
1. WSTĘP

W warunkach pracy zawodowej pilota na jego organizm może działać jednocześnie wiele czynników szkodliwych w aspekcie fizycznym i psychicznym. Najczęściej dochodzi do skojarzonego wpływu przyspieszeń, hałasu, wibracji, temperatury, oświetlenia, a także przetwarzania informacji w sytuacji deficytu czasu. Gwałtownie narastające przyspieszenia wywołujące przeciążenia, temperatura, hałas i wibracje ogólne (tj. drgania wnikaające do organizmu z podłoża lub siedziska), emitowane są zwłaszcza przez środki transportu powietrznego (helikoptery, płatowce, samoloty odrzutowe).

Przeciążenie organizmu którymkolwiek ze wspomnianych czynników fizycznych czy psychicznych prowadzi w różny sposób do zmian w jego funkcjonowaniu (często nieodwracalnych). Na przykład działanie przeciążeń przyczynia się do przemieszczania płynów ustrojowych, niedotlenienia centralnego systemu nerwowego i zaburzeń funkcji poznawczych. Wpływ hałasu, szczególnie przy nadmiernych ekspozycjach, może doprowadzić do trwałego ubytku słuchu. Działanie wibracji (drgań mechanicznych), zmieniające wzajemne położenie różnych struktur ustroju powoduje zmienne naprężenia połączeń sprężystych, jak też rozciąganie lub ściskanie więzadeł, tkanki łącznej w stawach oraz krążków międzykręgowych. Z kolei działanie temperatury może wywoływać zaburzenia i zmiany wegetatywne ustroju oraz pobudzenie afektywne. Skojarzone działanie tych czynników prowadzi nie tylko do zaburzeń obwodowego i ośrodkowego układu nerwowego, ale także innych układów: naczyniowego, wewnątrzwydzielniczego, kostno-stawowego i mięśniowego, trawienia (Friedensberg 1974, Kowalski 1983, Seidel i Heide 1986, Seidel 1993). U osób narażonych na długotrwałe działanie omawianych czynników rejestrowane są także zaburzenia czynności wzroku, równowagi, czucia dotyku, w tym czucia głębokiego i temperatury (Leatherwood i Dempsey 1976, Landstrom i Lundstrom 1986, Wolański 1999). Zmiany te wpływają na ich zachowanie, procesy poznawcze, reakcje psychomotoryczne oraz subiektywne odpowiedzi na działające bodźce (Wojtkowiak i wsp. 1995, 1996).

Obserwowane podczas lotu, niezależnie od siebie, skutki działania czynników fizycznych i psychologicznych na ustrój pilota nie są do końca poznane i wyjaśnione. Dotyczy to zwłaszcza łącznego ich następstwa. Pomimo jednoczesnego narażenia pilota na czynniki zewnętrzne i wewnętrzne (Brzeziński 1994), do dzisiaj

każdy z nich rozpatrywany jest oddzielnie. W wyniku takiego podejścia osobno rozpatruje się poszczególne źródła przeciążeń, tj. hałasu i wibracji, przyspieszenia, temperatury, przetwarzania informacji itp. (Wojtkowiak 1984, Markiewicz 1985, Morawski 1994). Stosuje się niezależne metodyki pomiarów ich natężenia. W ocenie skutków dla zdrowia, w tym kosztu psychologicznego (Terelak i Jasiński 1999), nie bierze się pod uwagę równoczesnego ich działania, a tylko następstwa znane z oddzielnego wpływu poszczególnych czynników.

Atomizacja badań poszczególnych elementów tworzących środowisko pracy pilota i wpływu tych czynników na jego organizm spowodowała, że istnieją ośrodki badawcze i komitety naukowe międzynarodowych organizacji normalizacyjnych, zajmujące się wyłącznie jednym czynnikiem – przyspieszeniami, hipoksją, temperaturą, hałasem lub drganiami mechanicznymi. Psychologowie upatrują w tych czynnikach źródeł stresu psychologicznego (Terelak 1995, Terelak i Jasiński 1999). Mimo że w każdym z tych przypadków ośrodki naukowe i instytucje mają na uwadze zdrowie człowieka, to zapomina się, że zdrowie jest wypadkową działania wielu czynników.

Oddzielne rozpatrywanie rozmaitych czynników środowiskowych i wywołanych przez nie zmian w stanie zdrowia ma swoją przyczynę także w trudnościach badania reakcji człowieka. Stosowane modele doświadczalne skupiają się najczęściej na bardzo prostych relacjach typu jedna przyczyna, jedna odpowiedź, np. ekspozycja na określony poziom przyspieszenia – pojedynczy skutek w postaci zmian wybranych reakcji fizjologicznych lub psychicznych pilotów. Tak proste modele nie mogą ujawnić istnienia wyraźnych powiązań poziomu ekspozycji na przyspieszenia z wielkością i charakterem wywołanych reakcji w przypadku łącznego działania wielu czynników. Niemniej jednak badania doświadczalne nad konsekwencjami jednoczesnego ich wpływu powinny być poprzedzone dokładniejszymi studiami efektów wywołanych przez każdy z nich oddzielnie. Dopiero takie postępowanie metodyczne stwarza podstawy do wyboru odpowiednich parametrów fizycznych jako reprezentatywnych charakterystyk każdego czynnika, w celu dalszych badań reakcji wywołanych działaniem łącznym.

Trudność w praktycznym rozwiązaniu tego zagadnienia wiąże się także z tym, że fizjologiczne i psychiczne reakcje ogólnoustrojowe na przyspieszenia są podobne. Dzieje się tak pomimo odmiennych dróg docierania tego bodźca do centralnego systemu nerwowego, jak też występowania swoistych reakcji, różniących się ze względu na odbiór bodźców przez właściwe dla nich analizatory. Badanie reakcji zmysłów odbiorczych na działanie przyspieszeń, a mianowicie narządu wzroku (zaburzenia obwodowego i centralnego pola widzenia) i psychiki pilota (dot. głównie zakłóceń w percepcji i przetwarzaniu informacji) wymaga różnych, często specyficznych metod pomiarowych. Do badania psychofizjologicznych skutków działania przyspieszeń niezbędne jest określenie charakteru reakcji fizjologicznych i psychologicznych, sprawdzenie, czy zmiany przyspieszenia wywołują działanie synergiczne, antagonistyczne lub inne reakcje. Wszystko to wymaga spełnienia dwóch

warunków. Po pierwsze, pilot musi być eksponowany na przyspieszenia o podobnych – w zakresie wielkości, szybkości narastania i czasu trwania – parametrach fizycznych, wywołujących porównywalne reakcje organizmu. Po wtóre – z praktycznego punktu widzenia – w doświadczeniach należy zastosować bodźce o nasileniu zbliżonym do istniejących norm, w tym przypadku ustalone dla pilotów wojskowych.

Z psychologicznego punktu widzenia, wzrost obciążenia organizmu pilota w sytuacji zadaniowej wpływa na zmiany jego sprawności działania i zachowania. Zmiany te mogą być powodowane wieloma czynnikami wewnętrznymi i zewnętrznymi. Skojarzone działanie tych czynników może determinować zachowanie się pilota, zwłaszcza w sytuacji trudnej (zagrożenia, przeciążenia, deprywacji sensorycznej itd.). Długotrwałe narażenie na tego rodzaju sytuacje może uruchamiać mechanizmy obronne, od apatii i zwątpienia do przejawów nieprzystosowania, choćby w postaci zachowań agresywnych. Często skrywane cechy osobowości nieprawidłowej mogą się ujawniać, a nawet chwilowo dominować w jego zachowaniu. Mogą pojawić się zachowania nieprzyjemne, labilne, antyspołeczne, bez wglądu w siebie, napastliwe słownie, niekiedy przyjmujące postać dwubiegunowych zaburzeń afektywnych. Z militarnego punktu widzenia należy zrozumieć zmiany w zachowaniu pilota wraz z intensywnością narastania na jego organizm przyspieszeń. Może ono bowiem znacząco utrudniać militarne osiągnięcia, dlatego że zaburzenia i zmiany psychologiczne często poprzedzają początek krytycznych zmian fizjologicznych (Hancock 1986, Johnson i Kobrick 2001).

Tolerancja organizmu człowieka na przyspieszenia może być zwiększona poprzez odpowiednio ukierunkowany trening fizyczny, który wykorzystuje nowoczesne metody i formy trenowania człowieka. Moim pragnieniem było stosowanie w praktyce przez lekarzy i instruktorów wychowania fizycznego osiągnięć psychofizjologii i kultury fizycznej, mogących wspomagać tolerancję pilotów wojskowych na przyspieszenia +Gz. Owo pragnienie było czynnikiem sprawczym podjętych badań, które mogą być bodźcem do ich prowadzenia na większej populacji, z zastosowaniem rozbudowanego warsztatu naukowego.

Trening na wirówce przeciążeniowej łączy się z pewnym wysiłkiem fizycznym, który w zależności od sprawności psychofizycznej jednostki wpływa w mniejszym lub większym stopniu na jej homeostazę. Zmiany dokonujące się w otoczeniu zewnętrznym podmiotu wywołują zmiany w środowisku wewnętrznym jego organizmu. Reakcje zachodzące w organizmie, wywołane przez zmiany otoczenia, są miarą obciążenia fizjologicznego (Kozłowski 1986). Pilot może zachować dobrą tolerancję na przeciążenia G podczas działania na jego organizm przyspieszeń o stałej wartości. Jeśli jednak narażony jest na działanie zmiennych przyspieszeń o znacznym nasileniu zbyt długo, oporność jego ustroju musi w końcu ulec pogorszeniu. Dzieje się tak, ponieważ w miarę wzrostu obciążenia (zmiennych przyspieszeń) organizm ponosi coraz większy koszt fizjologiczny i psychologiczny, związany z utrzymaniem homeostazy (Rice 2000).

Podjmując próbę określenia znaczenia ukierunkowanego treningu fizycznego dla zwiększania tolerancji organizmu pilota na przyspieszenia +Gz, starano się te warunki wypełnić. W pierwszej kolejności określano zmienność reakcji fizjologicznych podczas narastania przyspieszenia o analogicznych charakterystykach. Stosowany bodziec przyspieszenia trwał przez okres niezbędny do rejestracji badanych reakcji fizjologicznych czy sprawności poznawczych pilotów. Pozwoliło to na dokonanie porównań dynamiki zmian reakcji fizjologicznych i psychologicznych pilotów, zarejestrowanych w badaniach mających na celu ocenę ich granic tolerancji na przyspieszenia + Gz (GTP). W drugiej kolejności określono związki GTP z właściwościami somatycznymi, fizjologicznymi i psychicznymi badanych. Następnie doświadczenia wyniesione z prac nad problemem tolerancji na przyspieszenia skonfrontowano, na drodze eksperymentu, z efektami wpływu ukierunkowanego treningu fizycznego pilotów, przeprowadzonego w ramach obozu szkoleniowo-kondycyjnego, na poprawę tolerancji na przyspieszenia.

