



**Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego
w Warszawie**

mgr Michał Andrzej Breszka

**Wpływ ukierunkowanego treningu fizycznego podchorążych
Lotniczej Akademii Wojskowej na tolerancję przyspieszeń +Gz**

Promotor rozprawy doktorskiej

dr hab. Ryszard JASIŃSKI, prof. AWF

Promotor pomocniczy rozprawy doktorskiej

dr inż. pil. Ryszard HAĆ

Rozprawa doktorska

w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu

w dyscyplinie nauki o kulturze fizycznej

Warszawa 2022

Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej

1. Świadom/a odpowiedzialności prawnej oświadczam, że niniejsza praca doktorska na temat:

**Wpływ ukierunkowanego treningu fizycznego podchorążych Lotniczej Akademii
Wojskowej na tolerancję przyspieszeń +Gz**

została napisana przeze mnie samodzielnie i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.

2. Oświadczam, że praca doktorska nie narusza praw autorskich na podstawie ustawy z dnia 4 lutego 1994 roku o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. 2019 poz. 1231 z późn. zm.) oraz dóbr osobistych chronionych prawem cywilnym.

3. Oświadczam ponadto, że treść pracy przekazanej na zewnętrznym nośniku elektronicznym jest identyczna z wersją przyjętą przez promotora i dostarczoną w formie papierowej.

4. Oświadczam również, że przedstawiona praca nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem stopnia doktora.

Pouczenie:

Zgodnie z art. 193 ust. 5 ustawy z dnia 18 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 1668 z późn. zm.) w przypadku niedopuszczenia do obrony rozprawy doktorskiej albo wydania decyzji o odmowie nadania stopnia doktora, ta sama rozprawa nie może być podstawą do ponownego ubiegania się o nadanie stopnia doktora

Data

podpis autora pracy

Data

podpis promotora pracy przyjmującego oświadczenie

Serdeczne słowa podziękowania kieruję do mojego Promotora prof. Ryszarda Jasińskiego oraz Promotora pomocniczego dr. Ryszarda Hacia za udzielone mi merytoryczne wskazówki, wskazanie fachowej literatury, a także za wiele życzliwych słów i cennych uwag, które w wymierny sposób przyczyniły się do napisania niniejszej rozprawy.

Również niezwykle serdecznie dziękuję Panom Doktorom Krzysztofowi Kowalcukowi oraz Robertowi Jędrysowi za współudział w prowadzeniu badań eksperymentalnych na wirówce przeciążeniowej oraz LGPS, a także za pomoc w ich interpretacji.

Szczególne podziękowania kieruję do Pana prof. Michała Bernardellogo za wybór adekwatnych metod analizy statystycznej wyników badań oraz ich stosowną interpretację.

Nie mniejsze podziękowania składam na ręce Rektora-Komendanta „Szkoły Orłąt” gen. bryg. pil. dr. inż. Krzysztofa Cur za pomoc w wyborze drogi zawodowej oraz nigdy niegasnącej wiary w moje możliwości.

Za pomoc techniczną w przygotowaniu niniejszej rozprawy dziękuję serdecznie wszystkim Pracownikom Wydawnictwa LAW.

Chciałbym również podziękować Rodzinie, Przyjaciółom oraz wszystkim Koleżankom i Kolegom, którzy wspierali mnie entuzjastycznie podczas całego procesu badań i redakcji rozprawy.

SPIS TREŚCI

WYKAZ UŻYWANYCH SKRÓTÓW	6
I. WSTĘP.....	8
1.1. Czynniki wpływające na tolerancję ustroju pilota wojskowego na przyspieszenia +Gz.....	9
1.1.1. Definicja i podział przyspieszeń.....	9
1.1.2. Wpływ przyspieszeń na organizm pilota.....	12
1.1.3. Choroba powietrzna.....	15
1.1.4. Dezorientacja przestrzenna podczas lotu.....	17
1.1.5. Wpływ przyspieszeń na układ mięśniowo-szkieletowy kręgosłupa.....	19
1.2. Kondycyjne przygotowanie do lotu jako element treningu fizycznego poprawiającego tolerancję ustroju pilota wojskowego na przyspieszenia +Gz	22
1.2.1. Manewry przeciwprzeciążeniowe	24
1.2.2. Wykorzystanie wirówki przeciążeniowej w szkoleniu lotniczym	28
1.2.3. Ogólna charakterystyka autorskiego treningu ukierunkowanego	30
II. CEL PRACY	36
2.1. Przedmiot i cel badań	36
2.2. Pytania badawcze	36
2.3. Hipotezy badawcze.....	37
III. MATERIAŁ I METODY	38
3.1. Osoby badane	38
3.2. Organizacja i przebieg badań	38
3.3. Metodyka badań	39
3.3.1. Metoda badania granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz	40
3.3.2. Ocena habituacji układu przedsionkowo-wegetatywnego	42
3.3.3. Ocena zdolności motorycznych.....	44
3.4. Charakterystyka treningów badanych grup.....	45
3.5. Analiza statystyczna	46
IV. WYNIKI BADAŃ.....	48
4.1. Statystyki opisowe.....	48
4.1.1. Wskaźniki somatyczne	48
4.1.2. Wskaźniki sprawności fizycznej	51
4.1.3. Wyniki próby Jędrysa oraz granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz.....	60
4.2. Poprawa kondycji fizycznej pilotów – uzasadnienie statystyczne	67
4.3. Analiza korelacji.....	70
4.4. Analiza wariancji ANOVA	73

V. DYSKUSJA.....	80
VI. WNIOSKI.....	93
VII. PIŚMIENICTWO	94
STRESZCZENIE	108
ABSTRACT	115
WYKAZ TABEL I RYCIN.....	122
ANEKS.....	125

WYKAZ UŻYWANYCH SKRÓTÓW

ACM	(ang. <i>Air Combat Maneuver</i>) manewr walki powietrznej
ACP	(ang. <i>Aircrew Conditioning Programme</i>) program treningu kondycyjnego dla pilotów
AGSM	(ang. <i>Anti-G Straining Maneuver</i>) manewr przeciwprzeciążeniowy
A-LOC	(ang. <i>Almost Lack of Consciousness</i>) częściowa utrata świadomości
ANOVA	(ang. <i>ANalysis Of VAriance</i>) analiza wariancji
ATU	autorski trening ukierunkowany
BMI	(ang. <i>Body Mass Index</i>) wskaźnik masy ciała
FACP	(ang. <i>The Fighter Aircrew Conditioning Programme</i>) program treningu kondycyjnego dla pilotów samolotów wysokomanewrowych
G-LOC	(ang. <i>G-induced loss of consciousness</i>) całkowita utrata świadomości wywołana przyspieszeniem
GOR	(ang. <i>Gradual Onset Rate</i>) program liniowy narastania przyspieszeń +Gz
GTP	granica tolerancji przyspieszeń
HR	(ang. <i>Heart Rate</i>) częstość skurczów serca
KSPdL	Kondycyjno-Sprawnościowe Przygotowanie do Lotów
LAW	Lotnicza Akademia Wojskowa
LGPS	Lotnicze Gimnastyczne Przyrządy Specjalne
Ma	Mach – jednostka prędkości używana w lotnictwie
MVC	(ang. <i>Maximal Voluntary Contraction</i>) maksymalny skurcz dowolny
NATO	(ang. <i>North Atlantic Treaty Organization</i>) Organizacja Traktatu Północnoatlantyckiego
OUN	ośrodkowy układ nerwowy
PBG	(ang. <i>pressure breathing for G protection</i>) nadciśnienie oddechowe wspomagające tolerancję przyspieszeń +Gz
PSO	pilot samolotu odrzutowego
RGT	(ang. <i>relaxed G tolerance</i>) tolerancja przyspieszeń +Gz bez napinania mięśni
RWKL	Rejonowa Wojskowa Komisja Lotniczo-Lekarska
SACM	(ang. <i>Simulated Air Combat Maneuver</i>) symulowana walka powietrzna

SGT	(ang. <i>straining G tolerance</i>) tolerancja przyspieszeń +Gz przy napinaniu mięśni
WIML	Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej
WOSL	Wyższa Oficerska Szkoła Lotnicza
WOSzK	Wojskowy Ośrodek Szkolenia Kondycyjnego
WSOSP	Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych
ZSTLL	Zakład Szkolenia i Treningu Lotniczo-Lekarskiego

I. WSTĘP

Rozwój techniczny lotnictwa oraz wprowadzenie na wyposażenie lotnictwa wojskowego nowych samolotów bojowych (MiG-29, F-16, F/A-18, F-35) tzw. wysokomanewrowych postawiło nowe zadania przed medycyną lotniczą. O ile jeszcze niedawno zakres możliwych do wykonania ewolucji lotniczych był ograniczony wytrzymałością konstrukcji statku powietrznego, o tyle obecnie zdecydowanie najsłabszym elementem układu człowiek-maszyna jest sam pilot (Ernst 2010). Dlatego nastąpił wzrost znaczenia właściwego przygotowania pilota do wykonywania zawodu, nie tylko pod względem fachowym, ale także pod kątem przygotowania psychofizycznego (Raddin 1987).

W ocenie niezawodności działania pilota należy uwzględniać między innymi uwarunkowania psychofizyczne odnoszące się do sprawności funkcjonowania jego układów: krążenia i oddychania, mięśniowo-szkieletowego, narządu przedsionkowego, które są punktem wyjścia, jeżeli chodzi o planowanie i realizację misji lotniczych (Wolański 1999; Kobos, Jędrys, Wochoński 2011). Wykonywanie lotów w lotnictwie wojskowym, zwłaszcza na samolotach wysokomanewrowych, wiąże się z oddziaływaniem negatywnych czynników na organizm pilota. Powodowane jest to wielkością przyspieszenia, czasem jego trwania oraz zmianami szybkości, kierunku i pochylenia samolotu w stosunku do Ziemi. Takie zmiany wpływają na przepływ krwi w organizmie pilota i stopień zaopatrzenia w tlen naczyń mózgowych. To z kolei wpływa na procesy percepcyjno-motoryczne i skutkuje możliwościami odbioru i przetwarzania informacji oraz podejmowania adekwatnych reakcji sensomotorycznych na daną sytuację w trakcie realizacji zadań w powietrzu. Ponadto, działanie przeciążeń przyczynia się do przemieszczania płynów ustrojowych, niedotlenienia ośrodkowego układu nerwowego (OUN) i zaburzeń funkcji poznawczych (Zawadzka-Bartczak 2005).

Zawód pilota wojskowego jest profesją szczególną, zwłaszcza w odniesieniu do pilotów samolotów odrzutowych wysokomanewrowych (np. MiG-29, F-16, F/A-18, F-35). Środowisko pracy, jak i sam charakter zadań lotniczych mają znaczący wpływ na zdrowie i wydolność organizmu pilota. Dlatego istotne jest umiejętne połączenie dwóch ważnych dla pracy pilota wojskowego aspektów jego przygotowania, tzn. kompetencji zawodowych, które warunkują skuteczne i bezpieczne wykonywanie zadań lotniczych oraz

kondycji psychofizycznej, ze szczególnym uwzględnieniem wysokiej granicy tolerancji ustroju na przyspieszenia +Gz (Morawski 1994).

Trudność w praktycznym rozwiązaniu problemu poprawy tolerancji przyspieszeń +Gz wiąże się z tym, że przy działaniu przyspieszeń niezbędne jest określenie charakteru występujących u badanego kandydata na pilota reakcji fizjologicznych i psychologicznych (Newman 2015). Wymaga to spełnienia kilku niezbędnych warunków, jeżeli chodzi o zaprojektowany w kontekście rozwiązania niniejszego problemu eksperyment badawczy. Po pierwsze, każdy badany kandydat na pilota uczestniczący w eksperymencie musi być eksponowany na przyspieszenia o podobnych parametrach w zakresie wielkości, szybkości narastania i czasu trwania (tzn. parametrach fizycznych), a więc tym samym wywołujących porównywalne reakcje organizmu badanego. Po drugie, z praktycznego punktu widzenia w doświadczeniach prowadzonych w ramach eksperymentu należy zastosować bodźce o nasileniu zbliżonym do istniejących norm występujących w czasie realnego lotu, ustalonych dla pilotów wojskowych.

Celem podjętych badań była próba eksperymentalnego potwierdzenia, że włączenie do procesu przygotowania kondycyjnego kandydata na pilota samolotów wysokomanewrowych „autorskiego treningu ukierunkowanego” (ATU) realizowanego w Lotniczej Akademii Wojskowej w Dęblinie może wpłynąć na poprawę tolerancji ustroju pilota wojskowego na przyspieszenia +Gz oraz zwiększyć odporność na chorobę powietrzną poprzez ćwiczenia na Lotniczych Gimnastycznych Przyrządach Specjalnych (LGPS).

