenhydrinatum, jako czynnika modyfikującego przebieg procesu restytucji narządów przedsionkowych, po przeprowadzeniu badań wstępnych okazało się być niecelowe. Wyniki badań wstępnych wykazały bowiem, że średni czas restytucji po pobudzeniu zastosowanym bodźcem porównywalny jest z czasem rozpoczęcia działania preparatu. Interesującą natomiast jest koncepcja zastosowania dimenhydrinatum w celu zapobiegania pojawianiu się „odbić” ponownego pobudzenia narządu przedsionkowego w przebiegu restytucji. Ze względu na przyjętą metodykę badań (ilość pomiarów i czas między nimi) nie udało się przeprowadzić dokładnej analizy tego zjawiska, niemniej jednak celowym wydaje się kontynuowanie badań w tym kierunku [Gill (i in.) 2000]. Uzyskane dane eksperymentalne nie ujęte w pracy dla grupy pilotów po zastosowaniu dimenhydrinatum wskazują na dużo mniejszy stopień występowania „przetwałęgo efektu pobudzenia” po zastosowaniu leku, w porównaniu z wynikami pierwszych dwóch ekspozycji przeprowadzonych bez podawania preparatu. Podczas badań/treningu kandydatów użycie leku byłoby niewskazane z powodu „maskowania” ewentualnych patologicznych zmian u kontrolowanych pilotów. Niewskazane byłoby również stosowanie dimenhydrinatum lub podobnie działających preparatów [Bo-

wer (i in.) 2003] podczas badań kontrolnych pilotów, którzy przebyli recem factam kliniczną postać zaburzeń równowagi.

Wyniki badań eksperymentalnych nie pozwoliły na wykrycie statystycznie istotnych wyznaczników habituacji narządu przedsionkowego. Jest to zbieżne z danymi literaturowymi dotyczącymi habituacji narządów przedsionkowych do przyspieszeń kątowych i liniowych powodujących występowanie powietrznej choroby lokomocyjnej [Bagshow (i in.) 1985; Harm (i in.) 2002]. Wyniki badań nad desensytyzacją choroby lokomocyjnej, polegającej właśnie na habituacji narządów przedsionkowych do bodźców ruchowych, wykazują, że w celu osiągnięcia mierzalnych efektów ekspozycje na bodziec ruchowy należy powtarzać co najmniej kilkanaście razy [Bagshow (i in.) 1985]. Jasnym staje się więc, że liczba ekspozycji zastosowana w opisywanym eksperymencie była do tego celu zbyt mała.

Równoległe do opisywanej pracy w Pracowni Orientacji Przestrzennej Zakładu Fizjologii WIML prowadzono prace nad obiektywną oceną stosowanego obecnie programu szkolenia w zakresie dezorientacji przestrzennej. Wyniki badań statokinezyometrycznych wykazały dużą zbieżność z uzyskanymi w tej pracy parametrami oceny głębokości zaburzeń przedsionkowo-okoruchowych. Uzasadnionym wydaje się więc twierdzenie, że wyniki badań statokinezyometrycznych mogą stanowić cenne uzupełnienie oceny wpływu odbytych na symulatorze lotniczym GYRO-IPT lotów treningowych na narządy przedsionkowe pilotów i mogą być przydatne do oceny wartości treningowych i adaptacji pilota do lotu.

Wnioski

1. Badania statokinezyometryczne są nieinwazyjną, użyteczną metodą określania stopnia pobudzenia narządu przedsionkowego spowodowanego treningiem na symulatorze GYRO-IPT.
2. Restytucja narządu przedsionkowego po treningu na symulatorze GYRO ma przebieg osobniczo zmienny, najczęściej jednak występuje w czasie krótszym niż 30 minut.
3. Po okresie restytucji pojawiają się u niektórych pilotów objawy ponownego pobudzenia narządów przedsionkowych. Istnieje potrzeba prowadzenia dalszych badań nad wyjaśnieniem tego problemu.
4. Badanie statokinezyometryczne po pobudzeniu narządu przedsionkowego może być cennym uzupełnieniem obiektywnej oceny skuteczności treningu na symulatorze GYRO-IPT.
5. Po trzykrotnie powtarzanych ekspozycjach nie wykryto cech habituacji narządu przedsionkowego.