Istniały natomiast powody (Shubrooks i Leverett 1973, Wood i wsp. 1981, Epperson i wsp. 1982, Balldin 1984, 1985, Wojtkowiak 1989), aby przypuszczać, że ćwiczenia w zakresie siły i silnego napinania wszystkich grup mięśni, łącznie z wybiórczym wzmacnianiem mięśni prostowników ud, tłoczni brzusznej oraz mięśni kręgosłupa i karku, mogą być skuteczne w podnoszeniu tolerancji na przyspieszenia. Stąd w pracy opisano metody badania i treningu pilotów, aktualnie stosowane w wirówkach przeciążeniowych państwach przodujących w rozwoju lotnictwa. Przedstawiono także wyniki oceny skuteczności ukierunkowanego treningu fizycznego w zwiększaniu u pilotów tolerancji na przyspieszenia. Program tego treningu modyfikowano przez ostatnie dziesięciolecie w ramach badań nad tym problemem, prowadzonych pod kierunkiem M. Wojtkowiaka.

Z analizy literatury przedmiotu wynika, iż obszary zainteresowań wpływem przyspieszeń na człowieka były tak rozległe, że trudno wykazać wspólne ich cechy. Rezultaty badań były często rozproszone. Niekiedy uwidacznia się w nich brak systematyczności, powtarzalności i metodologicznej spójności. To wszystko powoduje, że próby integrowania, uogólnienia wyników badań tolerancji na przyspieszenia, w aspekcie bezpieczeństwa lotów stają się wątpliwe. Ponadto z przeglądu piśmiennictwa wynika, że istnieją nieliczne i niejednoznaczne dane literaturowe na temat reakcji badanych osób w czasie działania przyspieszeń. Świadczyć to może o braku właściwych metod, które w sposób ilościowy uchwyciłyby współzależności między intensywnością i czasem ekspozycji działającego bodźca przeciążeniowego a wielkością reakcji człowieka.

Prezentowany tekst jest pierwszą próbą opisaną wyników rutynowych badań wykonanych przez wielu specjalistów z różnych dziedzin (medycyny lotniczej, fizjologii i psychologii). Merytorycznie dotyczy tolerancji organizmu pilota na przyspieszenia +Gz. Problem ten był i jest nierozzerwalnie związany z dwoma kierunkami badań tego zjawiska: 1) stałym rozwojem techniki lotniczej w kierunku

wzrostu szybkości lotu samolotu, co powoduje zwiększającą się liczbę przetwarzanych informacji w deficycie czasu, która przekracza możliwości percepcyjne pilota, 2) obserwowanym, z roku na rok, spadkiem poziomu przygotowania fizycznego pilotów, powodującym zmniejszenie – wskutek przeciążeń możliwości kompensacyjnych jego organizmu. Innymi słowy – zmieniają się warunki pracy pilota w powietrzu, jego poziom psychofizycznego przygotowania się obniża, a w literaturze przedmiotu mało jest doniesień, jak przeciwdziałać negatywnemu działaniu przyspieszeń.

Prezentowane w pracy wyniki badań analizowano z wykorzystaniem zasady kompleksowości. Dane dotyczące oceny psychofizycznej pilotów były rezultatem orzeczniczych badań okresowych i okolicznościowych, które wykonywało wielu specjalistów na rzecz Głównej Komisji Lotniczo–Lekarskiej przez kilka lat. W tych badaniach stosowano metody: fizjologiczne (elektrokardiograficzne – EKG; ergometryczne (bieżnia), spirometryczne i inne); medyczne (dotyczące oceny stanu zdrowia – internistyczne, chirurgiczne, okulistyczne, neurologiczne i inne); psychologiczne (oceny struktury osobowości – wg MPI Eysencka, nasilenia lęku jako stanu i cechy wg STAI Spielbergera, temperamentu wg FCHZ Strelau’a, Zawadzkiego, testy percepcyjne i inne); kultury fizycznej (metody oceny sprawności fizycznej, wydolności, pomiarów z wykorzystaniem ergonometrii, chronometrii i inne). Zebrane dane analizowano w oparciu o metody statystyczne głównie w formie pakietów komputerowych.

Powstanie tej pracy nie byłoby możliwe bez kierownictwa merytorycznego Pana Profesora Mieczysława Wojtkowiaka, któremu za umożliwienie wykonywania psychologicznych i fizjologicznych badań pilotów oraz okazaną życzliwość serdecznie dziękuję. Dziękuję badanym pilotom i wielu specjalistom z zakresu fizjologii i medycyny lotniczej oraz kultury fizycznej z WIML za okazaną pomoc.

1.1. Wpływ przyspieszenia +Gz na organizm pilota

Latanie, w szczególności na wysoko manewrowych samolotach myśliwskich, może wywoływać przyspieszenia o wartościach dochodzących do 9 +Gz. Czas działania przyspieszenia jest zależny od wartości G max i okresu jego trwania (T), a może obejmować ułamki sekund do kilku minut. Wyższe wartości tolerancji człowieka na przyspieszenia zależą od fizjologicznej adaptacji organizmu oraz od sposobu jego zabezpieczenia (Whinnery, Jackson 1979, Whinnery i Jones 1987, Whinnery 1990, 1991, Golec 2000). Duże znaczenie ma zmiana kierunku lotu lub turbulencja powietrza, co przez nałożenie się wibracji i przyspieszeń udarowych może w konsekwencji mieć negatywny wpływ na ustalenie wartości działających przyspieszeń. Szczególnie loty na małych wysokościach z dużymi prędkościami wywołują bardzo silne wibracje i duże przyspieszenia w przypadku zmiany kierunku lotu.

Podczas lotu najczęściej występują przyspieszenia dośrodkowe¹. W czasie ich trwania siła odśrodkowa działa równolegle do długiej osi ciała w kierunku od głowy do nóg. W tych warunkach występuje silne działanie przyspieszenia na krew zawartą w naczyniach krwionośnych. Powstają zmiany w rozmieszczeniu krwi i płynów ustrojowych. Krew zaczyna przemieszczać się do dolnych partii ciała. Następuje spadek ciśnienia krwi w górnych obszarach i ich niedokrwienie, natomiast wzrost ciśnienia, przekrwienie i zastój w okolicy bioder i kończyn dolnych. Efektem zarówno niedokrwienia, jak i przekrwienia jest niewłaściwa dystrybucja tlenu do wszystkich obszarów ciała. Najbardziej istotne i groźne w skutkach jest niedotlenienie ośrodkowego układu nerwowego. Krytycznym momentem działania przyspieszeń jest przerwanie dopływu krwi do prawego przedsionka, prowadzące do utraty przytomności w wyniku niedotlenienia mózgu (Kozłowski 1986, Wojtkowiak i Kollande 1989, Whinnery 1990, Whinnery i Hamilton 1991).

W pewnych granicach, przy małych wartościach przyspieszeń, siła ta może być tolerowana przez organizm człowieka wskutek uruchomienia mechanizmów kompensacyjnych układu krążenia. Wzrasta wówczas ciśnienie tętnicze krwi, przyspieszeniu ulega akcja serca i zwężają się naczynia oporowe w dolnych obszarach ciała. Jest to odpowiedzią odruchową na zmiany ciśnienia tętniczego krwi na poziomie głowy. Mechanizm ten przyczynia się do ustąpienia objawów niedotlenienia mózgu. W miarę zwiększania się wartości przyspieszeń, narastają zaburzenia hemodynamiczne (Gembicka i wsp. 1990). Pojawiają się zaburzenia wzrokowe, które stanowią potencjalne niebezpieczeństwo dla pilota prowadzącego samolot (Wojtkowiak 1984). Objawiają się one poszarzeniem, zawężeniem, a w końcu całkowitym zaciemnieniem odbieranych wzrokowo obrazów, co jest równoznaczne z zawężeniem, a następnie utratą centralnego pola widzenia (Alvin 1995). Z reguły zaburzenia wzrokowe wyprzedzają utratę świadomości. Przy narastaniu przyspieszenia od 4,5 do 5,5 +Gz może już wystąpić całkowite zaciemnienie pola widzenia, bez utraty świadomości. Pilot nic nie widzi, ale jest przytomny i jeszcze reaguje na bodźce akustyczne. Zaburzenia słuchu i utrata świadomości występują nagle podczas gwałtownie narastających przyspieszeń na poziomie od 5,5 do 6,5 +Gz. W realnym locie po wyprowadzeniu samolotu ze strefy działania przyspieszeń (np. wskutek działania systemu automatycznego pilota sterowanego komputerem pokładowym) do lotu poziomego wraca świadomość, ale stan dezorientacji utrzymuje się jeszcze przez około 15 sekund (Burton i wsp. 1974, Convertino 1998).

Szybkie narastanie przyspieszenia prowadzi do przemieszczania narządów wewnętrznych, szczególnie posiadających pewien zakres ruchomości, takich jak: serce, żołądek, jelita, wątroba, śledziona oraz przepona. Przemieszczanie narządów oraz przepony zmienia ciśnienie wewnątrz jamy brzusznej. W naczyniach

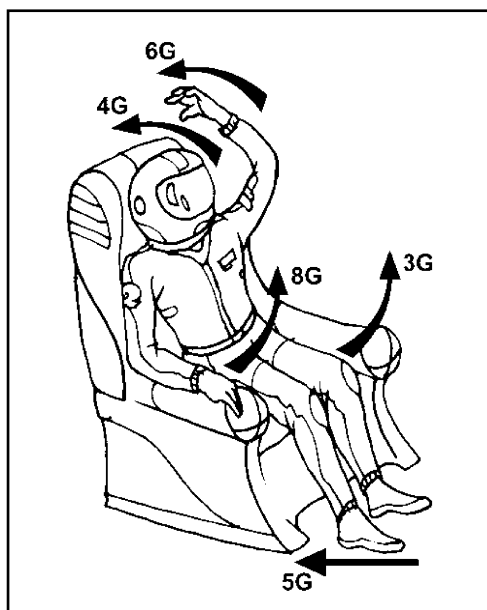
¹ Pojęcia opisujące przyspieszenia w aspekcie fizycznym i fizjologicznym – załącznik 1.

położonych poniżej poziomu serca dochodzi do przekrwienia i zastoju. Występuje utrudniony powrót krwi do prawego przedsionka serca. Zmiany ciśnienia tętniczego krwi, rejestrowane przez baroreceptory na poziomie głowy i podudzi, zapoczątkowują złożone reakcje odruchowe, zmierzające do wyrównania zaburzeń hemodynamicznych. Początkowo następujące przyspieszenie zwiększa objętość wyrzutową serca. Po przekroczeniu możliwości kompensacyjnych układu krążenia dopływ krwi do serca ulega zmniejszeniu. Zwiększa się natomiast częstość skurczów serca, wzrastająca wraz z szybkością narastania przyspieszenia. W niektórych przypadkach HR może przekraczać dopuszczalne częstości skurczów serca wg normogramów Astrand – Ryhming. Wzrost oporu obwodowego zapobiega przemieszczaniu się krwi i nadmiernemu wzrostowi ciśnienia tętniczego w fazie zaburzeń hemodynamicznych wywołanych działaniem przyspieszeń. Zatem czynnikami sprzyjającymi obniżeniu tolerancji ustroju na przyspieszenia mogą być:

- spadek objętości krwi krążącej i jej zaleganie w obszarach jamy brzusznej i kończynach dolnych,
- zmęczenie organizmu,
- podwyższona ciepłota ciała.