1.1. Czynniki wpływające na tolerancję ustroju pilota wojskowego na przyspieszenia +Gz

1.1.1. Definicja i podział przyspieszeń

W lotnictwie wojskowym podczas lotu samolotem w wyniku zmiany prędkości lub kierunku ruchu lub jednoczesnej zmiany obu tych wartości (walka powietrzna, manewry i akrobacje lotnicze) powstają przyspieszenia, wywołujące określone skutki fizjologiczne w organizmie pilota. Za jednostkę przyspieszenia przyjmuje się m/s^2 . Częściej jednak, zwłaszcza w nomenklaturze lotniczej, określa się wielkość przyspieszenia w jednostkach „G”, przyjmując za 1 G przyspieszenie grawitacyjne Ziemi wynoszące $9,81 m/s^2$.

Posługując się tą jednostką, można określić przyspieszenie jako wielokrotność przyspieszenia ziemskiego. W fizjologii lotniczej również w powszechnym użyciu jest termin siła G (ang. *G force*). Jednak jednostka G nie jest wartością siły lecz wartością przyspieszenia. Zgodnie z II prawem Newtona przy stałej masie obiektu (pilota) siła jest proporcjonalna do przyspieszenia. Stąd często zamiennie używa się terminu siła G lub przyspieszenie G (ang. *G acceleration*) (Newman 2015). Z II prawa Newtona wynika również, że przyspieszenie ciała jest proporcjonalne do przyłożonej siły i odwrotnie proporcjonalne do jego masy i odbywa się w kierunku zgodnym z kierunkiem przyłożonej siły (Halliday, Resnick, Walker 2015). Stąd można obliczyć także wartość siły działającej na ciało, jeśli znamy jego ciężar i przyspieszenie lub też wartość przyspieszenia, jeśli znamy ciężar ciała, na które działa przyspieszenie i wartość działającej siły. W obliczeniach tych można się posłużyć następującym wzorem (Wojtkowiak 1977):

$$F = \frac{aP}{g}$$

gdzie:

F – wartość działającej siły;

a – przyspieszenie w m/s^2 ;

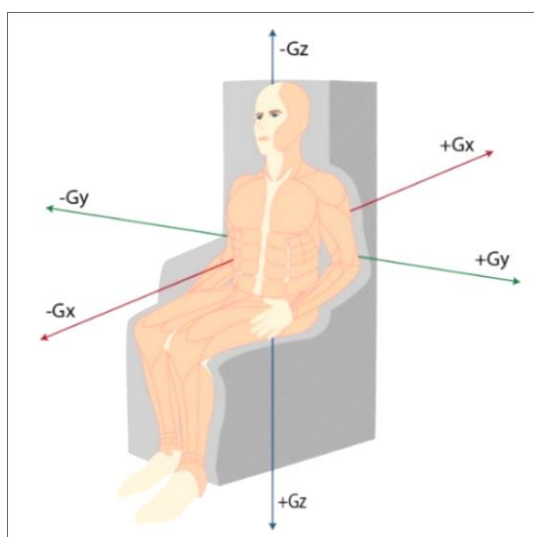
P – ciężar ciała.

Na podstawie tego wzoru oblicza się wielkość siły działającej na pilota wykonującego lot po torze krzywoliniowym. Zgodnie z III zasadą dynamiki Newtona siła ta wyzwała równą sobie pod względem wielkości, lecz przeciwnie skierowaną siłą odśrodkową, związaną z bezwładnością ciała. Wektor tej siły jest jednocześnie kierunkiem zmian zachodzących w organizmie. Wpływ sił mechanicznych działających w tych warunkach na ustrój pilota określa się terminem przeciążenie. Jest to wartość oderwana, wskazująca na stosunek pomiędzy ciężarem ciała w momencie działania przyspieszenia a jego ciężarem rzeczywistym. Inaczej mówiąc, jest to liczba wskazująca, ile razy siła, z jaką działa ciało przyspieszające, przewyższa ciężar ciała przyspieszanego (Wojtkowiak 1977).

Długotrwałe przeciążenie podczas działania przyspieszeń +Gz doprowadza do zaburzeń widzenia (krew odpływa z siatkówki oka), a im większa jest wartość przeciążenia, tym krócej może ono działać na organizm pilota bez obawy o niekorzystny wpływ na stan zdrowia (Wojtkowiak 1984; Banks i wsp. 2008; Green 2016). Organizm

człowieka dużo lepiej znosi przeciążenia dodatnie niż ujemne. Skutki przeciążenia u pilotów można zmniejszać poprzez zastosowanie różnych środków oddziaływania. Do tych środków zalicza się używany przez pilotów skafander przeciwprzeciążeniowy czy zmiana kąta nachylenia oparcia fotela, które wpływają na zmniejszenie przeciążeń organizmu. Ważną rolę odgrywa również systematyczny trening i dobra sprawność fizyczna pilota (Siitonen 2000).

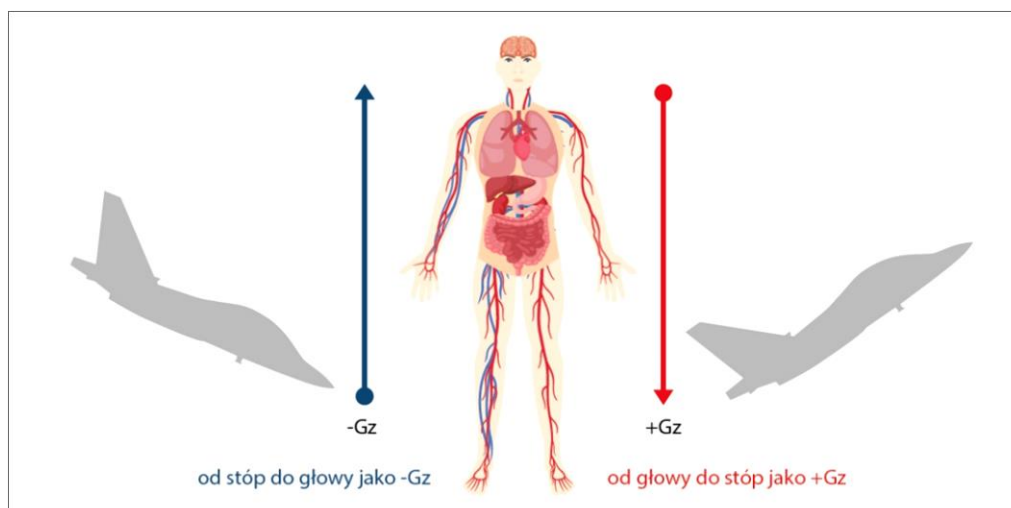
Wpływ przyspieszeń z punktu widzenia patofizjologii zależy od wielu czynników, wśród których należy wymienić wielkość przyspieszenia, czas jego działania, szybkość z jaką ono narasta oraz usytuowanie człowieka względem wektora działania siły bezwładności. Istotne znaczenie ma też stan kondycyjny i fizjologiczny ustroju człowieka (Kubiczkowa, Wojtkowiak, Jaśkowski 1990; Green 2016).



Ryc. 1. Kierunki oddziaływania przyspieszeń na organizm pilota

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Green N.D.C. (2016): Long duration acceleration [in:] Gradwell D.P., Rainford D.J. (red.): *Ernsting's aviation and space medicine*. Fifth ed. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 131-156.

Zgodnie z powyższą ryciną przecinające się osie x, y i z w środku ciężkości ciała określają kierunki działania przyspieszenia na organizm. Ponadto, każda ze strzałek określa kierunki przemieszczania się narządów i płynów ustrojowych pod wpływem działającego przyspieszenia. Pozwala także na określenie przesunięć całego ciała względem osi samolotu (Green 2016).



Ryc. 2. Działanie przyspieszeń w osi podłużnej ciała na organizm pilota

Źródło: opracowanie własne na podstawie: DeHart R.L. (1996): Fundamentals of Aerospace Medicine. Second edition. Williams & Wilkins, Michigan.

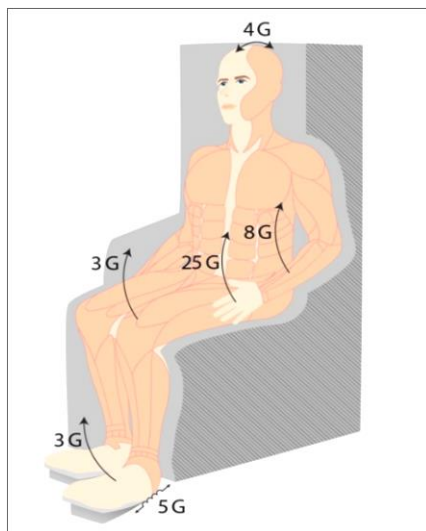
W lotnictwie na organizm pilota w czasie wykonywania zadań mogą oddziaływać następujące rodzaje przyspieszeń, wynikające ze zmiany kierunku i/lub prędkości samolotu:

- przyspieszenia w ruchu prostoliniowym, typowe dla startu i lądowania (hamowania - deceleracji) oraz katapultowania;
- przyspieszenia dośrodkowe spowodowane zmianą kierunku ruchu (wiraże, nurkowania, pętle);
- przyspieszenia kątowe spowodowane ruchem obrotowym samolotu o niewielkim promieniu (beczka, korkociąg);
- przyspieszenia złożone (Coriolisa), przy wykonywaniu obrotów wielu płaszczyznach, typowe dla samolotów akrobacji w sportach lotniczych (lub w sytuacjach awaryjnych) (Klukowski, Mazurek 2016).

1.1.2. Wpływ przyspieszeń na organizm pilota

Przyspieszenie wyższe od wartości przyspieszenia ziemskiego (1 G) jest odczuwalne przez człowieka. Pierwszym odczuciem jest wzrost ciężaru ciała prowadzący do wciskania pilota w podstawę fotela. W miarę dalszego narastania przyspieszenia dalej zwiększa się ciężar ciała. Utrzymanie głowy w pozycji wyprostowanej staje się coraz trudniejsze.

Ograniczone są ruchy ciała, występuje uczucie zbyt ciężkich kończyn (ryc. 3). Trudności w wykonywaniu zamierzonych ruchów pojawiają się już przy przyspieszeniach sięgających rzędu od +2,5 do +3 Gz (Wojtkowiak 1977).



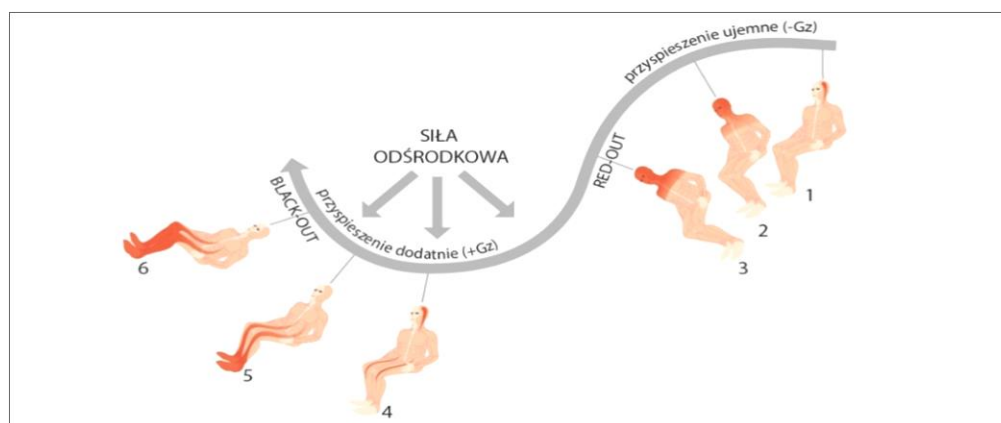
Ryc. 3. Wartości przyspieszeń ograniczające wykonywanie ruchów dowolnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Wojtkowiak M. (1977): Fizjologia przyspieszeń [w:] Barański S. (red.): Medycyna lotnicza i kosmiczna. Warszawa, PZWL, 101.