Bibliografia

- Bagshaw M., Stott J. R. R. [1985]. The desensitization of chronicaly motion sick aircrew in the Royal Air Force. „Aviation, Space, and Environmental Medicine” 56, 1144–1151.
- Black F. O. [1994]. New devices and diagnostic contribution of posture and locomotion measurment. W: Vestibular and neural front. Tagashi K., Igarashi M., Mori S. (eds), Excerpta Medica, Elsevier Science, Amsterdam, 13–26.
- Black F. O. [2001]. What can posturography tell us about vestibular function?. „Annals of the New York Academy of Sciences” 942, 446–64.
- Błaszczyk J. W. [1993]. Kontrola stabilności postawy ciała. „Kosmos” 42(2), 473–486.
- Bower E. A., Moore J. L., Moss M., Selby K. A., Austin M., Meeves S. [2003]. The effects of single-dose fexofenadine, diphenhydramine, and placebo on cognitive performance in flight personnel. „Aviation, Space, and Environmental Medicine” 74, 145–52.
- Byrne T. [2002]. Integration of spatial disorientation education, research, and training at the U. S. Air Force Academy. „so that others may live”. „Aviation, Space, and Environmental Medicine” 73(7), 729–731.
- Coogler C. E. [1996]. Using computerized dynamic posturography to accurately identify non-organic response patterns for posture control. „Neurology Report” 20, 12–21.
- Gill C., Mallinson Al., Longridge NS. [2000]. Effects of dimenhydrinate on computerized dynamic posturography. „Journal of Otolaryngology” 29(6), 337–339.
- Gillingham K. K., Previc F. H. [1986]. Spatial orientation in flight.. In DeHart R. L.: Fundamentals of Aerospace Medicine. (ed. 2), Williams & Wilkins 11, 309–397.
- Guedry F. E., Rupert A. H., McGrath B. J., Oman C. M. [1992]. The dynamics of spatial orientation during complex and changing linear and angular acceleration. „Journal of Vestibular Research” 2(4), 259–83.
- Harm D. L., Schlegel T. T., Investigator: Schlegel T. T. [2002]. Predicting motion sickness during parabolic flight. „Autonomic Neuroscience-Basic & Clinical” 97(2), 116–121.
- Hosman R., Stassen H. [1999]. Pilot's perception in the control of aircraft motions. „Control Engineering Practice” 7(11), 1421–1428.
- Kaufman G. D., Wood S. J., Gianna C. C., Black F. O., Paloski W. H. [2001]. Spatial orientation and balance control changes induced by altered gravito-inertial force vectors. „Experimental Brain Research” 137, 397–410.
- Kennedy R. S., Fowlkes J. E., Lilienthal M. G. [1993]. Postural and performance changes following exposures to flight simulators. Aviation, Space, and Environmental Medicine. 64(10), 912–920.
- Kohen-Raz R., Kohen-Raz A., Erel J., Davidson B., Caine Y., Froom P. [1994]. Postural control in pilots and candidates for flight training. „Aviation, Space, and Environmental Medicine” 65, 323–326.
- Kubiczkowa J., Kubiczek-Jagielska M. [1999]. Rola posturografii w ocenie sprawności układu równowagi. Solvay-Pharma, Warszawa.
- Kubiczkowa J., Wojtkowiak M., Jaskowski A. [1990]. Wydolność układu równowagi a tolerancja przyspieszeń. „Medycyna Lotnicza” 108/109, 6–10.
- Kubiczkowa J. [1998]. Rola posturografii w medycynie lotniczej. „Polski Przegląd Medycyny Lotniczej” 3(4), 301–310.
- Kubiczkowa J. [1975]. Test statokinezyometryczny w ocenie stanu równowagi. Praca habilitacyjna. Centrum Kształcenia Podyplomowego – WAM, Warszawa.
- Matherson A. J., Darlington C. L., Smith P. F. [1999]. Further evidence for age-related deficits in human postural function. „Journal of Vestibular Research” 261–64.
- Monsell E. M., Furman J., Herdman S. J., Konrad H. R., Shepard N. T. [1997]. Computerized dynamic platform posturography. „Otolaryngology – Head & Neck Surgery” 117, 394–8.
- Pancrantz D., Banon J., Raddin J. [1994]. A new source for vestibulon illusions in high agility aircraft. „Aviation, Space, and Environmental Medicine” 65(12), 1130–1137.
- Rios F., Esteban B., Lopez J. A., Vallejo P., Puente B., Lorente J. M. [2002]. Pilot disorientation, somatosensorial response measured by dynamic posturography in SPAF pilots. Praca prezentowana na sympozjum HFM „Spatial disorientation in military vehicles: causes, consequences and cures” La Coruna .
- Silvestre T. L., Cano C. B., Marco A. J. [1996]. Static posturography: analysis of the area parameter in normal and abnormal subjects. „Acta Otorhinolaryngology Espanola” 47, 199–204.
- Stablewski R. [1999]. Badania nad wpływem symulowanego niedotlenienia wysokościowego oraz zmian ciśnienia atmosferycznego na kontrolę równowagi i barofunkcję narządu słuchu i zatok. Praca doktorska. WIML, Warszawa.
- Standardization Agreement (STANAG) 3474 [1996]. Temporary flying restrictions due to exogenous factors affecting aircrew efficiency. Ed. 4, AMD MAS NATO, popr1, 1997.
- Vallejo P., Lorente J. M., Esteban B., Rios F., Garcia-Alcon J. L. [2002]. Pilot disorientation, sensorial response measured by dynamic posturography in SPAF pilots. Materiały zjazdowe sympozjum HFM „Spatial disorientation in military vehicles: causes, consequences and cures”. La Coruna.

Adres do korespondencji

dr n. med. Wiesław Kluch
Klinika Otolaryngologii i Rehabilitacji Fono-Audiologicznej
ul. Żeromskiego 113
90-546 Łódź