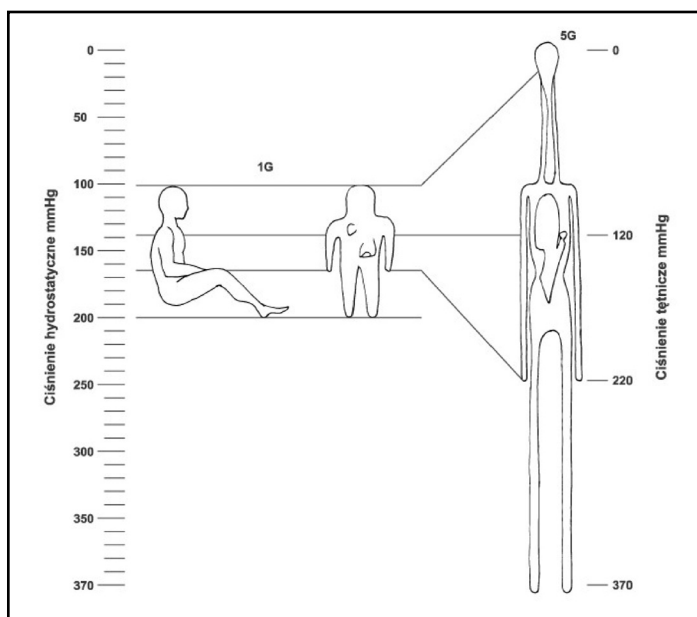
Przyspieszenie wyższe od wartości przyspieszenia ziemskiego (1g) jest już odczuwalne przez człowieka. Pierwszym odczuciem jest wzrost masy ciała. Następuje wtłaczanie pilota w podstawę fotela. W miarę dalszego narastania prędkości zwiększa się masa ciała. Utrzymywanie głowy w pozycji wyprostowanej staje się coraz trudniejsze. Ograniczone są ruchy, występuje uczucie zbyt ciężkich kończyn. Trudności w wykonywaniu zamierzonych ruchów pojawiają się już podczas 2,5 +Gz. Zmiana pozycji z siedzącej na stojącą staje się niemożliwa. W tym czasie piloci często skarżą się na przykre odczucie obrzmienia kończyn, mrowienie, a niekiedy bóle podudzi (ryc. 1).

Obserwuje się także przemieszczenia tkanek miękkich. Szczególnie widoczne jest to w rysach twarzy. Tkanki miękkie twarzy przemieszczają się w kierunku zgodnym z działaniem przeciążenia. Wydłużają się rysy twarzy. Pogłębiają się bruzdy nosowo-wargowe. Opadają powieki górne, zaś dolne się odwracają.



Ryc. 1. Wartości przyspieszeń ograniczające wykonanie ruchów dowolnych (za Barański – red. 1977)

Należy podkreślić, że już podczas narastania małych wartości przyspieszeń dochodzi do znacznych różnic ciśnienia hydrostatycznego w układzie naczyniowym. Na przykład działanie niedużych przeciążeń przewyższających $1 +G_z$, do $4,5 +G_z$, w pozycji siedzącej objawia się już po pierwszych 6 sekundach, powodując zwiększenie przepływu krwi w aorcie, a w następstwie zmiany ciśnienia krwi w obszarach naczyniowych ustroju. Zmiany te dotyczą głównie wartości ciśnień, np. ciśnienie w żyłach udowych zwiększa swoją wartość z powodu nagromadzonej krwi w naczyniach krwionośnych kończyn dolnych. W prezentowanym przeciążeniu $4,5 +G_z$ może ono wynosić nawet $+300 \text{ mmHg}$ (Gloister 1995). Na podstawie ciężaru krwi i różnicy wysokości pomiędzy różnymi poziomami ciała można w przybliżeniu obliczyć, że jeżeli ciśnienie na poziomie serca wynosi 120 mmHg , to zgodnie z prawami hydrostatyki na wysokości głowy wyniesie ono 96 mmHg , a na poziomie stóp około 170 mmHg (ryc. 2). Nagły wzrost ciężaru krwi w wyniku szybko narastającego przyspieszenia zapoczątkowuje określoną kolejność zmian fizjologicznych w ustroju człowieka. Zmiany te występują w dwóch wyraźnych okresach. Pierwszy z nich charakteryzuje progresywnie narastająca dekompensacja odczynów ustroju, a drugi – kompensacja.



Ryc. 2. Zachowanie się ciśnienia tętniczego krwi u pilota w pozycji siedzącej i podczas działania przyspieszenia wartości $4,5 +G_z$ (za Barański – red. 1977)

Wpływ przyspieszeń na organizm jest wielostronny. Bardzo rzadko oddziałują one zaburzając tylko jedną jego funkcję, np. sprawność manualną, ruchy ciała lub mowę czy widzenie (Kozłowski 1986, Terelak 1993). W literaturze przedmiotu

przyjmuje się trzy kierunki badania wibracji i przyspieszeń, tj. mechaniczny, fizjologiczny i psychologiczny. Większość badaczy tego problemu twierdzi, że nie można izolować od siebie tych czynników, ponieważ mają one charakter kumulacyjny. Wykonanie zadania lotniczego możemy określić na podstawie relacji pilota, pomiarów fizjologicznych i behawioralnych. Aby ocenić wielopłaszczyznowo problem obciążenia pracą, niezbędna jest, zdaniem Bieli (1986, 1990), analiza wszystkich trzech wymienionych pomiarów badań. Lotnictwo wojskowe wymaga od pilota wykonania szeregu złożonych zadań. Jeśli byśmy chcieli zmierzyć zdolność pilota do wykonania konkretnego zadania lotniczego, to musimy bardzo dokładnie odтворzyć sytuację obciążenia, jakie występowało podczas jego realizacji.

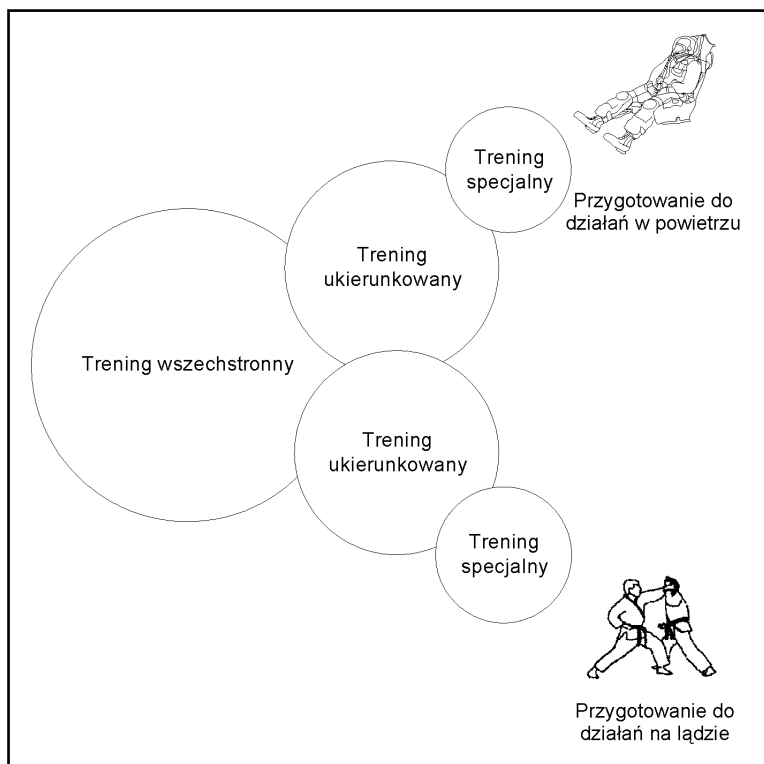
Podsumowując można stwierdzić, że najważniejszym problemem współczesnego lotnictwa jest tolerancja ustroju na działanie przyspieszeń. Zależy ona od sprawności czynnościowej układu sercowo–naczyniowego, a także od właściwości osobniczych. Granica tolerancji na przyspieszenia pilota może ulegać podwyższeniu poprzez stosowanie odpowiednich treningów na symulatorach lotniczych lub poprzez częste ekspozycje na działanie przyspieszeń w wirówce przeciążeniowej oraz ukierunkowane ćwiczenia fizyczne, realizowane w ramach zajęć z wychowania fizycznego.

1.2. Kryteria skuteczności treningu fizycznego pilota wojskowego

Wiele argumentów przemawia za tym, że spójny i uzasadniony teoretycznie układ odniesienia dla budowania systemu treningu fizycznego współczesnego pilota wojskowego przedstawił w swojej pracy Kalina (2001). Główny cel tego treningu związany jest z koniecznością adaptacji organizmu pilota do dwóch zasadniczo różniących się warunków działania:

- w powietrzu: do pilotowania statku powietrznego i walki w tym środowisku, kiedy okoliczności to wymuszają,
- na ziemi: do pokonania wielu trudności związanych z funkcjonowaniem w warunkach odosobnienia i (lub) z walką o przetrwanie (kiedy trzeba przeciwdziałać tym, którzy dążą do pozbawienia życia lub pojmania pilota) po zestrzeleniu lub przymusowym lądowaniu na skutek awarii statku powietrznego (ryc. 3).

Działanie w tych warunkach, jak podkreśla Kalina, wymaga wysokiego poziomu sprawności fizycznej, sprowadzającej się do wypełnienia treści treningu środkami oddziałującymi na organizm w sposób wszechstronny, ukierunkowany i specjalny w odpowiednich proporcjach zarówno w danym cyklu, jak i jednostce treningowej. Opis treści treningu Kalina ujmuje tak jak wielu teoretyków sportu, w dwie kategorie identyfikacji wysiłków (Sozański i Kosmol 1995), uwzględniając tzw. obszar informacyjny i energetyczny. Obciążenia wysiłkowe identyfikowane z obszarem



Ryc. 3. Przygotowanie pilota wojskowego do działań w dwóch różnych środowiskach: w powietrzu i na ziemi (Kalina 2001)

informacyjnym dotyczą rejestracji środków przygotowania wszechstronnego (ogólnego), ukierunkowanego i specjalnego. Identyfikowane natomiast z obszarem energetycznym odnoszą się do pięciu zasadniczych zakresów intensywności wysiłku i do przyporządkowanych tym zakresom strefom przemian energetycznych:

- zakres 1 – strefa przemian tlenowych (oddziaływania o charakterze podtrzymującym), ćwiczenia wykonywane z intensywnością bardzo małą i małą, HR nie przekraczające po pracy 130-140 uderzeń na minutę;
- zakres 2 – strefa przemian tlenowych, ćwiczenia z intensywnością umiarkowaną i dużą, HR 160-180, czas trwania serii pojedynczych wysiłków zazwyczaj powyżej 300 sekund do 3 i więcej godzin pracy ciągłej;
- zakres 3 – strefa przemian o charakterze mieszanym (tlenowo-beztlenowym), ćwiczenia z intensywnością dużą i bardzo dużą, HR powyżej 180, czas trwania serii pojedynczych wysiłków do 300 s;
- zakres 4 – strefa przemian o charakterze beztlenowym kwasomlekowym, ćwiczenia z intensywnością submaksymalną i zbliżoną do maksymalnej, HR powyżej 190, czas trwania pojedynczych wysiłków 20-120 s;

- zakres 5 – strefa przemian o charakterze beztlenowym niekwasomlekowym, ćwiczenia z intensywnością zbliżoną do maksymalnej i maksymalną, HR 150–180, czas trwania pojedynczych wysiłków nie przekracza 20 s (czas każdego powtórzenia w odniesieniu do maksymalnych możliwości powinien być głównym kryterium intensywności w tej strefie).