W warunkach dodatniego przyspieszenia (+Gz) efektywny ciężar całego ciała wzrasta. Luźne tkanki ciała są ściągane w kierunku oddziaływania przyspieszenia. Najbardziej widoczne jest to na skórze twarzy. Efektywna masa ciała jest wtedy wielokrotnie większa, siła mięśni pozostaje taka sama, a wykonywanie ruchów staje się coraz trudniejsze. Widoczne jest to w sytuacji, kiedy pilot opuszcza głowę, a ponowne jej podniesienie nie jest możliwe ze względu na działanie przyspieszenia. Podobnie zachowują się kończyny. Krew staje się cięższa, co obniża ciśnienie krwi powyżej poziomu serca. Poniżej poziomu natomiast ciśnienie wzrasta i w rezultacie dochodzi do gromadzenia się krwi w kończynach dolnych. Niewydolność normalnego powrotu krwi żyłnej do serca zmniejsza dopływ krwi żyłnej, która jest dostępna w płucach, co ogranicza późniejszą jej redystrybucję w organizmie. Samo serce ze względu na swoją masę przemieszcza się w dół, co zwiększa pionową odległość serca od głowy. W efekcie słup krwi jest cięższy niż normalnie (Dobie 1972; Klukowski, Mazurek 2016).

Podczas lotu najczęściej występują przyspieszenia dośrodkowe. W czasie ich trwania siła odśrodkowa działa równolegle do długiej osi ciała w kierunku od głowy do kończyn

dolnych. W tych warunkach występuje silne działanie przyspieszenia na krew zawartą w naczyniach krwionośnych (ryc. 4). Powstają zmiany w rozmieszczeniu krwi i płynów ustrojowych. Krew zaczyna przemieszczać się do dolnych partii ciała. Wzrost ciśnienia w dolnych częściach ciała powoduje przekrwienie i zastój w okolicy bioder i kończyn dolnych (Wojtkowiak 1977). 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 odpowiedź odruchowa 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. Pojawiają się zaburzenia wzrokowe, które stanowią potencjalne niebezpieczeństwo dla pilota prowadzącego samolot (Gembicka, Wojtkowiak, Kuzak 1990; Banks i wsp. 2008).



Ryc. 4. Skutki oddziaływania przyspieszeń dośrodkowych na organizm pilota

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Dobie T.G. (1972): Aeromedical Handbook for Aircrew. Deputy Director of Aviation Medicine (RAF), Ministry of Defence London, England, AGARDograph 154, 84-98.

W wyniku zaburzenia krążenia krwi oko i mózg są czasowo pozbawione tlenu. Rozpoczyna się częściowa urata widzenia (ang. *grey-out*), natomiast po zwiększeniu przyspieszenia o około 1 G następuje całkowita utrata widzenia (ang. *black-out*). Utrata wzroku zaczyna się na obrzeżach pola widzenia i stopniowo rozprzestrzenia się na środek, co w konsekwencji prowadzi do fazy szarości, którą można porównać do patrzenia w dół

mglistego tunelu. Ciśnienie krwi natomiast jest nadal wystarczające do podtrzymania funkcji mózgu (Dobie 1972).

Nasilenie skutków oddziaływania przyspieszeń odczuwa się przy wartościach od +3 do +4 Gz, gdzie zostaje zwężone widzenie peryferyjne. Przy wartościach od +4 do +5 Gz prawdopodobnie u pilota nastąpi zjawisko *grey-out*, które ostatecznie doprowadzi do zjawiska *black-out* (Alvin 1995). Jednak na indywidualną tolerancję G niekorzystny wpływ ma wiele innych czynników. Do tych czynników zalicza się: głód, alkohol, nadmierne palenie, niedawna choroba, zmęczenie i niedotlenienie (Kuński, Klukowski 1996). W badaniach eksperymentalnych na wirówce przeciążeniowej wykazano, że od wielkości nalotu pilotów na samolotach wysokomanewrowych zależy ich zdolność do wykonywania wielokrotnych powtórzeń wysokich wartości przyspieszeń +Gz. Piloci z nalotem jednego roku, w porównaniu do pilotów z nalotem trzymiesięcznym lub półrocznym, wykazywali największą zdolność regeneracji po działaniu przyspieszeń oraz zdolność do ich ponownego tolerowania (Myunghwan i wsp. 2017).

Przyspieszenia kątowe spotyka się głównie podczas wykonywania korkociągu i beczi, a więc w figurach o małym promieniu obrotu. Wzrastają one wraz ze zwiększeniem prędkości lotu i zależą od płynności wychyleń sterów. Duże znaczenie ma doświadczenie pilota. Doświadczony pilot podczas wykonywania akrobacji osiąga mniejsze przyspieszenia na tych samych reżimach niż pilot mało doświadczony, u którego brak jest płynności wychyleń sterów. Zaburzenia w ustroju pilota spowodowane działaniem przyspieszenia kąowego zależne są od wielkości przyspieszeń, kierunku działania, czasu trwania, częstotliwości występowania oraz szybkości narastania lub zmniejszania się wielkości przeciążeń (Jędrys, Breszka, Kowalczyk 2020).

1.1.3. Choroba powietrzna

Choroba powietrzna jest analogicznym zjawiskiem do choroby lokomocyjnej i morskiej (Rawat i wsp. 2002). Jest to reakcja organizmu na kołysanie i huśtanie, czyli na niewielkie, ale zmienne przyspieszenie. Na takie powtarzające się przyspieszenie wrażliwy jest przede wszystkim błędnik, a dalsze objawy są jedynie następstwem jego podrażnienia. Charakterystycznymi i stałymi objawami zewnętrznymi choroby powietrznej są: biała twarz, pojawiające się zimne poty na rękach i czole, spadek temperatury czoła i policzków. Pojawiają się również nudności i wymioty, apatia, bóle głowy, które są stałymi objawami. Niektórzy ludzie doświadczają wielu tych efektów, czując się chorym przez dłuższy czas,

ale w rzeczywistości mogą nie wymiotować, inni z kolei mają stosunkowo krótki okres ostrzegawczy, wymiotują i prawie natychmiast czują się lepiej. Bardzo dużą rolę odgrywa tu indywidualna wrażliwość. Nasilenie objawów może się wahać w bardzo szerokich granicach. Niemalą rolę w ewentualnym wystąpieniu choroby powietrznej odgrywa stan emocjonalny i zaabsorbowanie psychiczne. Lecący pilot jako pasażer jest znacznie podatniejszy na chorobę niż osoba aktualnie zajęta pilotowaniem (Ortega, Harm 2008).

Zawroty głowy występują w najcięższych formach choroby powietrznej. Do objawów zawrotu głowy należą między innymi uczucie ruchu ciała bez możliwości określenia kierunku lub uczucie ruchu otoczenia. Najbardziej przykre jednak są uczucia ruchu obrotowego (Narożny, Prusiński 2014).

Wymioty są wywoływane poprzez pobudzenie narządów otolitowych, woreczka i łagiewki. Inne czynniki, które można nazwać obocznymi, choć same nie wywołują choroby powietrznej, to wywierają tak silne działanie, że mogą spowodować wystąpienie objawów chorobowych nawet przy zupełnie normalnej pobudliwości błędników. Zatem częstość i ostrość występowania choroby powietrznej zależy z jednej strony od gwałtowności i czasu trwania przyspieszeń działających na błędniki, z drugiej od wrażliwości samych błędników. Ruchy głowy podczas przyspieszania samolotu predysponują do choroby powietrznej ze względu na stosunkowo duże przyspieszenia kątowe wywierane na kanały półkoliste poprzez mały promień skrętu głowy. Ponadto, ruch głowy podczas obracania się samolotu może spowodować uruchomienie kanałów półkolistych powodujących gwałtowne zaburzenie przepływu płynu (endolimfy) w tych kanałach. Daje to silne poczucie rotacji na świadomym poziomie. Jednak doświadczeni piloci szybko dostosowują się do tego typu zaburzeń i przyspieszeń, które występują przy różnych manewrach w locie i objawy szybko mijają (Dai i wsp. 2010; www.asams.org, dostęp: 30.12.2021).

Odporność organizmu na chorobę powietrzną może być różna, lecz zmniejsza się ona na skutek wyczerpania fizycznego i psychicznego, choroby, braku snu, znużenia długotrwałym lotem, głodu, nieodpowiedniego i w niewłaściwym czasie spożytego posiłku, głodu tlenowego, nadużyć seksualnych, alkoholu. Kolejnym czynnikiem wyraźnie hamującym występowanie choroby jest skupienie uwagi, z kolei dobra widoczność ze stałymi punktami terenowymi zapobiega objawom choroby powietrznej (Wood i wsp. 1994).

Zapobieganie chorobie powietrznej ogranicza się do selekcji i prowadzenia higienicznego trybu życia. Selekcja w stosunku do zawodowego personelu latającego jest

konieczna już w chwili przyjmowania do szkół lotniczych. Nie można liczyć na to, że osoby o wzmożonej pobudliwości błędnikowej przystosują się i nie zapadną na chorobę powietrzną. Konieczność prowadzenia higienicznego trybu życia sprowadza się do stosowania wszystkich wymienionych czynników, które zapobiegają i podnoszą odporność organizmu na chorobę powietrzną oraz na unikaniu wszystkiego tego, co tę odporność zmniejsza (Ortega, Harm 2008; www.flyaeroguard.com, dostęp: 30.12.2021). Na chorobę powietrzną uodporniają przede wszystkim same loty, stąd długie przerwy w lotach zwiększają wrażliwość układu przedsionkowego na przyspieszenia kątowe, kołysania, przepadania, itp.

Innymi środkami zapobiegania chorobie powietrznej u personelu lotniczego, o których należy wspomnieć, jest uczestnictwo w turnusach szkoleniowo-kondycyjnych¹, uprawianie gier ruchowych, sportów oraz gimnastyki specjalnej w tym ćwiczeń ukierunkowanych i specjalnych na LGPS (looping, żyroskop, koło reńskie) (Kłossowski, Turski 1980) oraz treningi fizjologicznej adaptacji na krześle obrotowym Barany'ego (www.asams.org, dostęp: 30.12.2021).

1.1.4. Dezorientacja przestrzenna podczas lotu

Zjawisko dezorientacji przestrzennej jest postrzegane jako jedna z przyczyn wypadków lotniczych. Dezorientacja przestrzenna jest definiowana jako błędne odczucie położenia i ruchu w stosunku do powierzchni Ziemi. Wrażenie to jest zależne od wielu różnych czynników. Prawdłowo określone położenie ciała względem Ziemi i otoczenia bardzo ściśle wiąże się z integracją informacji płynących z narządu wzroku, błędnika i proprioceptorów (Dai i wsp. 2010). Piloci nieświadomie ulegający zjawisku dezorientacji przestrzennej, mając zafałszowany obraz rzeczywistości, podejmują błędne decyzje, prowadzące często do tragicznych w skutkach zdarzeń i wypadków lotniczych (Clark, Rupert 1992; Newman 2007; Stott 2013, 2017).

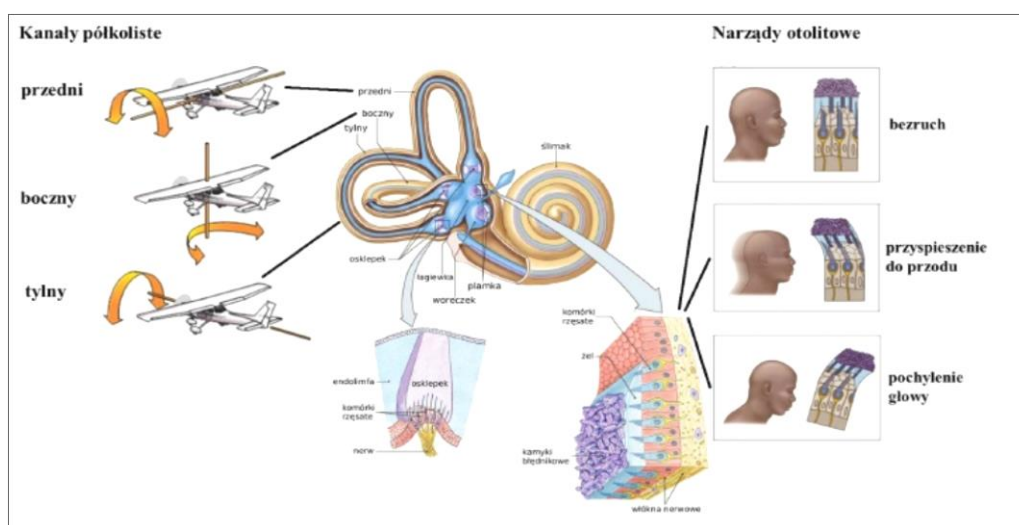
Spośród różnych rodzajów dezorientacji przestrzennej na uwagę zasługuje forma zaburzeń przedsionkowych, które można niwelować poprzez treningi na LGPS lub w symulatorach dezorientacji przestrzennej (Gyrolab) (Kowalczyk i wsp. 2002;

¹ Każdy członek personelu lotniczego służący w polskich Siłach Powietrznych musi raz w roku odbyć obowiązkowy turnus szkoleniowo-kondycyjny, który trwa 21 dni. Szkolenie kondycyjne odbywa się w Wojskowym Ośrodku Szkoleniowo-Kondycyjnym (WOSzK). W Polsce mamy dwa takie ośrodki, które są zlokalizowane w Mrągowie i Zakopanem. Program szkolenia prowadzony przez WOSzK jest bardzo obszerny i obejmuje: turystykę pieszą i rowerową, gry zespołowe, narciarstwo zjazdowe, żeglarstwo, kajakerstwo, autoratownictwo lotnicze i wodne, sporty siłowe oraz walkę wręcz.

Lewkowicz, Kowaleczko 2019; www.etcaircrewtraining.com, dostęp: 20.11.2021; www.wiml.waw.pl, dostęp: 28.11.2021).

Dezorientacja typu pochodzenia przedsionkowego ma bardzo złożone przyczyny. Może ona wystąpić w wyniku zakłóceń integracji impulsów napływających z poszczególnych trzech układów: narządu wzroku, proprioceptorów i błędniaka, wśród których najbardziej stresorodnym jest narząd przedsionkowy. Nieprawidłowości w przekazywaniu bodźców wychodzących z narządu przedsionkowego do ośrodkowego układu nerwowego mogą wystąpić w obrębie trzech jego dróg. Ich klinicznymi objawami są zawroty głowy, oczopląs i zaburzenia równowagi. Występują one częściej u młodych pilotów w początkowych okresach szkolenia lotniczego oraz u pilotów ze zwiększonym nalotem, ale po dłuższych przerwach w lotach (Richard, Reinhart 2008; Tchórzewski, Bujas, Jaworski 2013).

W celu zrozumienia istoty złudzeń pochodzenia przedsionkowego należy podkreślić, że receptory narządu przedsionkowego człowieka (kanały półkoliste oraz narządy otolitowe) nie są doskonałymi sensorami bodźców ruchowych (ryc. 5). Dotyczy to również ośrodkowego układu nerwowego (OUN), który podczas przetwarzania odpowiedzi z receptorów nie uwzględnia wszystkich praw fizyki (II prawo Newtona), a także zależności różniczkowej między położeniem, prędkością i przyspieszeniem. Powyższe właściwości sprzyjają występowaniu u pilota błędów percepcyjnych i złudzeń, które definiują ograniczenia człowieka w utrzymaniu poprawnej orientacji przestrzennej (Cutfield, Bronstein 2017; Lewkowicz, Kowaleczko 2018).



Ryc. 5. Funkcje poszczególnych receptorów narządu przedsionkowego

Źródło: Silverthorn D.U. (2007): Human physiology: an integrated approach, 5th ed. Pearson.

Opisywane w fizjologii i medycynie lotniczej przyspieszenia Coriolisa wywołują specyficzne rodzaje reakcji układu przedsionkowego. Efekt Coriolisa występuje, gdy pilot obróci głowę w płaszczyźnie różnej od kierunku lotu samolotu poruszającego się ze stałą prędkością kątową. Zatem efekt ten występuje przy dodatkowym przyspieszeniu podczas ruchu złożonego. Pojawia się wtedy odbiór ruchu w nowej płaszczyźnie, w której nie ma ruchu rzeczywistego. W rozwoju efektu przedsionkowego (Coriolisa) ważne są trzy czynniki: W_1 – stała prędkość kątowa obracającego się systemu; W_2 – prędkość kątowa systemu dodatkowego; W_t – czas działania W_2 . Stąd powyższy efekt wyraża się wzorem: $\text{Efekt Coriolisa} = W_1 \cdot W_2 \cdot t$. Ustala on także zależność pomiędzy efektem Coriolisa a czynnikami decydującymi o jego rozwoju. Przy dużych wartościach W_1 , już nawet nieznaczne ruchy głowy powodują zawrót Coriolisa. Uważa się, że efekt Coriolisa jest jednym z najmniejbezpieczniejszych odczuć pochodzenia przedsionkowego, mogącego spowodować utratę panowania nad samolotem (Kubiczkowa 1977).

Mechanizm fizjologiczny występowania tych złudzeń wynika z naprzemiennego wstawiania się w płaszczyznę rotacji wszystkich kanałów półkolistych, co powoduje chaotyczny przepływ endolimfy w ich świetle. Wyzwała to w następstwie drażnienia receptorów bańkowych występowanie nieskoordynowanego oczopląsu o kierunku stale zmieniającym się, zależnym od aktualnie drażnionych kanałów. To z kolei jest przyczyną sprzecznych informacji wysyłanych do ośrodkowego układu nerwowego w stosunku do innych receptorów obwodowych, narządu wzroku i proprioreceptorów skóry mięśni i stawów, co powoduje często zaburzenia z zakresu układu wegetatywnego, manifestujące się gwałtownymi zawrotami głowy, a u osób wrażliwych rozwijaniem się pełnoobjawowej choroby lokomocyjnej (Rawat i wsp. 2002; Parmet, Ercoline 2008). Efekt Coriolisa jest jednym z najbardziej negatywnych czynników zaburzających funkcjonowanie układu przedsionkowego. Jednak można za pomocą specjalnych testów zniwelować jego oddziaływanie. Osiągniemy to dzięki treningowi na krześle obrotowym Barany'ego oraz loopingu odczopowanym (www.asams.org, dostęp: 30.12.2021; Jędrys 2015).

1.1.5. Wpływ przyspieszeń na układ mięśniowo-szkieletowy kręgosłupa

Populacja pilotów wojskowych jest szczególnie narażona na przeciążenia statyczno-dynamiczne kręgosłupa. Wpływają na nie czynniki środowiska lotu, takie jak: przyspieszenia występujące podczas figur pilotażu, lądowania awaryjne, katapultowania, wibracje, wymuszona pozycja w kabinie samolotu oraz masa dodatkowa wyposażenia

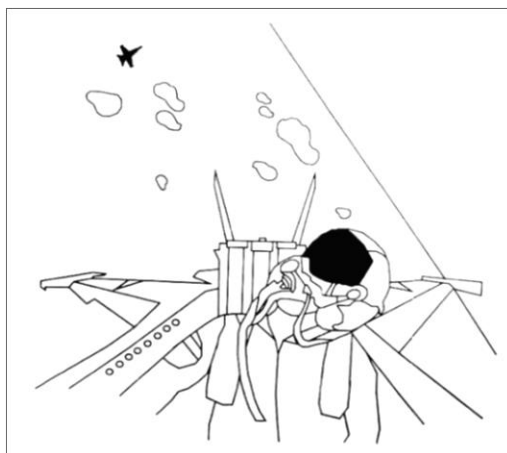
lotniczego (hełmofony, kaski, maski tlenowe, gogle noktowizyjne, celowniki optyczne) (Rintala i wsp. 2017; Zawadzka-Bartczak, Kopka, Kopka 2018). Dodatkowym czynnikiem obciążającym kręgosłup pilota w samolotach odrzutowych nowej generacji są rotacje głowy i szyi, które występują w czasie przedłużonego działania dużych wartości przyspieszeń +Gz. Rotacje te są związane z obserwacją celów oraz prowadzeniem walki powietrznej (Lange, Torp-Svendsen, Toft 2011; Wagstaff, Jahr, Rodskier 2012; Sovelius i wsp. 2020). W dotychczasowych doniesieniach lotnictwa transportowego, śmigłowcowego oraz bojowych samolotów odrzutowych szczególną uwagę zwraca się na zespoły bólowe dolnego odcinka kręgosłupa. Jednakże w miarę rozwoju techniki lotniczej i pilotowania samolotów wysokomanewrowych u pilotów coraz częściej zaczęły występować zespoły bólowe, przeciążenia i urazy szyjnego odcinka kręgosłupa (Talar 1994).

Urazy odcinka szyjnego kręgosłupa wywołane dużymi wartościami przyspieszeń +Gz są częstym problemem współczesnych pilotów samolotów wysokomanewrowych. Zwiększony ciężar głowy pilota będący następstwem działania przyspieszeń oraz dodatkowego wyposażenia (m.in. hełmu, maski tlenowej) narusza równowagę statyczno-dynamiczną jego struktur: mięśniowych, więzadłowo-stawowych czy kostnych (Albano, Stanford 1998). Jednakże podłoże jest wieloczynnikowe. Istnieje wiele czynników, które są silnie powiązane z rozwojem urazów szyi. Do tych czynników oprócz wysokich wartości przyspieszeń +Gz zaliczają się: wiek, typ statku powietrznego oraz rodzaj wykonywanej misji lotniczej (Newman 1997; Hermes, Webb, Wells 2010; Honkanen i wsp. 2018).

Odcinek szyjny może tolerować najwyższe przyspieszenia +Gz, ale tylko w neutralnej, pionowej pozycji (Helleur, Gracovetsky, Farfan 1984). W środowisku ACM² (ang. *air combat maneuvering*) pilot samolotu odrzutowego jest poddawany zmiennym i powtarzalnym obciążeniom o wysokich wartościach przyspieszeń +Gz (ryc. 6). Szyja pilota znajduje się wówczas przez większość czasu w niekorzystnym położeniu, gdzie odcinek szyjny jest mniej zdolny do tolerowania znacznych przyspieszeń +Gz. Taka pozycja wiąże się także ze znacznymi odchyleniami od normalnego ustawienia osiowego odcinka kręgosłupa. W konsekwencji prowadzi do maksymalnej rotacji bocznej, przeprostu lub różnych niekorzystnych oddziaływań (Netto, Burnett 2006). Sumowanie się

² ACM to taktyczna sztuka poruszania się, obracania lub ustawienia myśliwca w celu uzyskania pozycji, z której można wykonać atak na inny samolot. Manewr ten jest wykonywany w walce powietrznej w celu uzyskania przewagi nad powietrznym przeciwnikiem (myśliwcem wroga).

tych czynników w dłuższym odcinku czasu może przekroczyć zdolności wytrzymałościowe mięśni i więzadeł szyi, co prowadzi do urazów (Newman 1997; Desviat i wsp. 2007; Wagstaff, Jahr, Rodskier 2012).



Ryc. 6. Pozycja głowy pilota podczas manewrów w walce powietrznej ACM

Źródło: Newman D.G. (2015): High G Flight. Physiological Effects and Countermeasures. ASHGATE, Burlington, 86.

W normalnych warunkach przy +1 Gz głowa pilota waży średnio około 5 kg. Jeśli dodamy typowy hełm i maskę tlenową, które ważą razem około 2 kg, łączna masa przy przyspieszeniu +1 Gz wzrośnie do 7 kg. Natomiast przy +9 Gz mięśnie odcinka szyjnego kręgosłupa muszą poradzić sobie już z 63-kilogramowym ciężarem przenoszonym przez głowę na kręgosłup szyjny (Newman 2015).

Urazy szyi wywołane przez wysokie wartości przyspieszeń są poważnym problemem medycyny lotniczej i wiele uwagi poświęca się zapobieganiu tak powszechnym urazom. Istnieją dwa podstawowe sposoby zapobiegania urazom:

- trening siłowy mięśni szyi w celu zwiększania siły;
- strategię pozycjonowania głowy podczas lotu.

Pierwszy z nich opiera się na założeniu, że każde odchylenie od normalnego ustawienia osiowego szyi będzie predysponować do urazu, szczególnie jeśli wystąpi przy dużych wartościach przyspieszeń +Gz (Burnett, Naumann, Burton 2004; Thoolen, Van den Oord 2015). Dlatego zaleca się trening siłowy mięśni szyi jako sposób na poprawę zdolności mięśni szyi do lepszego podparcia głowy, a tym samym do znoszenia większych wartości przyspieszeń +Gz (Chini i wsp. 2019). Jednakże programy treningowe wdrażane przez Siły Powietrzne różnych państw nie są takie same. Niektóre programy treningowe

wykorzystują standardowy sprzęt gimnastyczny, podczas gdy inne wykorzystują bardziej nowatorskie techniki w postaci ćwiczeń stacjonarnych, użycia gum gimnastycznych czy specjalnie obciążone kaski, a nawet trampoliny (Sovelius i wsp. 2006; Netto, Burnett, Coleman 2007). W polskim lotnictwie wykorzystuje się ćwiczenia stacjonarne w postaci ćwiczeń izometryczno-oddechowych, manewry przeciwprzeciążeniowe (M-1, L-1) oraz ćwiczenia na LGPS (żyroskop, koło reńskie, looping) (Wojtkowiak 1989; Jędrys, Breszka, Kowalczyk 2020). Ostatnie badania wskazują, że większe prawdopodobieństwo powstania urazów odcinkach szyjnego kręgosłupa występuje u młodych pilotów. Fakt ten przypisuje się założeniom, iż starsi piloci ze względu na większy nalot mają większe umiejętności pozycjonowania (ułożenia głowy) w czasie ekspozycji na wysokie wartości przyspieszeń +Gz aniżeli młodzi piloci. W celu zapobiegania tym urazom młodzi piloci powinni jak najszybciej opanować technikę pozycjonowania głowy i prowadzić regularny trening mięśni ramion i szyi oraz sukcesywnie budować nalot lotniczy na danym typie statku powietrznego (Hermes, Webb, Wells 2010).