Zasadniczy dylemat – zdaniem Kaliny – dotyczy jednak określenia zakresu sprawności specjalnej i ukierunkowanej. Uważa on, że jedynie w przypadku pilota sportowego sprawa jest względnie prosta, albowiem kryteria sprawności specjalnej zdeterminowane są charakterem walki sportowej (mogą to być np. takie elementy, jak określone akrobacje lotnicze, lądowanie precyzyjne). Mając te elementy sprecyzowane i kierując się przyjętymi na gruncie teorii sportu definicjami sprawności fizycznej można stosunkowo łatwo określić zakres sprawności ukierunkowanej (fizycznej, ruchowej, psychicznej). Powstaje natomiast pytanie, co powinno stanowić kryterium sprawności specjalnej, a co ukierunkowanej w przypadku pilota wojskowego? Trafna odpowiedź, zdaniem cytowanego autora, wymaga przyjęcia założeń dających się dobrze uzasadnić na gruncie wiedzy o trenowaniu człowieka (a nie wyłącznie trenowaniu sportowca), ale także na płaszczyźnie zdroworozsądkowej. To oznacza z jednej strony konieczność odwołania się do aparatu pojęciowego teorii treningu, z drugiej zaś, możliwość opisywania pewnych aspektów sprawności fizycznej pilota wojskowego językiem potocznym, jednakże bardzo precyzyjnym. Obrazowo to podstawowe założenie powinno się sprowadzić do porównania wymienionych elementów sprawności specjalnej pilota sportowego z działalnością pilota wojskowego. Ponieważ walka sportowa w akrobacji lotniczej polega na wykonywaniu określonych układów o mniejszej lub większej liczbie ewolucji samolotem lub szybowcem, to właśnie te ewolucje determinują jakość środków decydujących o skuteczności pilota w tego rodzaju rywalizacji. Wybiórczo do tych środków autor zalicza: strukturę czasowo-przestrzenną działalności ruchowej pilota, wydatek energetyczny, niezbędny podczas tych manewrów, stopień zaangażowania poszczególnych układów organizmu w kompensowanie występujących przeciążeń podczas akrobacji, określone dyspozycje psychiczne itd. Z perspektywy walki pilota wojskowego, kiedy udaremnia on atak przeciwnika lub sam atakuje, wymienione środki należałoby przesunąć do kategorii przygotowania ukierunkowanego. One są warunkiem podjęcia względnie skutecznej walki, ale sama, przykładowo, biegłość w akrobacjach lotniczych, czy wyższa tolerancja na przyspieszenia $+G_z$, nie mogą być uznane a priori za środki przesądzające o zwycięstwie w najbliższej, czy w kolejnych wysoce prawdopodobnych walkach powietrznych.

Omawiając skuteczność przygotowania pilota do działań w powietrzu Kalina (2001) podkreśla, że do środków specjalnych można zaliczyć jego zdolności uniknięcia zestrzelenia lub trafienia przeciwnika. Uważa, że na prezentowanym poziomie ogólności zdolności te są zawsze pewną kompilacją środków (dyspozycji) natury psychicznej, fizycznej i ruchowej. Nie zmienia to faktu, że określona ewolucja

lotnicza może stanowić element kompleksu działań podjętych przez pilota w celu uniknięcia zestrzelenia, którego jednak kolejności nie da się określić przed walką, na wzór kombinacji czynności w obowiązującym układzie sportowym. Wiedzę o tych zdolnościach specjalnych pilota wojskowego można osiągnąć w zasadzie z dwóch źródeł. Najbardziej wiarygodnym są udokumentowane zapisem filmowym lub w inny sposób zachowania (działania) podczas walk stoczonych w operacjach bojowych. Zachowania te, w języku teorii sportu byłyby równoznaczne sprawności startowej, zaś w obszarze działalności pilota wojskowego zasadnie można byłoby nazwać je sprawnością bojową. Źródłem poznania ich właściwości wyłącznie probabilistycznych może być np. analiza filmowego zapisu symulowanych walk powietrznych. Stanowią one, zdaniem Kaliny, dobry przykład szacowania sprawności specjalnej pilota wojskowego, odnoszonej do jego działalności w powietrzu. Jednocześnie autor podkreśla, że „symulowana walka powietrzna” rozumiana jest jako rzeczywiste starcie dwóch lub większej liczby załóg samolotów bojowych, które jednak zamiast używania rakiet i pocisków, posługują się kamerą lub innym urządzeniem rejestrującym w funkcji czasu przebieg podejmowanych działań ofensywnych i defensywnych. Zatem walka realizowana w symulatorze lotów – trzymając się aparatu pojęciowego teorii sportu i zdrowego rozsądku – może być zakwalifikowana do środków przygotowania ukierunkowanego. Zauważa także, że nawet najlepszy symulator nie jest w stanie zastąpić człowieka, czyli „być nieprzewidywalnym”, czy „łamać w najmniej spodziewanym momencie utarte kanony postępowania” itd. Natomiast po zestrzeleniu lub przymusowym lądowaniu do środków przygotowania ukierunkowanego Kalina zalicza te umiejętności i dyspozycje psychofizyczne, które na ziemi zapewnią pilotowi utrzymanie się przy życiu. Dotyczy to także sytuacji, kiedy pilot nie jest bezpośrednio atakowany przez przeciwników, którzy dążą do pojmania go lub pozbawienia życia (kiedy nie jest zlokalizowany przez siły wroga lub nieprzyjazną część ludzi uwikłanych w konflikt, podczas którego jest on członkiem misji pokojowej). Do sprawności ukierunkowanej Kalina, podobnie jak i inni autorzy, zalicza także inne umiejętności, np. pokonanie górskiej rzeki, wykonanie schronienia na drzewie, złowienie ryby i przygotowanie posiłku, pokonanie forsownego marszu nocą na odcinku 40 km itd. (Thom 1998, Tomczak i Kalina 2001).

Do środków przygotowania specjalnego wg Kaliny należą, analogicznie jak w odniesieniu do warunków działania w powietrzu, zdolności uniknięcia pojmania (w sytuacjach, kiedy pilot jest bezpośrednio atakowany przez wroga siły) oraz zdolności pokonania przeciwnika. Podobnie do rozpatrywanej sprawności specjalnej pilota walczącego uważa, że te zdolności są zawsze pewną kompilacją środków (dyspozycji) natury psychicznej, fizycznej i ruchowej. Przyjęty tu sposób rozumowania stanowił podstawę adaptacji dwuboju obronnego, testu specjalnej sprawności fizycznej pilotów wojskowych w tzw. wersji dydaktycznej do działań na ziemi (Kalina 1997, Kalina i wsp. 2000).

Kalina (2001, Kalina i wsp. 2002) uważa, że przenoszenie na grunt lotnictwa, w sensie dosłownym, technologii trenowania sportowca nie jest w pełni uzasadnione, a nawet, pod pewnymi względami, niemożliwe. W przeciwieństwie do zdecydowanej większości dyscyplin sportowych adaptacja pilota na poziomie przygotowania ukierunkowanego wyraźnie ukazuje „konflikt interesów”. Ów umowny konflikt można rozważać przy okazji następujących pytań: jak pogodzić fakt, że wysoka wydolność aerobowa nie koreluje z dobrym tolerowaniem przyspieszeń +Gz, a jest przecież jednym z podstawowych warunków przetrwania na ziemi, gdy do pokonania są duże odległości i trudny teren? Jak połączyć dane wynikające z praktyki, że racjonalny trening fizyczny i wypoczynek, czy w ogóle komfort snu, odżywiania itd. są czynnikami silnie związanymi z bezpieczeństwem lotów, z koniecznością okresowych niewygód, wyrzeczeń, skoro tego wymaga adaptacja do przetrwania (survival)?

Przyjęte uprzednio założenie, że istotą adaptacji do zawodu pilota wojskowego jest konieczność skutecznych działań, w tym głównie walki zarówno w powietrzu, jak i na ziemi, wymaga zdefiniowania istoty środków, za pomocą których można osiągnąć oczekiwany poziom wytrenowania. Ich zdefiniowanie, zdaniem Kaliny (2001), jest kolejnym niezbędnym krokiem metodologicznym – tak w odniesieniu do sfery poznawczej tego zjawiska, jak i aplikacyjnej (czyli związanej z praktyką treningu pilotów). W obszarze informacyjnym Kalina wyróżnia trzy kategorie środków, uwzględniając z jednej strony stosowany ich rodzaj (wzorując się na kryteriach przyjętych w treningu sportowym), z drugiej, specyfikę środowiska pracy pilota wojskowego, czy w ogóle pracy wojskowej:

- środki o charakterze wszechstronnym (W), rozwijające potencjał ruchowy, nie mające jednak bezpośredniego wpływu na kształtowanie dyspozycji specjalistycznych określonych wymogami wysoce zróżnicowanego środowiska pracy pilota wojskowego (w praktyce te środki często określa się jako ogólne, ogólnorozwojowe, ogólnousprawniające),
- środki o charakterze ukierunkowanym (U), kształtujące przede wszystkim funkcjonalne mechanizmy swoistych wysiłków, adekwatnych zarówno do pracy pilota w powietrzu, jak i działań na ziemi oraz zdolności motoryczne i koordynacyjne, niezbędne do różnicowania działań w obu wymienionych środowiskach działania,
- środki o charakterze specjalnym (S), kształtujące swoisty zespół właściwości czynnościowych, sprawnościowych i ruchowych, zgodnie z zasadą postępującej adaptacji do walki w powietrzu i przetrwania na ziemi, realizowanej bądź z odległości wynikającej z używanych narzędzi obezwładniania i taktyki obrony lub ataku, przebiegu zdarzeń itp. bądź w starciu bezpośrednim (przez walkę wręcz).

W przypadku środków o charakterze ukierunkowanym chodzi głównie o celowo dobrane ćwiczenia rozwijające, wiodące cechy przygotowania sprawnościowego dla danej specjalizacji lotniczej (pilot myśliwca, pilot śmigłowca itd.). Część

tych ćwiczeń stanowi, w pewnym sensie, pośrednie ogniwo między ćwiczeniami wszechstronnymi a specjalnymi, na przykład strzelanie do tarcz i makiet, ćwiczenia symulujące realne warunki działania w zagrożeniu, jak chociażby funkcjonowanie w środkach obrony przed skażeniami (ubiór ochronny, maska p-gaz) obsługując radiostację itp. Ćwiczenia specjalne będą natomiast dotyczyły zwiększania zdolności operatorskich w warunkach zróżnicowanych obciążeń wysiłkowych, stresu związanego z działaniami przeciwnika, który stosuje środki zmierzające do pozbawienia pilota życia, okaleczenia lub podporządkowania sobie itd. (Kalina 2001).