Najlepszym podejściem do zminimalizowania skutków oddziaływania przyspieszeń +Gz jest umiejętne wykorzystanie treningu siłowego w pracy zawodowej pilota. Ponadto, istotne jest rozszerzenie badań epidemiologicznych i pełniejsza analiza wieloczynnikowych determinantów ryzyka urazów kręgosłupa. Tylko w ten sposób można opracować odpowiednie środki zaradcze w przyszłości (O'Connor i wsp. 2020; Zawadzka-Bartczak i wsp. 2020).

1.2. Kondycyjne przygotowanie do lotu jako element treningu fizycznego poprawiającego tolerancję ustroju pilota wojskowego na przyspieszenia +Gz

Konieczność specjalnego przygotowania pilota była rozumiana już od początku lotnictwa. Fakt ten zauważono już przed II wojną światową. Z tego okresu datują się pierwsze prace dotyczące głównie możliwości wpływania drogą treningu fizycznego na obniżenie wrażliwości pilota na działanie przyspieszeń kątowych. W okresie powojennym w polskim lotnictwie kontynuowano poszukiwanie metod podnoszenia tolerancji na szkodliwe czynniki lotu podczas szkolenia młodych pilotów (Stechni 1982). Skonstruowano i wprowadzono wówczas do szkolenia tzw. Lotnicze Gimnastyczne Przyrządy Specjalne, jak obecnie określa się tego rodzaju zestawy, w skład których

wchodzą następujące przyrządy: looping, żyroskop i koło reńskie (Dziewoński 1977; Jędrys, Breszka 2020; Wochoński, Krawczyk, Cur 2020). Na temat specjalnego treningu lotniczego w armiach innych państw brak jest wystarczających danych z tego okresu. Obecnie stale ewoluują i zmieniają się formy i sposób działania w tym obszarze. Jest to jedna z tych dziedzin, które systematycznie muszą unowocześniać metodykę pracy, aby dostosować się do wciąż zmieniających się wymagań, jakie wiążą się z rozwojem technicznym lotnictwa. W poszczególnych armiach (Siły Powietrzne) osiąga się złożone cele w różny sposób (Rausch i wsp. 2021).

Od wprowadzenia na wyposażenie lotnictwa samolotów odrzutowych problem dużych przyspieszeń i ich wpływ na bezpieczeństwo lotów jest ciągle aktualny. Zagadnienie to nabiera szczególnego znaczenia w czasie lotu na współczesnych wysokomanewrowych samolotach wojskowych. Istnieje na nich możliwość uzyskania przyspieszeń nieporównywalnie większych niż w przeszłości. Możliwości te, doskonale z punktu widzenia bojowego, są niestety często dużym zagrożeniem dla załogi (Rintala 2017).

Głównymi czynnikami decydującymi o końcowej zdolności pilota do wykonywania lotów są:

- odpowiedni stan zdrowia obejmujący pełnię zdrowia fizycznego i psychicznego (w tym sprawność i wydolność fizyczną, z akcentem na wysiłki anaerobowe);
- predyspozycje psychiczne, na które składają się cechy charakteru tj.: temperament, inteligencja, zdolności poznawcze itp.;
- zdolności szybkiej adaptacji do różnych warunków higienicznych (hałas, temperatura, wilgotność, oświetlenie itp.) oraz do pracy o różnych porach doby i o różnym czasie trwania;
- poziom tolerancji czynników lotu, świadczący o odpowiednim stopniu odporności organizmu na działanie specyficznych dla lotnictwa bodźców środowiskowych (przyspieszenia liniowe i kątowe, zaburzenia orientacji przestrzennej, niedotlenienie wysokościowe w sytuacjach awaryjnych itp.);
- przygotowanie zawodowe, rozumiane jako całość teoretycznej wiedzy fachowej i praktycznych umiejętności pilotażowych (Kobos, Jędrys, Wochoński 2017).

Fizyczne i fizjologiczne metody zwiększania granicy tolerancji przyspieszeń są aktualnie zaliczane do najważniejszych problemów współczesnego lotnictwa wojskowego.

Wynika to nie tylko z konieczności zwiększania wartości bojowej pilota, ale przede wszystkim z ogromnych kosztów sprzętu bojowego i wyszkolenia lotniczego (Wojtkowiak 1998). W różnych laboratoriach przyspieszeń trwają poszukiwania optymalnych metod zabezpieczenia pilota poprzez wprowadzenie nowoczesnych ubiorów przeciwprzeciążeniowych oraz automatycznie rozkładanych foteli zmieniających pozycję pilota względem wektora przyspieszenia. Dodatkowo, zwiększenia granicy tolerancji na przyspieszenia w osi +Gz poprzez poddawanie pilota próbom krążeniowo-oddechowym (manewry M-1, L-1), działania przyspieszeń w wirówkach przeciążeniowych oraz poprzez odpowiedni fizyczny trening specjalistyczny i ukierunkowany (Wojtkowiak 1984; Slungaard i wsp. 2019; Lin i wsp. 2020; Rausch i wsp. 2021).

1.2.1. Manewry przeciwprzeciążeniowe

Utrata świadomości przez pilota podczas wykonywania zadania w powietrzu jest sytuacją absolutnie niepożądaną (Burton 1988; Jasiński 2005). Zapobieganie temu zjawisku podczas działania szczytowych wartości przyspieszeń polega na utrzymaniu odpowiedniego ciśnienia tętniczego krwi na poziomie głowy. W tym celu wdrożono wiele środków zaradczych, zarówno technicznych, jak i fizjologicznych (Forester, Whinnery 1988; Bezerra i wsp. 2018). Do najbardziej znanych, a jednocześnie skutecznych, metod umożliwiających wytrzymanie dużych wartości przyspieszenia zaliczyć należy próby krążeniowo-oddechowe, określone w piśmiennictwie symbolami M-1, L-1 tzw. AGSM (ang. *Anti-G Straining Maneuver*). Poprawne wykonanie tych prób zwiększa tolerancję przyspieszenia o 1,5–2,5 G. Wymaga jednak od pilota systematycznego treningu kształtującego siłę i koordynację określonych grup mięśni szkieletowych, a także bezbłędnego wyuczenia kolejno wykonywanych czynności (Wojtkowiak 1989; Operations G Awareness for Aircrew 2014).

Wyróżnia się dwa główne typy manewrów przeciwprzeciążeniowych (ang. *Anti-G*): M-1, L-1. Sposób wykonania obu prób i ich mechanizm fizjologiczny składa się z równoczesnego wykonywania trzech czynności: wciągnięcia głowy w ramiona, wolnych i silnych wydechów poprzez całkowicie lub częściowo zamkniętą głośnię oraz równoczesnego napięcia wszystkich mięśni szkieletowych (Klukowski, Kowalski 1989; Kopka i wsp. 2009).

Manewr M-1 polega na wykonaniu energicznych wydechów przy częściowo zamkniętej głośni. Wciągnięcie głowy w ramiona służy zwiększeniu tolerancji

przyspieszeń +Gz poprzez zmniejszenie pionowej odległości oko-serce. Wskutek napięcia mięśni klatki piersiowej dla pokonania wydechem częściowo zamkniętej głośni wzrasta ciśnienie wewnątrz klatki piersiowej. Skurcz mięśni brzucha podnosi przeponę i wraz z napięciem mięśni kończyn dolnych uciska z zewnątrz naczynia pojemnościowe. Dodatkowe napięcie mięśni kończyn górnych na drodze odruchowej (wzrost wydzielania noradrenaliny) podnosi skurczowe ciśnienie tętnicze krwi (o wartość zwiększającą tolerancję o 0,6 G). Wydechy powtarza się z częstością 1 wydech na 2–3 sekundy, w wyniku czego powstają fluktuacyjne wahania ciśnienia między klatką piersiową a jamą brzuszną. W czasie długotrwałych przyspieszeń manewr może być powtarzany co 4–5 sekund. Przy czym faza wdechowa musi być szybkim nabraniem powietrza z natychmiastowym rozpoczęciem wydechu, bowiem podczas fazy wdechowej dochodzi do raptownego spadku ciśnienia tętniczego krwi. Wiele załóg korzysta z tego manewru, który łączy wiele technik i skutecznie podnosi tolerancję +Gz (ang. *highly maneuverable aircraft*). W opisie doznań subiektywnych pilotów porównują manewr M-1 do wysiłku fizycznego obserwowanego podczas podnoszenia dużego ciężaru (Klukowski, Kowalski 1989). Większa skuteczność tego manewru od próby Valsalvy wynika z zachowania się przepony, która progresywnie unosi się w miarę kontynuowania wydechów, dzięki czemu skraca się wysokość słupa ciśnienia hydrostatycznego krwi między sercem a poziomem mózgu. Zjawisko to nie występuje podczas wykonywania próby Valsalvy, gdyż przepona nie wykonuje żadnych ruchów (Dobie 1972).

Zmodyfikowana próba Valsalvy jest odmianą manewru M-1 i jest jedną z technik oddechowych, która stanowi integralną część submaksymalnego lub maksymalnego napięcia mięśni szkieletowych. Polega ona na energicznym wydechu powietrza przy zamkniętej głośni, co powoduje wzrost ciśnienia w klatce piersiowej i jamie brzusznej. Korzystnym wynikiem stosowania tej próby jest wzrost ciśnienia wewnątrz płucnego i w związku z tym zwiększonej dyfuzji tlenu do krwi, jak również podniesienia ciśnienia krwi opuszczającej serce. Wykonywanie manewru przez dłuższy czas jest jednak niebezpieczne, gdyż łatwo może doprowadzić do utraty świadomości, nawet przy niedużych wartościach przyspieszeń. Przyczyną tego stanu jest blokada ciśnienia powietrza wewnątrz klatki piersiowej, utrudniająca dopływ krwi z obwodu oraz rozpoczęcie narastania procesu niedotlenienia. Krew opływając pęcherzyki płucne, jest w stanie pobrać całą możliwie dostępną ilość tlenu przez około 3 sekundy. Dłuższe wstrzymywanie oddechu powoduje spadek utlenowania krwi. Zwiększone ciśnienie w śródpiersiu doprowadza niestety do zalegania krwi żyłnej w naczyniach obwodowych i utrudnia jej

dopływ do serca. Jest to dodatkowy argument za tym, aby nie wykonywać manewru dłużej niż 3 sekundy (Shubrooks, Leverett 1973; Jędrys, Breszka, Kowalczuk 2021).

Manewr L-1 jest podobny do manewru M-1, z tym, że wydech jest wykonywany przy całkowicie zamkniętej głośni, z napięciem wszystkich mięśni szkieletowych. Bez tego napięcia mięśni może dojść do utraty świadomości (Klukowski, Kowalski 1989).

Rozwinięciem metod krążeniowo-oddechowych w zwiększaniu tolerancji przyspieszeń +Gz jest zastosowanie symulatorów zbudowanych do treningu manewrów przeciwprzeciążeniowych (ryc. 7). Są to urządzenia uzyskujące coraz większą popularność na świecie, ponieważ pozwalają na trenowanie prawidłowej techniki AGSM w ułożeniu ciała identycznym, jak w kabinie samolotu. Jest to istotne zwłaszcza przy prowadzeniu treningu w takim samym fotelu, jak w użytkowanym samolocie oraz ustawienia kąta zaklinowania oparcia fotela w stosunku do siedzenia. W różnych statkach powietrznych kąt ten jest różny (samolot MiG-29 – 18°, F-16 – 30°) (Jędrys, Breszka, Kowalczuk 2020).