Zdefiniowane wyżej środki są bardzo zbliżone istotą treści do klasyfikacji środków stosowanych w szkoleniu wojskowym w ogóle (Ślusarski i wsp. 1998). Otwarta jest natomiast kwestia budowania odpowiednich programów treningu fizycznego pilotów w różnych okresach ich wieloletniej kariery zawodowej. Podobieństwa i różnice w trenowaniu sportowca i nie tylko pilota wojskowego, ale żołnierza w rozumieniu ogółu specjalności wojskowych zostały, już opisane (Kalina 1998). W szeroko dostępnym piśmiennictwie z tego zakresu, jeżeli chodzi o sport, są przedstawione podstawy teoretyczne i różne elementy technologii trenowania sportowca (Fidelus 1974, Sozański 1975, Naglak 1977, Dziąsko i wsp. 1982, Płatonow i Sozański 1991, Ważny 1994, Jaskólski i Kalina 1996, Szopa i wsp. 1996, Płatonow 1997, Osiński 2000). Eksploracja zagadnienia na gruncie trenowania żołnierza nie jest już tak dogłębna, aczkolwiek piśmiennictwo przedmiotu daje wyobrażenia o proporcjach i jakości manipulowania środkami przygotowania wszechstronnego, ukierunkowanego i specjalnego w różnych rodzajach wojsk (Kalina 1996, Rakowski 1998, Rogala 1998, Sarna 1998, Ślusarski i wsp. 1998).

Nie wszystkie formy treningu fizycznego są równie przydatne dla lotnictwa (Bulbulian 1986). Wzrost tolerancji na przeciążenia wykazano tylko w przypadku treningu siłowego (beztlenowego) (Klein i wsp. 1981, Epperson i wsp. 1985, Jacobs i wsp. 1987, Rusko i wsp. 1987). Trening siłowy powoduje przyrost siły mięśniowej. W tolerancji na przyspieszenia +Gz szczególnie istotna jest siła mięśni kończyn dolnych i brzucha oraz mięśni oddechowych, ponieważ one to wykonują największą pracę (izometryczną) podczas manewru przeciwpociążeń (Jacobs i wsp. 1987). Przeprowadzone badania ujawniły istnienie korelacji pomiędzy siłą mięśni prostowników uda, mięśni brzucha i mięśni ramion a tolerancją przeciążeń (Epperson i wsp. 1985). Dotyczy to w szczególności czasu tolerancji, a nie wartości tolerowanego przeciążenia. Podobne rezultaty uzyskano po sześciotygodniowym treningu izometrycznym, połączonym z treningiem mięśni oddechowych. Wzrost przyspieszeń +Gz odnotowano u 62% pilotów poddanych takiemu treningowi (Balldin i wsp. 1985). Siła mięśni brzucha odpowiada wg tych autorów za 54% tolerancji na przeciążenia +Gz. Zaproponowano także specjalne programy treningu fizycznego dla pilotów, mające na celu rozwijanie grup mięśniowych biorących aktywny udział w manewrze anty-G (Jacobs i wsp. 1987, White i wsp. 1988).

Inne badania świadczą o zwiększonej, średnio o 75%, tolerancji +Gz, obserwowanej podczas działania przyspieszeń w programie symulowanej walki powietrznej (SACM) u osób, które odbyły trening siłowy w porównaniu z osobami po treningu wytrzymałościowym i nietreningującymi (Krock 1992). Z cytowanych badań wynika, że intensywny trening siłowy (z ang. *heavy resistance training*) zwiększa zasoby fosforanu kreatyniny o 22%, kreatyny mięśniowej o 39%, ATP o 18% i glikogenu o 66%. Jakkolwiek zwiększenie wielkości związków fosforowych nie podnosi siły mięśniowej, to poprzez wzrost ilości dostępnej energii wydłuża czas trwania przedłużonego skurczu. Odnosząc te wyniki do tolerancji na przyspieszenia +Gz można zgodzić się z poglądem, że czas trwania SACM może zostać wydłużony poprzez trening siłowy, nie wpływając na poziom tolerancji +Gz (Burton i wsp. 1987). Rola wysiłku beztlenowego wymaga jeszcze głębszego wyjaśnienia, ponieważ w przeprowadzonych przez cytowanych autorów badaniach niektóre osoby były zdolne do długotrwałego tolerowania wysokich wartości przeciążeń bez angażowania metabolizmu beztlenowego.

Izometryczny skurcz mięśni wywołuje reakcję presyjną i jest również przyczyną wzrostu częstości skurczów serca (Kozłowski i wsp. 1973, Tallarida i wsp. 1981, Friedman i wsp. 1982, Balldin i wsp. 1985, Gaffney i wsp., 1990). Modyfikuje też reakcje układu krążenia podczas próby ortostatycznej na stole pionizacyjnym, powodując po pionizacji istotne zwiększenie częstości skurczów serca oraz wzrost ciśnienia skurczowego i rozkurczowego, krwi (Kowalski 1983). Stosowany podczas ograniczenia ruchomości (leżenie w łóżku) podtrzymuje zdolność do wysiłku (*work capacity*) (Greenleaf, i wsp. 1989). Największy wzrost częstości skurczów serca podczas wysiłku izometrycznego obserwowano w grupie osób w wieku 20-30 – lat (Petrofsky i wsp. 1975). Niektórzy badacze uważają, że wzrost częstości skurczów serca jest wprost proporcjonalny do intensywności napięcia mięśni (Sherrer i wsp. 1988, Seals 1988, 1989). Inni nie zauważyli takiej zależności (Gaffney i wsp. 1990). W niektórych badaniach (Lewis i wsp. 1985, Seals 1989) ujawniono dodatni wpływ masy mięśniowej zaangażowanej w wysiłek izometryczny na HR.

Zmiany wywołane treningiem aerobowym (Krock 1992) obejmują wzrost maksymalnej pojemności tlenowej, objętości wyrzutowej, pojemności minutowej, układowego przepływu naczyniowego (*systemic vascular conductance*), objętości krwi krążeniowej, objętości komór serca i miejscowego pochłaniania tlenu (wzrost gęstości sieci kapilarów w mięśniach szkieletowych, zmiany morfologiczne i biochemiczne). Należy odnotować, że trening aerobowy zwiększa wydolność serca jako pompy mięśniowej w przypadku wzrostu obciążenia następczego (*afterload*). Efekt ten może być korzystny podczas ekspozycji na wysokie wartości przeciążeń o przedłużonym działaniu. Jednakże nie potwierdzono hipotezy o powiększonym przemieszczaniu krwi do dolnej połowy ciała pod wpływem przeciążeń w wyniku rosnącego unaczynienia mięśni (Klauser i wsp. 1981). Inni autorzy uważają, że zwiększenie gęstości kapilarów oraz podatności naczyń żylnych w mięśniach

kończyn dolnych osób trenujących wytrzymałościowo (*tlenowo*) (Vroman i wsp. 1990) nie ma wpływu na powrót krwi żyłnej do serca, ponieważ u osobników tych występuje kompensacyjne zwielokrotnienie prędkości przepływu żylnego (Hildebrant i wsp. 1993). Istnieją jednak doniesienia, że trening wytrzymałościowy prowadzi do intensyfikacji szybkości przesączania płynu do przestrzeni pozanaczyniowej, powodując spadek objętości plazmy nawet o 15% (Hagan i wsp. 1978, Tarazi i wsp. 1970).

Reakcja częstości skurczów serca na wysiłek jest modulowana przez zmniejszenie aktywności przywspółczulnej i wzrost – współczulnej. Pierwsza dominuje przy małym obciążeniu wysiłkowym, znaczenie drugiej zaś rośnie wraz z momentem, gdy HR zbliża się do wartości 100 ud/min. Charakterystyczne u osób poddanych treningowi wytrzymałościowemu jest występowanie bradykardii zatokowej (Alexander i wsp. 1994, Claytor i wsp. 1988). Niektórzy sugerują, (np. Krock 1992), że może to powodować niepożądane zwolnienie częstości skurczów serca podczas zmniejszania się przeciążenia (zanikania przeciążenia w wyniku hamowania wirówki lub przechodzenia samolotu do fazy lotu). W innych doniesieniach naukowych mówi się nie tylko o bradykardii, ale także o osłabieniu kontroli baroreceptorów tętnicznych nad regulacją częstości skurczów serca u osób trenowanych wytrzymałościowo (Shi i wsp. 1992, 1993a, Smith i wsp. 1988, 1988a). Istnieją także doniesienia o braku wpływu treningu wytrzymałościowego na kontrolę częstości skurczów serca, przez baroreceptory tętnicze (Levine i wsp. 1991).

Osoby poddane treningowi wytrzymałościowemu są bardziej podatne na chorobę lokomocyjną, zaburzenia przewodzenia i rytmu serca podczas ekspozycji na przyspieszenia. U dwóch trzecich pilotów badanych na wirówce wystąpiły zaburzenia rytmu serca pod postacią: przedwczesnych skurczów dodatkowych komorowych i nadkomorowych, zatokowej arytmii i bradykardii, rozkojarzenia przedsionkowo-komorowego, przejściowej asystolii oraz etapowego rytmu przedsionkowego. Zaburzenia te mogą potencjalnie zmienić tolerancję na przyspieszenia +Gz (Whinnery i Gondek 1978). Jednakże ten rodzaj treningu ma także aspekty pozytywne. Na przykład u osób poddanych treningowi wytrzymałościowemu zaobserwowano większą niż u nietrenujących wytrzymałość i wzrost mięśni oddechowych (Boutellier i wsp. 1992, Clanton i wsp. 1985, Fairbun i wsp. 1991, Ljach 2003), a również u takich osób, które prowadziły siedzący tryb życia (Robinson i Kjeldgaard 1982).

W literaturze przedmiotu istnieją sprzeczne doniesienia na temat oddziaływania treningu wytrzymałościowego na baroreceptory wysoko- i niskociśnieniowe (Shi i wsp. 1993b). Przyjmuje się, że baroreceptory łuku aorty mają u osób nietrenujących bardziej istotny udział w regulacji ciśnienia, niż zlokalizowane w ścianie zatoki szyjnej. Stąd wydaje się, że ich działanie nie podlega większemu wpływowi ćwiczeń fizycznych. Eksperymenty przeprowadzone przez Shi i wsp. sugerują, że pod wpływem treningu aerobowego kontrola ciśnienia tętniczego krwi

„przekazywana” jest baroreceptorom zatoki szyjnej. Efektem tego typu treningu jest również upośledzenie odpowiedzi częstości skurczów serca na nagły wzrost ciśnienia tętniczego krwi. Sugeruje się, że zmniejszenie wrażliwości baroreceptorów tętnicznych może być spowodowane kilkoma czynnikami: 1) przesunięciem ku dołowi spoczynkowego sygnału dla odniesienia: serce – baroreceptory tętniczne, 2) zwiększeniem hamowania baroreceptorów tętnicznych przez mechanoreceptory sercowo-płucne (przerost mięśnia sercowego i wzrost objętości krwi centralnej u osób wytrenowanych wywołuje zwiększone toniczne hamowanie, mediowanego centralnie, odruchu baroreceptorów tętnicznych przez mechanoreceptory sercowo-płucne), 3) przesunięciem progu baroreceptorów łuku aorty (zwiększone odkształcenia ściany aorty mogą prowadzić do adaptacji lub przesunięcia progu). Podobnego zdania są inni autorzy (np. Stegeman i wsp. 1974, Lindblad 1977). Uważają oni, że trening wytrzymałościowy jest przyczyną zmniejszania efektywności kontrolowania ciśnienia tętniczego krwi przez mechanizmy odruchowe.

Z przytoczonych przykładów wynika, że kierunki i formy treningu są różne, a ich istotą jest wpływ na wydolność układów krążenia i oddychania oraz poprawę tolerancji na przyspieszenia. Fizyczne metody zwiększania tolerancji na przyspieszenia są aktualnie zaliczane do najważniejszych problemów współczesnego lotnictwa. Nowoczesne samoloty wysoko manewrowe mogą uzyskiwać bardzo duże i szybko narastające przyspieszenia, które znacznie przekraczają tolerancję ustroju. Wynika to stąd, że serce nie jest w stanie dostarczyć odpowiedniej objętości krwi do mózgu, w zbyt krótkim czasie. W tych warunkach dostarczenie tlenu do mózgu może być zatrzymane tak nagle, że przejście ze stanu świadomości do jej utraty następuje bez ostrzeżenia, tj. bez poprzedzających ją z reguły zaburzeń wzrokowych. Zatem zaistniała konieczność zwiększania tolerancji ustroju pilotów na działanie przyspieszeń, między innymi, przez trening fizyczny. Dotyczyło to głównie tych metod, które adaptują pilotów do tolerowania dużych i szybko narastających przyspieszeń. Podstawowym warunkiem bezpiecznego wykonywania lotów na tego rodzaju samolotach jest przygotowanie teoretyczne pilotów w zakresie poznania mechanizmów fizjologicznych występujących podczas działania tego rodzaju przyspieszeń. Dotyczy to poznania:

- czasu rezerwowego do wystąpienia utraty świadomości w następstwie nagłego przemieszczenia się krwi,
- czasu skutecznej reakcji z receptorów zatoki szyjnej i łuku aorty, aktywujących mechanizmy kompensacyjne układu sercowo-naczyniowego,
- zmian w zakresie częstości skurczów serca.

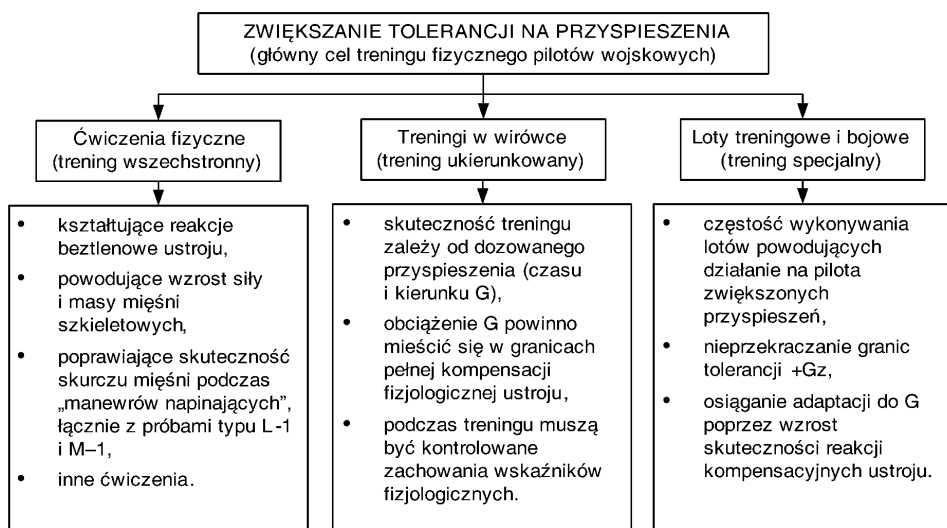
Tego rodzaju przygotowanie teoretyczne jest podstawowym warunkiem rozpoczęcia treningu.

W szeregu laboratoriach, zajmujących się badaniem przyspieszeń, trwają poszukiwania optymalnych metod zabezpieczenia pilota poprzez stosowanie coraz doskonalszych ubiorów przeciwprzeciążeniowych, zwiększanie nadciśnienia

oddechowego i różnego rodzaju treningów w wirówce przeciążeniowej (Harding, Bomar 1990, Travis, Morgan 1994, Wojtkowiak 2004a). Omawiając rolę treningów należy podkreślić, że aktualnie istnieją trzy możliwości zwiększania granicy tolerancji na przyspieszenia:

1. wielokrotne działanie przyspieszeń podczas lotu,
2. treningi w wirówce przeciążeniowej,
3. treningi wpływające na funkcje fizjologiczne ustroju poprzez odpowiednio ukierunkowane ćwiczenia fizyczne.

Aktualnie ukierunkowany trening fizyczny dla pilotów samolotów F-16 i F/A-18 obejmuje trzy formy treningów (ćwiczenia fizyczne i „manewry napinające” podczas lotu, treningi w wirówce przeciążeniowej oraz zwiększające tolerancję na przyspieszenia), (Newman i wsp. 1999, Newman, Callister 1999, Wojtkowiak 2004a), (ryc. 4).



Ryc. 4. Główne elementy i warunki realizacji treningu fizycznego pilotów samolotów F-16, ukierunkowanego na zwiększenie tolerancji na przyspieszenia

1.3. Specyficzne formy wysiłków fizycznych jako metoda zwiększania tolerancji ustroju na przyspieszenia

1.3.1. Manewry przeciwprzeciążeniowe

Utrata świadomości przez pilota podczas wykonywania zadania w powietrzu jest sytuacją absolutnie niepożądaną (Burton 1988). W tym celu wdrożono wiele środków zaradczych, zarówno technicznych, jak i fizjologicznych (Forster, Whinnery 1988). Jednym z takich środków jest specjalny manewr zwany manewrem przeciw-

przeciążeniowym (AGSM). Manewr ten polega na odpowiedniej koordynacji trzech niezależnych czynności: 1) przyjęcia odpowiedniej pozycji ciała, 2) oddychania, 3) napięcia mięśni szkieletowych.

W dostępnej literaturze przedmiotu, jak dotąd, zostały opisane cztery typy manewrów przeciwprzeciążeniowych (Anty-G):

- manewr M-1,
- manewr L-1,
- manewr Q-G (chiński),
- manewr rosyjski.

Manewr M-1 został zaproponowany przez Amerykanina, dra Wooda już w roku 1946. Polega on na przyjęciu odpowiedniej pozycji w fotelu pilota (tułów lekko pochylony, głowa schowana między ramionami, napięcie mięśni całego ciała) oraz na stosowaniu specjalnej metody oddychania, tj. wykonywaniu energicznych wydechów, powtarzanych, co 3–5 s, przy częściowo zamkniętej głośni poprzedzonych pełnym wydechem w czasie nieprzekraczającym 1 s, (Whinnery i Gondek 1978). Taki sposób oddychania nawet w warunkach ciężenia ziemskiego wymaga dużego wysiłku. Podczas działania przyspieszeń +Gz wzrost ciężaru klatki piersiowej oraz narządów wewnętrznych powoduje dodatkowe obciążenie pilota (Liu i wsp. 1991, Wilson i Liu 1994).

Prawidłowo wykonany manewr AGSM pozwala na zwiększenie tolerancji średnio o 1 do 2G (Whinnery 1982). Lekkie pochylenie tułowia i wciągnięcie głowy między ramiona zmniejsza odległość serce-oko, co jest jednym z czynników pozwalających tolerować większe wartości przeciążeń. Specjalny sposób oddychania ma za zadanie podwyższenie ciśnienia śródpiersiowego, które przenosząc się na serce i duże naczynia krwionośne powoduje wzrost ciśnienia tętniczego krwi (Buick i wsp. 1992). Napięcie mięśni całego ciała (izometryczne), a szczególnie mięśni kończyn dolnych oraz mięśni brzucha przyczynia się do wielu zmian przystosowawczych ustroju na działające przyspieszenie. Wśród nich należy wyróżnić (MacDougall i wsp. 1993):

- zmniejszenie przesunięcia krwi do dolnej połowy ciała (mechaniczny ucisk napiętych mięśni na naczynia krwionośne) oraz wzrost tętniczego oporu obwodowego,
- zapobieganie obniżaniu przepony i zwiększeniu się odległości serce-oko,
- wytworzenie gradientu ciśnień pomiędzy jamą brzuszną a śródpiersiem, co zapewnia lepszy dopływ krwi do serca (Buick i wsp. 1992, Milic-Emil i wsp. 1964),
- zwiększenie dopływu krwi do serca (ucisk mięśni na naczynia żyłne),
- wywołanie odruchowej reakcji presyjnej powodującej wzrost ciśnienia tętniczego krwi (poprzez stymulację zakończeń chemo-mechanowrażliwych oraz zaznaczenie komponenty wolicjonalnej).

Przyjmowanie pozycji zaproponowanej przez dra Wooda jest jednak dość ograniczone w lotach na wysokomanewrowych samolotach myśliwskich, w czasie którym pilot musi ciągle obserwować przestrzeń powietrzną dookoła samolotu.

Ponadto wykonywanie wydechów przy częściowo zamkniętej głośni powoduje powstawanie dźwięków określanых jako chrząkanie, które utrudniają komunikację foniczną z pilotem. Niektórzy autorzy (Liu i wsp. 1991) sugerują też, że w związku z częściowo niedomkniętą głośnią w manewrze M-1 dochodzi do zmniejszenia objętości klatki piersiowej (ubytek powietrza przy każdym wydechu), co wraz z upływem czasu powoduje trudności w utrzymaniu ciśnienia śródpiersiowego na podwyższonym poziomie i tym samym obniża maksymalny poziom tolerancji na przeciążenia.

W celu usunięcia ujemnych cech manewru M-1 zaproponowano jego zmodyfikowaną wersję, zwaną manewrem L-1. Manewr ten, oprócz wydechu, który wykonywany jest przy całkowicie zamkniętej głośni oraz mniej rygorystycznego podejścia do przyjmowania odpowiedniej pozycji ciała, przebiega identycznie jak manewr M-1 (Whinnery i Gondek 1978). Prawidłowe wykonanie próby L-1 zależy od: 1) skrócenia odległości serce – poziom naczyń mózgowych, 2) dużej siły parcia powietrza wydechowego na całkowicie zamkniętą głośnię i maksymalnego napięcia wszystkich mięśni szkieletowych. Skuteczność tej próby polega na:

- zapobieganiu przemieszczania się krwi w kierunku zgodnym z wektorem działania przyspieszenia +Gz,
- zwiększeniu objętości krwi poprzez silny skurcz mięśni szkieletowych i tłoczni brzusznej,
- wzroście ciśnienia krwi podczas parcia powietrza wydechowego, co wpływa na wzrost ciśnienia w klatce piersiowej i zwiększenie dopływu krwi znajdującej się w naczyniach płucnych do lewego przedsionka serca i doprowadza do zwiększenia pojemności wyrzutowej serca,
- wykonaniu szybkiego wdechu, prowadzącego do obniżenia przepony i umożliwieniu dopływu krwi żyłnej do prawego przedsionka serca,
- cyklicznym powtarzaniu próby.