Stanowisko do izometrycznego treningu siły mięśni kończyn dolnych „Deptak” zostało opracowane w Pracowni Biomechaniki Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej w Warszawie. Stanowisko to składa się z przesuwnego fotela i nieruchomych podpór. Zastosowano w nim układ kinematyczny, dwóch jednostronnych dźwigni, których jeden koniec jest zamocowany obrotowo do podstawy stanowiska, a drugi opiera się na zamocowanej na stałe belce tensometrycznej przetwornika siły. Podpory kończyn dolnych umieszczono na końcach dźwigni, które są oparte na przetwornikach siły. Odległość fotela-podpory jest zmieniana mechanicznie poprzez przesuw fotela na łożu stanowiska. Wykonujący ćwiczenie jest przypięty do fotela czteropunktowymi pasami. Głowa wykonującego ćwiczenie oparta jest na zagłówku (Dereń i wsp. 1998; Eliaz i wsp. 1998).



Ryc. 7. Symulator Anti-G Straining Maneuver (napinający manewr przeciwprzeciążeniowy) „Deptak”, konstrukcja Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej

Źródło: ze zbiorów archiwalnych Krzysztofa Kowalczuka, WIML Warszawa.

Ćwiczenia praktyczne z wykorzystaniem stanowiska do treningu manewrów przeciwprzeciążeniowych są częścią szkolenia podnoszącego tolerancję przeciążeń, ze szczególnym zwróceniem uwagi na prawidłowość wykonywania manewru oddechowego L-1. Profil obciążenia fizycznego podczas ćwiczeń na stanowisku jest zgodny z profilem symulowania walki powietrznej tzw. SACM (ang. *Simulated Air Combat Maneuver*) stosowanym na wirówce przeciążeniowej. Wartość proponowanego obciążenia fizycznego określana jest na podstawie pomiaru maksymalnego skurczu dowolnego MVC (ang. *Maximal Voluntary Contraction*) w trakcie testu diagnostycznego wykonywanego na początku ćwiczenia i zawiera się, w zależności od profilu, w przedziale 40÷70% MVC. Ćwiczenie praktyczne ocenia osoba prowadząca szkolenie.

Należy zwracać szczególną uwagę na:

- prawidłowe napięcie poszczególnych grup mięśniowych;
- prawidłową objętość wdechową (ok. 85%);
- prawidłową częstotliwość oddychania (2–3 s);
- wykonywanie wydechu na całkowicie zamkniętą głośnię (Jędryś, Breszka, Kowalczuk 2020).

Szybki rozwój lotnictwa w ostatnich latach stawia wciąż nowe wyzwania, których rozwiązanie jest konieczne dla zapewnienia bezpieczeństwa lotu. Problem podnoszenia tolerancji przyspieszeń +Gz do chwili obecnej nie został jeszcze całkowicie rozwiązany, dlatego należy stale szukać nowych metod podnoszenia tolerancji na przyspieszenia +Gz poprzez zastosowanie między innymi symulatorów oraz manewrów napinających AGSM. Również w zwiększaniu tolerancji przyspieszeń +Gz ważną rolę odgrywa zastosowanie nadciśnienia oddechowego tzw. PBG (ang. *pressure beathing for G protection*). Piloci wyposażeni w wysokościowe ubiory kompensacyjne włączają podczas narastania przyspieszeń +Gz system PBG i wykonują manewry przeciwprzeciążeniowe AGSM. W tym przypadku wykorzystanie AGSM jest mniej męczące dla pilotów z uwagi na zmniejszoną pracę mięśni oddechowych. Ze względów bezpieczeństwa, początkowe treningi są zawsze wykonywane na wirówce przeciążeniowej (Operations G Awareness for Aircrew 2014).

1.2.2. Wykorzystanie wirówki przeciążeniowej w szkoleniu lotniczym

Szczególną rolę w procesie treningu pilota odgrywa wirówka przeciążeniowa. Symulator, który jest na wyposażeniu Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej w Warszawie, może stworzyć przyspieszenia zbliżone pod względem parametrów do tych, które występują w czasie realnego lotu (ryc. 8). Daje duże możliwości wykorzystania jej w charakterze zarówno operacyjnym, treningowym, jak i diagnostycznym (Zawadzka-Bartczak, Kopka 2011; Zawadzka-Bartczak i wsp. 2020). Pozwala na prowadzenie intensywnego szkolenia mającego na celu nauczenie pilotów poprawnego wykonywania manewru przeciwprzeciążeniowego oraz oswojenie załóg lotniczych z efektami działania wysokich wartości przeciążeń o przedłużonym czasie działania oraz zjawiskiem *push-pull*³ (Mikuliszyn, Żebrowski, Kowalczyk 2005). Zapewnia załogom zapoznanie się z niepożądanymi następstwami działania przyspieszeń związanych z utratą świadomości lub dezorientacji przestrzennej (Kowalczyk 2006; Lewkowicz, Biernacki 2020). Trening w wirówce umożliwia odtworzenie i/lub podtrzymanie optymalnej tolerancji przeciążeń nawet wtedy, gdy wykonywanie zadań w powietrzu jest niemożliwe lub niepożądane

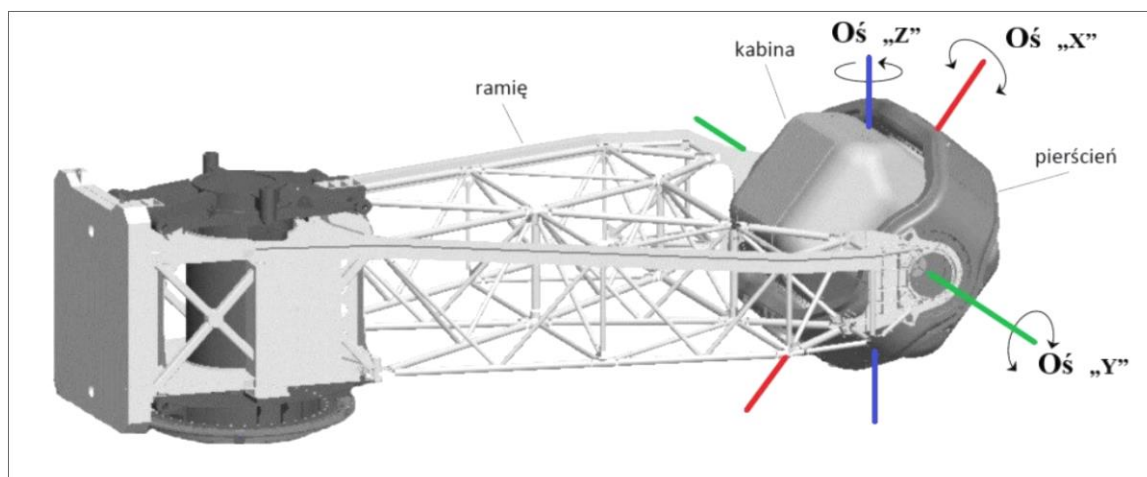
³ Zjawisko *push-pull* – inaczej zjawisko pchaj–ciągnij, jest zestawem ćwiczeń aktywizujących i wzmacniających określone grupy mięśniowe. W lotnictwie zjawisko to jest symulowane w wirówce przeciążeniowej, które występuje podczas lotu samolotem odrzutowym F-16 czy F-18. Polega ono na tym, że po wykonaniu korkociągu, beczki czy pętli Imellmana na pilota oddziałują przeciążenia ujemne i dodatnie – wprost wrywające go z fotela, a następnie wciskające z ogromną siłą. Wielu pilotów nie wytrzymuje tego zjawiska i traci świadomość, co jest często przyczyną tragicznych wypadków.

(zwłaszcza możliwość wykonywania poprawnie manewrów M-1, L-1). Koszty treningu w wirówce są niewspółmiernie niższe od ewentualnych kosztów nowoczesnego samolotu bojowego (Wojtkowiak 1998).

Zainstalowana na 8-metrowym ramieniu gondola wirówki umożliwia uzyskanie przeciążenia w osi „Z” w zakresie od -3 G do 16 G z maksymalnym gradientem przyrostu przeciążenia do $14,5$ G/s. Dodatkowo, żyroskopowe zawieszenie gondoli zapewnia zadawanie przeciążeń również w osiach X i Y odpowiednio w zakresie wartości ± 10 G i ± 6 G (patrz ryc. 8). Wymienne elementy gondoli umożliwiają funkcjonowanie i odwzorowanie wyposażenia kokpitów podstawowych samolotów wielozadaniowych Sił Powietrznych RP, tj. F-16 Block 52+ oraz MiG-29 (Jędrys, Breszka, Kowalczyk 2021).

Wirówka przeciążeniowa posiada możliwości treningowe między innymi w zakresie:

- czynności przedstartowych;
- lotów według przyrządów oraz nawigacji (nawigowanie i podejścia do lądowania według VOR, VOR/DME oraz TACAN, nawigowania i podejścia do lądowania według NDB, procedury radiowe – obsługa urządzeń łączności, procedury lotów w warunkach nocnych, podejścia kontrolowane z Ziemi, podejścia według ILS, loty grupowe i nawigacja w trudnych warunkach pogodowych);
- wyprowadzania statku powietrznego z nietypowych położeń;
- sytuacji awaryjnych (pożar silnika, uszkodzenie systemu sterowania itp.);
- zastosowania bojowego (przechwytywanie celów powietrznych, manewrów obronnych, użycia uzbrojenia itp.);
- orientacji sytuacyjnej (5 profili);
- dezorientacji przestrzennej (11 iluzji) (www.wiml.waw.pl, dostęp: 28.11.2021).



Ryc. 8. Wirówka przeciążeniowa w WIML

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Lewkowicz R. (2020): Ocena bodźców ruchowych odpowiedzialnych za występowanie choroby symulatorowej. *Mechanika w Lotnictwie ML-XIX*, 153-164.

Wirówka przeciążeniowa oprócz możliwości diagnostycznych daje świetne możliwości treningowe w zakresie podnoszenia tolerancji przeciążeń oraz współpracy z ubiorem przeciw przeciążeniowym (ang. *Anti-G*). Skuteczność wykonywania manewru przeciwprzeciążeniowego i wykorzystanie ubioru *Anti-G* kontrolowana jest podczas wirowań (Siitonen 2000; Balldin i wsp. 2003; Green i wsp. 2019).

1.2.3. Ogólna charakterystyka autorskiego treningu ukierunkowanego

Odpowiednio ukierunkowane ćwiczenia fizyczne oraz częste wykonywanie lotów z działaniem różnych wartości przyspieszeń sprzyjają uzyskiwaniu coraz większej skuteczności mechanizmów kompensacyjnych układu krążenia. W ćwiczeniach fizycznych preferuje się trening siłowy, izometryczny, anaerobowy oraz szybkościowy. Tego rodzaju formy treningu mają istotne znaczenie dla szybkiego i skutecznego wykonywania manewrów napinających AGSM (Balldin 1985; Wojtkowiak 2004; Operations G Awareness for Aircrew 2014). W myśl tych założeń w „Szkole Orłąt” wyodrębniono tzw. „wczesną specjalizację”, która daje możliwość najwcześniejszego przygotowania organizmu kandydata na pilota do specyficznych wymogów wąskiej specjalizacji ruchowej i funkcjonalnej. Prawidłowe rozwiązania treningowe oparte na prawach rozwoju biologicznego młodego organizmu, w szczególności rozwoju wydolności i sprawności

fizycznej, wynikają z całokształtu zjawisk wzrastania, dojrzewania i różnicowania ustroju (Kłossowski i wsp. 1994).

Pierwszym autorem założeń metodycznych treningu był dr Piotr Stechni, który przy współpracy z WIML pod kierunkiem prof. Zbigniewa Jethona starał się nadać tym założeniom odpowiednio wysoką rangę (Stechni 1959; Jethon 1965; Stechni i wsp. 1982). Całość programu szkolenia realizowanego w Cyklu Wychowania Fizycznego „Szkoły Orłąt” nosiła nazwę Kondycyjno-Sprawnościowego Przygotowania do Lotów (KSPdL) (Stechni 1982). Powyższy program przechodził liczne modyfikacje, zwłaszcza w zakresie treningów na LGPS (Jędrys, Breszka 2020). Ostatnia modyfikacja treningu jest mojego opracowania (przy współpracy z dr. Robertem Jędrysem), którą w dalszej części rozprawy nazywać będę „autorskim treningiem ukierunkowanym” (ATU). W ramach tego treningu, realizowanego w trakcie zajęć z wychowania fizycznego, są wykonywane między innymi ćwiczenia siłowe z użyciem własnej masy ciała (Delavier 2007, 2013a, 2013b). Są one wkomponowane w kompleksowe przygotowanie pilota do wykonywania złożonych zadań lotniczych. Wymagają od ćwiczącego ukierunkowanej sprawności fizycznej oraz możliwie wysokiej sprawności jego układu równowagi. Ponadto, przygotowują organizm kandydata na pilota wojskowych samolotów wysokomanewrowych do poprawy tolerancji przyspieszeń +Gz.

Istotą „autorskiego treningu ukierunkowanego” jest systematyczne wykonywanie dwa razy w tygodniu ćwiczeń siłowych z użyciem własnej masy ciała. Program treningu składa się łącznie z 90 godzin lekcyjnych 45-minutowych, prowadzonych w postaci trzech jednostek treningowych tygodniowo przez jeden semestr (3 x 90 min.). Głównym celem tych ćwiczeń jest nauczanie (usprawnianie) prawidłowego oddychania, zwiększanie tłoczni brzusznej i wytrzymałości mięśniowej jako przygotowanie pilotów samolotów wysokomanewrowych do wykonywania tzw. manewrów napinających (M-1, L-1). Pozwalają one na podtrzymanie krążenia mózgowego w warunkach oddziaływania przyspieszeń w osi +Gz oraz zwiększania w ten sposób ich tolerancji. Czas wykonywania poszczególnych ćwiczeń (5 ćwiczeń) wynosi 60 sekund. Po każdym ćwiczeniu i powrocie do pozycji wyjściowej stosuje się przerwę wypoczynkową w stanie wynoszącą 15 sekund, a następnie przechodzi się do kolejnego ćwiczenia. Ćwiczenia prowadzi się w seriach, których liczba jest uzależniona od postępów ćwiczących. W czasie wykonywania ćwiczeń zwraca się uwagę na poprawne ułożenie ciała oraz prawidłowe, swobodne oddychanie.

Dane szczegółowe dotyczące „autorskiego treningu ukierunkowanego” wraz z opisem ćwiczeń siłowych z użyciem własnej masy ciała zamieszczono w aneksie (patrz

tabele Z 1.1–Z 1.3 przedstawione w załączniku 1 oraz ryciny Z 2.1–Z 2.5 przedstawione w załączniku 2).

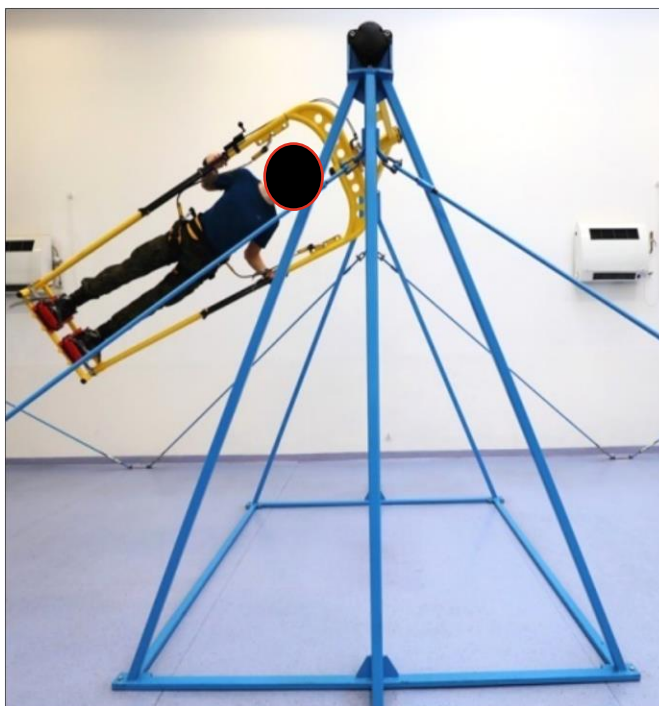
Ćwiczenia na Lotniczych Gimnastycznych Przyrządach Specjalnych

Lotnicze Gimnastyczne Przyrządy Specjalne są specyficznym dla lotnictwa środkiem oddziaływania, mającym w założeniu wykształcenie odpowiedniego poziomu czynników warunkujących sprawność zawodową pilota. W polskim lotnictwie wojskowym treningiem na LGPS określa się zespół ćwiczeń wykonywanych na następujących przyrządach (Kłossowski, Jędrys 1988; Jędrys, Breszka, Kowalczyk 2020):

1. Looping jest odmianą huśtawki o pełnym kącie obrotu (360°) z możliwym po jego odblokowaniu (looping odczopowany) wykonaniu obrotów wokół wszystkich płaszczyzn i osi ciała (ryc. 9).

Stosowane ćwiczenia:

- Looping zaczopowany:
 - kołowroty w przód;
 - kołowroty w tył;
 - kołowroty w przód i w tył;
- Looping odczopowany:
 - kołowroty z obrotami i półobrotami;
 - kołowroty bokiem;
 - kołowroty bokiem w lewo i prawo.



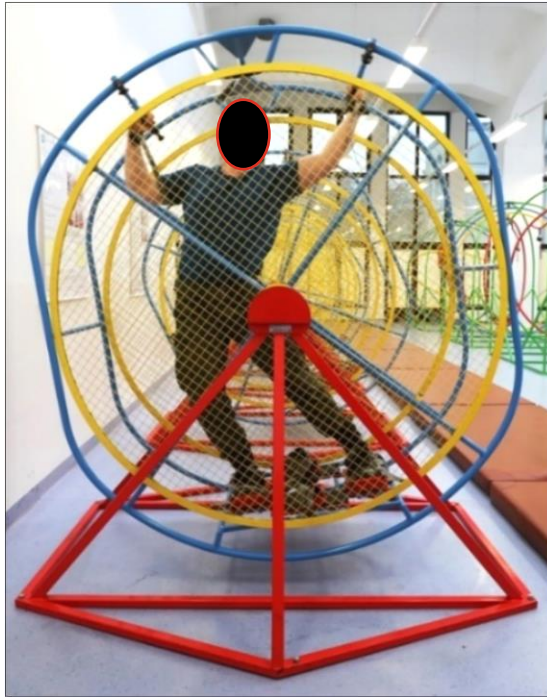
Ryc. 9. Looping

Źródło: ze zbiorów archiwalnych autora.

2. Koło reńskie to przyrząd pozwalający na obroty wokół dwóch różnych płaszczyzn i osi ciała (zamiennie). Po wpięciu przodem ćwiczący może wykonywać ćwiczenia w płaszczyźnie strzałkowej. Natomiast po wpięciu bokiem ćwiczący może wykonywać ćwiczenia w płaszczyźnie czołowej (ryc. 10).

Stosowane ćwiczenia:

- Wpięcie przodem:
 - kołowroty w przód i tył;
- Wpięcie bokiem:
 - kołowroty w lewo i prawo.



Ryc.10. Koło reńskie

Źródło: ze zbiorów archiwalnych autora.

3. Żyroskop dzięki żyroskopowemu zawieszeniu umożliwia dowolne ćwiczenia we wszystkich płaszczyznach i osiach ciała (ryc. 11).

Stosowane ćwiczenia:

- obroty wokół podłużnej osi ciała w pozycji stojącej;
- obroty wokół podłużnej osi ciała w pozycji leżącej;
- obroty wokół podłużnej osi ciała w stanie na rękach;
- kołowroty wokół poprzecznej osi ciała w przód i tył;
- kołowroty bokiem w lewo i prawo.



Ryc.11. Żyroskop

Źródło: ze zbiorów archiwalnych autora.

Wszystkie ćwiczenia stosowane na LGPS można wykonywać indywidualnie i zespołowo w dwójkach i trójkach (wszystkie przyrządy), czwórkach, a nawet w piątkach (koło reńskie, żyroskop).



ZESKANUJ KOD
i zobacz filmy instruktażowe
do opisanych ćwiczeń

II. CEL PRACY

W niniejszej pracy podjęto próbę eksperymentalnego potwierdzenia, że włączenie do procesu przygotowania kondycyjnego kandydata na pilota samolotów wysokomanewrowych „autorskiego treningu ukierunkowanego” realizowanego w Lotniczej Akademii Wojskowej w Dęblinie może wpłynąć na poprawę tolerancji ustroju pilota wojskowego na przyspieszenia +Gz oraz zwiększyć odporność na chorobę powietrzną poprzez ćwiczenia na LGPS.

2.1. Przedmiot i cel badań

Powstanie sytuacji problemowej, która stała się punktem wyjścia do określenia tematu niniejszej rozprawy, wynikało z przeprowadzenia podczas zajęć z wychowania fizycznego w LAW na grupie podchorążych grup lotnych różnorodnych testów, które wykazały, iż występują słabe punkty w zakresie ukierunkowanego przygotowania pilota wojskowego do lotów.

Przedmiotem badań jest wpływ „autorskiego treningu ukierunkowanego” na poprawę tolerancji ustroju pilota wojskowego na przyspieszenia +Gz oraz wpływ ćwiczeń na LGPS na habituację narządu przedsionkowego.

Celem badań jest ocena udziału „autorskiego treningu ukierunkowanego” i jego ewentualny wpływ na poprawę tolerancji ustroju pilota wojskowego na przyspieszenia +Gz oraz wpływ ćwiczeń na LGPS na poprawę odporności na chorobę powietrzną w kontekście poprawy zdolności do wykonywania lotów (ang. *flight performance*).

2.2. Pytania badawcze

Rozwiązując cel poznawczy badań, sformułowano następujące **pytania badawcze**:

1. W jakim stopniu „autorski trening ukierunkowany” oraz ćwiczenia na LGPS są w stanie wpłynąć na poprawę zdolności pilotów-podchorążych do wykonywania lotów (ang. *flight performance*), uwzględniając tolerancję na przyspieszenia +Gz oraz odporność na chorobę powietrzną?

2. O jaką wartość +Gz zmieni się (wzrośnie lub zmaleje) poziom tolerancji ustroju pilota-podchorążego samolotów wysokomanewrowych na przyspieszenia +Gz w rezultacie poddania go „autorskiemu treningowi ukierunkowanemu”?

2.3. Hipotezy badawcze

Przyjęto następujące **hipotezy badawcze**:

1. „Autorski trening ukierunkowany” kształtuje pożądane wskaźniki sprawności fizycznej (siła, szybkość, koordynacja napięć izometrycznych mięśni skorelowanych z forsownym wydechem), przygotowujących do poprawnego wykonywania manewrów napinających (próba M-1, L-1), a uzupełniony ćwiczeniami na LGPS ma wpływ na korzystny poziom habituacji narządu przedsionkowego (zwiększenie odporności na chorobę powietrzną).
2. W wyniku zastosowania „autorskiego treningu ukierunkowanego” nastąpi poprawa tolerancji na przyspieszenia +Gz, co wpłynie na utrzymanie świadomości sytuacyjnej oraz sprawność działania pilota, szczególnie przy występowaniu wolno narastających przyspieszeń +Gz.

III. MATERIAŁ I METODY

3.1. Osoby badane

Badaniom poddano 21 podchorążych LAW (kierunek pilot samolotu odrzutowego) w Dęblinie. Wiek badanych zawierał się w przedziale od 20 do 25 lat. Badani zostali podzieleni na dwie grupy: grupa podchorążych realizująca „autorski trening ukierunkowany” (grupa I eksperymentalna n-9) oraz grupa podchorążych realizujących standardowy program z wychowania fizycznego w szkolnictwie wojskowym (grupa II kontrolna n-12). Badani podchorążowie stanowili jednorodny materiał porównawczy, bowiem obie grupy studiowały na kierunku pilot samolotu odrzutowego (PSO) i byli wyselekcjonowani przez Rejonową Wojskową Komisję Lotniczo-Lekarską (RWKLL) w Warszawie, gdzie otrzymali najwyższą kategorię zdrowia na samoloty wysokomanewrowe (Z-IA). Zgodę na przeprowadzenie projektu eksperymentu medycznego udzieliła Komisja Bioetyczna przy Wojskowej Izbie Lekarskiej na podstawie uchwały nr 177/20 z dnia 20.11.2020 r.

Szkolenie lotnicze ze względu na specyfikę oraz wysoki próg trudności wymaga ogromnego zaangażowania podchorążych grup lotnych w proces realizacji ukierunkowanego i specjalistycznego treningu fizycznego. W niniejszych badaniach grupa eksperymentalna liczyła na początku badań 11 osób (2 osoby nie zrealizowały badań na wirówce przeciążeniowej). Podobna sytuacja wystąpiła w grupie kontrolnej, która liczyła na początku szkolenia 14 osób (2 osoby nie zrealizowały badań na wirówce przeciążeniowej).

3.2. Organizacja i przebieg badań

Badania podchorążych zostały przeprowadzone dwukrotnie przed (badanie I) i po (badanie II) okresie realizacji 6-miesięcznego ukierunkowanego treningu fizycznego w obydwu grupach (kontrolnej, eksperymentalnej), które realizowały także standardowy trening na LGPS. Badania obu grup zostały przeprowadzone w dwóch etapach.