Prawidłowo wykonany manewr L-1, łącznie z wykorzystaniem ubioru typu Libella, może zapewnić wzrost tolerancji na przyspieszenia nawet o 4G. Jednak manewr wykonywany nieprawidłowo może być powodem obniżenia tolerancji. Zbyt długie wstrzymywanie wydechu lub zbyt przedłużony wdech mogą spowodować, w czasie działania przeciążenia, drastyczny spadek powrotu żylnego i w konsekwencji doprowadzić do utraty świadomości. Z powyższego stwierdzenia nie należy jednak wysuwać wniosku, że szybkie, płytkie oddechy rozwiążą ten problem. Wręcz przeciwnie, mogą one doprowadzić do alkalozы oddechowej, zmniejszającej przepływ mózgowy i w efekcie obniżającej tolerancję na przeciążenia (Wojtkowiak 2004b).

Oba manewry anty-G (M-1, L-1) zwiększają ciśnienie śródpiersiowe, tym samym wzrasta ciśnienie tętnicze krwi na poziomie oka. Wytworzenie jak największego ciśnienia, śródpiersiowego, powinno pomóc zapewnić jak największy przyrost

tolerancji na przyspieszenia. Stwierdzono, że większa pojemność wdechowa płuc może u niektórych osób powodować większy wzrost ciśnienia tętniczego (o około 30 mmHg). Jednakże okazało się, że dalszy wzrost pojemności wdechowej powoduje pojawienie się dwóch problemów związanych z: 1) obniżeniem średniego ciśnienia śródpiersiowego i 2) wystąpieniem uczucia dyskomfortu. Ponieważ każdy mięsień posiada optymalną długość, przy której następuje maksymalny skurcz, powinna istnieć optymalna wielkość ciśnienia śródpiersiowego, związana z początkową długością mięśni oddechowych. Kolejne badania dowiodły, że u niektórych osób nie występuje wzrost ciśnienia krwi, łączący się ze zwiększaniem pojemności wdechowej, w innych odnotowano nawet niewielki spadek ciśnienia śródpiersiowego po przekroczeniu 85% maksymalnej pojemności wdechowej. W związku z tym proponuje się ograniczenie pojemności wdechowej do 85% wartości maksymalnej. Pod uwagę należy wziąć również bardzo zindywidualizowane możliwości zwiększania ciśnienia w śródpiersiu poprzez wykonywanie manewru. Okazuje się bowiem, że wykonywanie przez różnych pilotów manewru L-1 o maksymalnej wielkości nie oznacza wytworzenia jednakowego ciśnienia w śródpiersiu. Różnica pomiędzy największym i najmniejszym wytworzonym ciśnieniem śródpiersiowym może sięgać nawet 77 mmHg (Cote i wsp. 1986, Williams i wsp. 1988). Powinno to znaleźć wyraz w dostosowaniu treningu tego manewru do możliwości osobniczych. Wielkość manewru: siła napięcia mięśni i wysokość wytwarzanego ciśnienia powinna być również dostosowana do wartości przyspieszenia w celu uniknięcia przedwczesnego zmęczenia. W angielskiej literaturze przedmiotu takie postępowanie określa się jako „tailoring”.

Manewry anty-G nie dają trwałego wzrostu ciśnienia w śródpiersiu i co za tym idzie- ciśnienia tętniczego krwi (Williams i wsp. 1988). Natomiast po ich rozpoczęciu ciśnienie w śródpiersiu wzrasta do około 120 mmHg i w pierwszych pięciu sekundach obniża się do około 85 mmHg. Kolejny wdech powoduje wzrost ciśnienia do ok. 100 mmHg i progresywny jego spadek w czasie 5 sekund o 25 mmHg. Ciśnienie krwi po zainicjowaniu manewru L-1 wzrasta natychmiast do wartości około 195 mmHg, lecz w czasie tych pierwszych 5 sekund obniża się o około 35 mmHg. W następnych 5 sekundach ciśnienie tętnicze pozostaje niezmienione, aby podczas kolejnych 5 sekund (kolejny cykl) osiągnąć wartość 180 mmHg. Wzrost ciśnienia tętniczego krwi, uzyskany za pomocą samego napięcia mięśni ciała (tzw. komponent mięśniowy) przewyższa o około 30 mmHg wzrost uzyskany wskutek specjalnej metody oddychania (komponent oddechowy) (MacDougall 1993). Jest to jednak wielkość przybliżona, ponieważ w warunkach rzeczywistych nie da się tych dwóch komponentów rozdzielić. Próba Valsalwy (komponent oddechowy) stanowi integralną część submaksymalnego lub maksymalnego napięcia mięśni szkieletowych pomaga też w stabilizacji położenia ciała. Z przyczyn fizjologicznych, samo napięcie mięśni szkieletowych, wiąże się z mniejszym wysiłkiem niż spowodowanym wykonywaniem próby Valsalwy (Wojtkowiak 2004b).

Wykonywanie manewru anty-G wpływa także na częstość skurczów serca (HR). Istnieje prawie liniowa zależność HR od wzrostu ciśnienia wydechowego ponad normalne. W niektórych przypadkach stosowanie manewrów anty-G może być szkodliwe. Dotyczy to głównie wyuczonego ich stosowania w czasie lotów w ubiorach przeciw-przeciążeniowych. Wówczas następuje ucisk ubioru na poszczególne partie ciała, a w tych warunkach manewry anty-G są zbędne.

Badania amerykańskie dowiodły, że w czasie działania dużych przeciążeń wszelkie, nawet nieznaczne, odchylenia głowy z pozycji pionowej mogą doprowadzić do utrudnionego przepływu krwi do mózgu i mikrourazów odcinka szyjnego kręgosłupa. W czasie prowadzenia badań nad uzyskaniem wzrostu tolerancji na przeciążenia przez stosowanie różnych kątów rozwarcia pomiędzy oparciem a siedziskiem fotela pilota starano się ustalić, jaki wpływ może mieć różne ułożenie ciała pilota na skuteczność manewru anty-G. Okazało się, że ani kąt wychylenia oparcia, ani kąt pomiędzy udami a kręgosłupem nie mają istotnego wpływu na wartość ciśnienia krwi wygenerowanej podczas manewru L-1 (Williams i wsp. 1988). Wykazano również, że średnia granica tolerancji pilotów samolotów F-16, określona w stanie relaksacji, wynosi średnio około 5,2G (jest mniejsza o 0,5 do 0,75G w samolotach bez odchylanego oparcia). Podczas korzystania z ubioru Anty-G ich tolerancja zwiększa się o 1G, a przy skutecznym manewrze L-1 wzrasta o 3,5G, a nawet więcej. Działanie wymienionych sposobów zwiększania tolerancji pozwala stwierdzić, że piloci powinni wytrzymać 9G, chociaż z pewnym marginesem bezpieczeństwa. Skuteczność i intensywność manewru L-1 zależą od szeregu czynników, a mianowicie siły, wytrzymałości, treningu i motywacji. Aktualnie preferowana dla pilotów samolotów wysoko-manewrowych jest próba L-1 (Albery 2004).

Prawidłowe wykonywanie manewru Anty-G jest związane z dużym wysiłkiem fizycznym i piloci często nie kończą treningu wirówkowego z powodu zmęczenia (Bain i wsp. 1997, Boutellier i wsp. 1992). Sugeruje się, że jedną z przyczyn niemożności kontynuowania ekspozycji przeciążeniowej jest zmęczenie mięśni oddechowych, co znajduje także odzwierciedlenie w zapisie elektromiograficznym (Bain i wsp. 1997). Częściową odpowiedzialność za ten stan rzeczy może ponosić zmniejszone ukrwienie przepony podczas wykonywania manewrów przeciwprzeciążeniowych (Buchler i wsp. 1985). Teza ta znajduje potwierdzenie w pracach, w których autorzy sugerują zmniejszenie podatności (compliance) mięśni oddechowych oraz zwiększenie obciążenia tych mięśni (Wilson i Liu 1994). Problem ten raczej nie dotyczy mięśni wydechowych (Bain i wsp. 1997, Krock 1992) oraz mięśni brzucha (Wojtkowiak 2004b).

W 1986 roku Chińczycy zaproponowali odmianę manewru przeciw-przeciążeniowego, tak zwany manewr Qigong (Q-G). Chodziło im o ograniczenie niedogodności związanych z manewrami M-1 i L-1. Manewr ten oparto na zachowaniu fizjologicznego zakresu wahań ciśnienia śródpiersiowego w cyklu

wdechowo–wydechowym (umożliwia to wydłużenie czasu tolerancji) i zasadach chińskiej gimnastyki leczniczej systemu Qigong – stąd wywodzi się jego nazwa (Zhang i wsp. 1992). Pilot wykonujący manewr Q–G siłą woli przygotowuje organizm do tolerancji na przeciążenia, nie przyjmując przy tym specjalnej pozycji ciała. Przygotowanie to nie zostało bliżej sprecyzowane w dostępnej literaturze, wiadomo jednak, że chodzi o techniki mentalne, zaczerpnięte z Qigongu (Tong i wsp. 1998). W momencie rozpoczęcia narastania przeciążenia pilot natychmiast napina mięśnie obu kończyn dolnych, następnie mięśnie brzucha, mięśnie oddechowe oraz mięśnie karku. W tym samym czasie oddech zostaje przejściowo zatrzymany, następnie pilot wykonuje płytkie, silne ruchy oddechowe z częstością 50–70/min. z lekkim ograniczeniem fazy wydechowej. Największy wpływ na wzrost ciśnienia krwi ma tak jak w manewrach M–1 i L–1 komponent mięśniowy, szczególnie napięcie kończyn dolnych. Chociaż udział komponentu oddechowego wynosi 15%, jest on niezbędny do szybkiego wzrostu ciśnienia tętniczego krwi, bowiem napięcie mięśni kończyn dolnych i/lub brzucha wywołuje jego wzrost o 40 mmHg dopiero po ok. 16 s. Samo przygotowanie mentalne powoduje wzrost ciśnienia tętniczego o 20–30 mmHg. Udokumentowano, że manewr ten podwyższa tolerancję na przeciążenia o 2,8G lub 3,95G, dla ekspozycji odpowiednio bez ubioru i w ubiorze Anty-G (Guo i wsp. 1989). Podobne rezultaty osiągnęli piloci japońskich sił powietrznych samoobrony (Sekikuchi i wsp. 1986). Pomimo tak pozytywnych doniesień nie spotkano w literaturze przedmiotu informacji świadczących o wprowadzeniu tego manewru do praktyki innych sił powietrznych. Może to być związane przede wszystkim z istnieniem bariery kulturowej.

Ciekawą koncepcję wykorzystania elementów treningu judo w zwiększaniu tolerancji na przyspieszenia przedstawili Kalina i Marciniak (1997). Sugerują oni, iż takie elementy treningu, jak krępowanie ruchów, głównie podczas walki w tzw. parterze, za pomocą dźwigni na staw łokciowy, a także duszeń przedramieniem lub z wykorzystaniem kołnierza oraz uwalnianie się z tego rodzaju chwytów, poprawiają tolerancję na przyspieszenia. Stawiają oni, wydaje się, bardzo racjonalną tezę, że trening obronny przed duszeniami wiąże się z jednej strony z koniecznością chowania głowy pomiędzy barki, a więc z częstym napinaniem mięśni szyi i barków, z drugiej – z występowaniem chwilowych niedotlenień, spowodowanych skutecznym atakiem konkurenta. Walka w parterze, kiedy ćwiczący dąży do przyciśnięcia współzawodnika plecami do maty, założenia mu dźwigni lub duszenia, wymusza przemienne napinanie i rozciąganie różnych grup mięśni. Wówczas praca mięśni ma często charakter izometryczny. Cytowani autorzy wskazują także na profilaktyczne aspekty ćwiczeń stanowiących obronę przed duszeniem, zwłaszcza w przypadku pilotów samolotów, którzy narażeni są na wystąpienie tzw. zespołu przeciążeniowego szyjnego odcinka kręgosłupa. Koncepcja ta nie została jednak zweryfikowana na drodze empirycznej.

Osobiste zagraniczne kontakty polskich naukowców pozwalają na wysunięcie wniosku o istnieniu rosyjskiej odmiany manewru Anty-G. Brak dostępnych publikacji nie pozwala jednak na jego szczegółowe omówienie. Według danych amerykańskich, Rosjanie w swoim manewrze Anty-G uwzględniają głównie napięcie mięśni kończyn dolnych z mniejszym udziałem komponentu oddechowego. Do treningu tego manewru zaprojektowano specjalny przyrząd, zwany statoergometrem. Biorąc pod uwagę, że napięcie mięśni szkieletowych ma największy udział w podnoszeniu ciśnienia tętniczego krwi, stopień ochrony przeciążeniowej, uzyskany przez ten manewr, może nie odbiegać od ochrony zapewnianej przez manewry już omówione.

1.3.2. Manewr napinający AGSM a zjawisko G-LOC

Raporty dotyczące przeciążeniowej utraty świadomości (G-LOC) w środowisku lotnictwa wojskowego sporządzano już przed 1920 rokiem. Regularne doniesienia pojawiają się dopiero po 1982 roku. Z baz danych Centrum Bezpieczeństwa Sił Powietrznych USA wynika, że w latach 1982–2001 przyczyną ok. 4% katastrof rocznie mogło być wystąpienie G-LOC. Dopiero po wprowadzeniu w 1985 r. programów szkoleniowych, mających za zadanie zmniejszenie występowania G-LOC, liczba katastrof spowodowanych tym zjawiskiem zmniejszyła się z 4,4 do 1,6 incydentów na milion misji lotniczych. Liczba katastrof lotniczych zmniejszyła się w wyniku wprowadzenia treningu wirówkowego dla załóg lotniczych. Wprowadzenie nadciśnienia oddechowego, jako środka ochronnego przed działaniem przeciążeń, nie miało takiego wpływu (Travis, Morgan 1994, Lyons i wsp. 2004). Cytowani autorzy utrzymują, że żadna z istniejących technologii nie jest w stanie samodzielnie przezwyciężyć hemodynamicznych skutków spowodowanych szybko narastającymi przyspieszeniami i przeciążeniowa utrata świadomości nadal zagraża personelowi lotniczemu.

Najczęściej przeciążeniowa utrata świadomości związana jest z przekroczeniem dopuszczalnych granic tolerancji (działania) na przyspieszenia i niedotlenienia (Burton 1988, Whinnery 1991). Na obniżoną tolerancję na przyspieszenia wpływa duża liczba czynników (ryc. 5). Należy podkreślić, że nawet niewielka zmiana któregośkolwiek z wymienionych na rycinie czynników, wywołuje inną odpowiedź ustroju, rzutującą na tolerancję na przyspieszenia.

Do jednej z nich można zaliczyć możliwość utraty świadomości podczas manewru pilotażowego w czasie szybkiego narastania przyspieszenia, łącznie ze zmianą wektora przeciążenia z $-G_z$ na $+G_z$. Mechanizm fizjologiczny tego niebezpiecznego manewru polega na tym, że działanie na pilota ujemnego przeciążenia doprowadza do przemieszczenia się krwi do naczyń mózgowych. Wskutek



Ryc. 5. Czynniki wpływające na tolerancję pilota na przyspieszenia +Gz

zwiększonego ciśnienia tętniczego krwi na baroreceptory zatoki szyjnej dochodzi do znacznego zwolnienia czynności serca i rozszerzenia naczyń w obszarach naczyniowych kończyn dolnych. Wykonanie manewru przejścia do szybko narastającego przyspieszenia o kierunku +Gz powoduje gwałtowne i bierne przemieszczenie się krwi do dolnych części ciała. To z kolei wywołuje szybką utratę świadomości wskutek ostrego niedotlenienia mózgu. Przyczyną tego jest znaczne, uwarunkowane fizjologicznie, opóźnienie reakcji kompensacyjnych ustroju, które zwiększają tolerancję na przyspieszenia +Gz. Opóźnienie to wynika z szybkości wykonania omówionego manewru (Wojtkowiak i Jasiński 2000).

Utrzymanie świadomości w warunkach G, przewyższających spoczynkową tolerancję na przeciążenia, wymaga zastosowania manewrów napinających (AGSM), wspomaganych odruchową reakcją kompensacyjną ze strony układu krążenia. Pełna reakcja kompensacyjna może być skuteczna dopiero po upływie 10–15 sekund. W pewnych warunkach wykonanie tego manewru może nie być wspomagane natychmiastową reakcją układu krążenia. Szybkie narastanie przyspieszenia lub

Tabela 1. Główne fazy G–LOC i czasy ich trwania

Fazy G–LOC	Średni czas [s]	Zakres czasu [s]
Całkowita niezdolność	12–16	5–30
Względna niezdolność	12	3–50
Łączna niezdolność	24	8–80

nałgą relaksacja podczas manewru napinającego w warunkach dużych przeciążeń prowadzi nieuchronnie do utraty świadomości, wystąpienia G-LOC, bez fizjologicznych sygnałów ostrzegawczych. W tym czasie mózg potrzebuje około 24 s, (zakres 8–80 s), aby ocenić prawidłowo sytuację zaistniałą w środowisku otaczającym, a nawet dłuższego czasu zanim wszystkie funkcje psychiczne powrócą do stanu normalnego (tab. 1).

Trzecią fazą jest powrót do świadomości ze stanu G-LOC. W tej fazie dochodzi do powrotu funkcji poznawczych i precyzji manualnej. Funkcje te powracają w pełni dopiero po kilku minutach. Pilot może podejrzewać, że był w stanie zaburzonej sprawności percepcyjnej (G-LOC), jeżeli nie potrafi wyjaśnić zmiany wysokości lotu i ma trudności rozpoznania położenia swojego samolotu. Mrowienie w okolicy ust lub w kończynach, a także uczucie senności są dwoma różnymi objawami, które pilot może odczuwać w chwili powrotu do stanu świadomości. Niekiedy dopiero oglądanie filmu z badań w wirówce potrafi przekonać pilota o tym, że był w stanie G-LOC. Z tego względu jest rzeczą bardzo ważną, aby nigdy nie wykorzystywać objawów wzrokowych przy badaniu swojej granicy tolerancji G podczas lotu. Jeżeli pilot znajduje się w stanie zawężenia obwodowego pola widzenia, to posiada jedynie 10% rezerwy tlenowej. Musi zdawać sobie sprawę, że zjawisko to postępuje dynamicznie w zależności od parametrów G i niepostrzeżenie szybko może przejść w G-LOC. Objawy wzrokowe są ostrzeżeniem przed utratą świadomości (Wojtkowiak 1984).

Należy podkreślić, że manewr napinający AGSM, podobnie jak inne ćwiczenia siłowe, może łatwo doprowadzić do dekompensacji. Badania naukowe wykazały, że podczas wykonywania manewru AGSM występuje spadek wytrzymałości, gdy pilot nie posiada odpowiedniego przygotowania fizycznego. Zatem potrzebny jest odpowiedni trening fizyczny jako metoda podnoszenia tolerancji na przyspieszenia fizyczne.

Przedstawienie powyższych wyników badań oraz różnych form treningu zwiększającego u pilotów tolerancję na przyspieszenia było uzasadnione tym, że znaczna ich część stanowiła prace wstępne. Prowadzono je przez ostatnie dziesięciolecie w ramach badań nad problemem tolerancji pilotów wojskowych na przyspieszenia, co wiązało się bezpośrednio z opracowywanym zadaniem badawczym. Ponadto niejednoznaczne dane literaturowe na temat zachowania się badanych w czasie działania przyspieszeń mogły świadczyć o braku właściwych metod, które uchwyciłyby współzależności między intensywnością i czasem ekspozycji działającego bodźca przeciążeniowego a wielkością reakcji człowieka. Zagadnienie to jest na tyle ważne, że czas działania przyspieszenia, oprócz jego kierunku, intensywności i częstości ekspozycji, jest elementem krytycznym w pracy pilota.

1.4. CEL PRACY

Analiza piśmiennictwa specjalistycznego i podejmowana w badaniach własnych wieloletnia weryfikacja ocen granicy tolerancji na przyspieszenia (GTP), a także doświadczenia związane z badaniami psychologicznymi personelu lotniczego Polskich Sił Powietrznych (PSP), skłaniają do podjęcia badań mających na celu:

- zweryfikowanie skuteczności treningu fizycznego ukierunkowanego na podwyższenie tolerancji na przyspieszenia organizmu pilotów.

Szczegółowe cele badań dotyczyły rozstrzygnięcia następujących kwestii:

- porównanie GTP, określanych w różnych programach +Gz, z wynikami badań fizjologicznych i psychologicznych, uzyskanymi w wirówce przeciążeniowej,
- określenie wpływu właściwości psychicznych, w tym reaktywności ośrodkowego układu nerwowego pilota, na dokładność oceny GTP,
- wyjaśnienie związków określonych układów ustroju i właściwości organizmu pilotów z wysokim poziomem GTP,
- określenie skumulowanego wpływu czynników pobudzających lub hamujących funkcje ustroju na uzyskane zmiany tolerancji +Gz.

Założono, że powyższe cele można zrealizować poprzez uzyskanie odpowiedzi na następujące pytania:

- 1) Czy trening fizyczny, ukierunkowany na rozwijanie określonych zdolności motorycznych i manewrów napinających, skutecznie przygotowuje organizm pilota do zwiększania tolerancji na przyspieszenia +Gz?
- 2) Czy poziom granic tolerancji na przyspieszenia +Gz (GTP), określany w ramach programów o różnych charakterystykach narastania +Gz (zwanych GOR i ROR), jest związany ze sprawnością fizyczną i wiekiem pilotów?
- 3) Czy tolerancja pilotów na przyspieszenia +Gz związana jest z właściwościami ich psychiki, w tym z reaktywnością ośrodkowego układu nerwowego?
- 4) Czy istnieje określony układ cech somatycznych, fizjologicznych i psychologicznych ustroju pilotów, związany z ich wysoką tolerancją na przyspieszenia +Gz?
- 5) Czy czynniki towarzyszące aktywności fizycznej pilota w działalności zawodowej, takie jak: częstość ekspozycji na działanie przeciążeń, tzw. nalot ogólny i roczny na danym typie samolotu itd., wpływają na uzyskane zmiany tolerancji +Gz?