Etap pierwszy obejmował badania granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz określonej za pomocą programu liniowego narastania przyspieszeń (GOR) z wynikami oceny intensywności i monitorowania pomiaru częstości skurczów serca (HR MAX oraz

Delta HR od 1,4-5,7 G) na wirówce przeciążeniowej przed (badanie I) i po (badanie II) realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego w obydwu grupach. Oba badania zostały wykonane w Wojskowym Instytucie Medycyny Lotniczej w Warszawie.

Etap drugi obejmował sprawdzenie skuteczności ukierunkowanego treningu fizycznego prowadzącego do poprawy tolerancji na przyspieszenia +Gz. W etapie tym zostały wykonane badania zdolności motorycznych (siła, zwinność, wytrzymałość, szybkość, moc), cech somatycznych (wiek, masa ciała, wysokość ciała) oraz habituacji układu przedsionkowo-wegetatywnego na loopingu odczopowanym. Badania zostały przeprowadzone dwukrotnie przed (badanie I) i po (badanie II) realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego w obydwu grupach. Oba badania zostały wykonane w Ośrodku Szkolenia Kondycyjnego Lotniczej Akademii Wojskowej w Dęblinie.

W obydwu grupach okres szkolenia fizycznego obejmował 45 jednostek treningowych dwugodzinnych (90 godzin lekcyjnych trwających po 45 min.) realizowanych w ciągu jednego semestru (3 x 90 min. w tygodniu). Ćwiczenia na LGPS trwały łącznie 15 godzin lekcyjnych. Badanym zostały zapewnione jednakowe warunki zakwaterowania oraz wyżywienia podczas okresu szkolenia.

3.3. Metodyka badań

W celu zweryfikowania postawionych hipotez badawczych oraz udzielenia odpowiedzi na sformułowane w pracy cel badań i pytania badawcze przyjęto następującą metodologię badań własnych:

Eksperyment był podstawą analizy i pozwolił przeprowadzić ocenę skutków oddziaływania ukierunkowanego treningu fizycznego na możliwość poprawy granicy tolerancji ustroju pilota na przyspieszenia +Gz. Ponadto, dostarczył niezbędnych informacji o kierunku rozwoju treningu w przyszłości. W przeprowadzonych badaniach znamionym elementem była ta metoda, która pozwoliła ustalić bezpośrednią zależność pomiędzy zmienną niezależną a zmienną zależną (Karpowicz 2018)⁴. Sformułowany

⁴ Zmienna niezależna jest to zmienna, którą manipulujemy w badaniu (zmieniamy jej wartości, kierunek, siłę), zakładając, że spowoduje ona zmianę w obrębie zmiennej zależnej, że zdeterminuje wartość zmiennej zależnej lub wpłynie na nią w inny sposób. Jest traktowana jak element bazowy niepodlegający ocenie. Przedmiotem badanym jest zmienna zależna, która określa i wyraża to co chcemy zbadać. Jest to zmienna, którą nie manipulujemy w badaniu, lecz na którą wpływamy zmienną niezależną, zakładając, że jest nią powodowana przyczynowo lub od niej uzależniona. Zmienna zależna jest tą zmienną, którą obserwujemy i obejmujemy pomiarem, poszukując zmian powiązanych z oddziaływaniem zmiennej niezależnej.

w niniejszej pracy problem badawczy wymagał opracowania i przeprowadzenia dwóch następujących eksperymentów:

- w pierwszym eksperymencie została określona bezpośrednia zależność pomiędzy zmienną niezależną, pod postacią wprowadzenia „autorskiego treningu ukierunkowanego” w grupie eksperymentalnej oraz pominięcie tego treningu w grupie kontrolnej, a zmienną zależną pod postacią poprawy poziomu tolerancji ustroju pilota na przyspieszenia +Gz;
- drugi eksperyment wiązał się z ustaleniem bezpośredniej zależności pomiędzy zmienną niezależną, w tym przypadku zmienionym dzięki zastosowaniu „autorskiego treningu ukierunkowanego” poziomem tolerancji ustroju pilota na przyspieszenia +Gz, a zmienną zależną określającą utrzymanie świadomości sytuacyjnej jako wskaźnika poprawy bezpieczeństwa lotów.

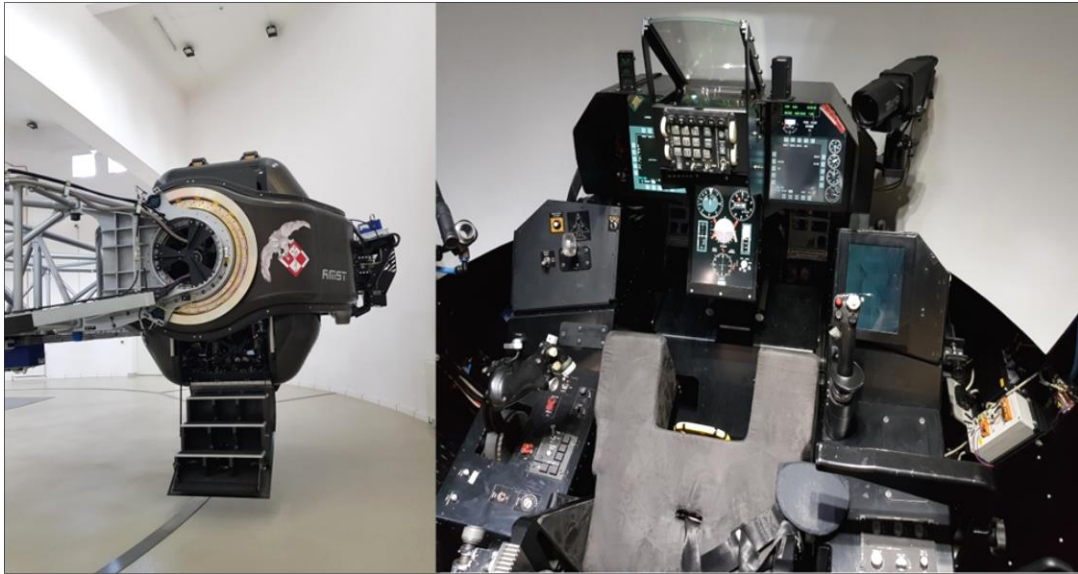
W ramach zastosowanej metody eksperymentalnej zostały użyte następujące narzędzia badawcze.

3.3.1. Metoda badania granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz

Ocena tolerancji przyspieszeń +Gz wykonywana została na symulatorze lotniczym – wirówce przeciążeniowej firmy AMST-Systemtechnik GmbH 2011 r., będącym na wyposażeniu Zakładu Szkolenia i Treningu Lotniczo-Lekarskiego (ZSTLL) Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej w Warszawie (ryc. 12). Badania na wirówce przeciążeniowej prowadził kierownik ZSTLL dr n. med. Krzysztof Kowalczyk.

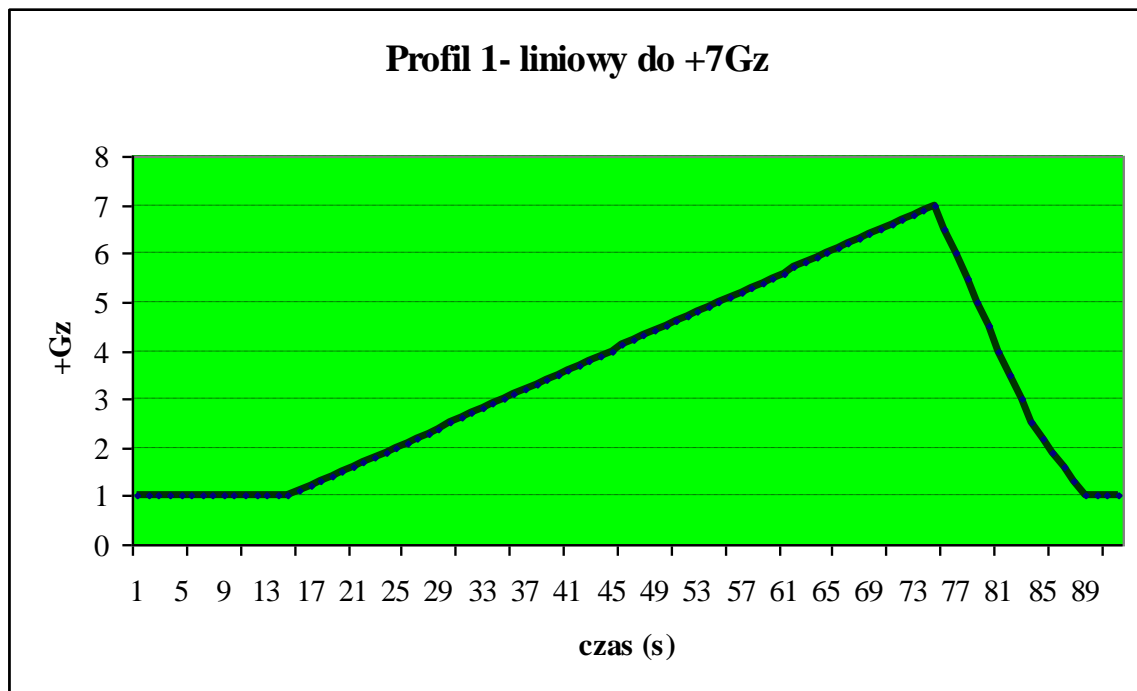
Zainstalowana na 8-metrowym ramieniu gondola wirówki umożliwia uzyskanie przeciążenia w osi „Z” w zakresie od -3 G do 16 G z maksymalnym gradientem przyrostu przeciążenia do $14,5\text{ G/s}$. Dodatkowo, żyroskopowe zawieszenie gondoli zapewnia zadawanie przeciążeń również w osiach X i Y odpowiednio w zakresie wartości $\pm 10\text{ G}$ i $\pm 6\text{ G}$ (patrz ryc. 8). Wymienne elementy gondoli umożliwiają funkcjonowanie i odwzorowanie wyposażenia kokpitów podstawowych samolotów wielozadaniowych Sił Powietrznych RP, tj. F-16 Block 52+ oraz MiG-29.

Wykorzystanie wirówki przeciążeniowej do celów diagnostycznych pozwala w sposób kompleksowy ocenić wydolność organizmu pilota w środowisku rzeczywistych obciążeń grawitacyjnych (Jędryś, Byszka, Kowalczyk 2021).



Ryc. 12. Gondola wirówki przeciążeniowej w WIML

Źródło: ze zbiorów archiwalnych Krzysztofa Kowalczuka.



Ryc. 13. Program działania przyspieszeń – program liniowy

Źródło: opracowanie Krzysztof Kowalczuk, WIML Warszawa.

W chwili obecnej do oceny tolerancji przeciążeń stosowany jest program liniowy GOR (ang. *gradual onset rate*), który charakteryzuje się jednostajnym narastaniem przyspieszenia z szybkością 0,1 G/s (ryc. 13). Przyspieszenia stosowane w tym programie

działają na ustrój inaczej niż te, które występują w powietrzu. Jednakże wolne ich narastanie eliminuje możliwości wykorzystania przez pilota takich sposobów chwilowego podnoszenia tolerancji na przyspieszenia jak zmodyfikowana próba Valsalvy, naprężanie mięśni szkieletowych i tłoczni brzusznej, co stwarza warunki dokładnej oceny granicy tolerancji (do 0,1 G). Warunki te odzwierciedlają rzeczywiste możliwości ustroju oraz umożliwiają zastosowanie oceny porównawczej względem wszystkich badanych na wirówce. Dotychczasowe badania wykazały, że statystyczny rozkład populacji pilotów badanych tym programem jest prawidłowy i umożliwia zastosowanie wielostopniowej skali ocen. Granice tolerancji uzyskane w tym programie wahają się od 4 do 10 G. Jako obowiązującą przyjęto jednak dopuszczalną granicę +5,7 Gz. Badanie zgodne z programem liniowym pozwala na określenie wartości przyspieszenia powodującej pierwsze objawy dekompensacji układu krążenia. Uzyskany wynik jest jednoznaczny z wartością przyspieszenia, doprowadzającą do przełamania oporu obwodowego naczyń i przemieszczenia się krwi w kierunku zgodnym z wektorem działania siły odśrodkowej. Zastosowanie wolno narastającego przyspieszenia umożliwia dokładną ocenę granicy tolerancji ustroju na maksymalne przeciążenie. Badanie pilota tym programem stanowi swoistą próbę czynnościową dla układu krążenia z obciążeniem w postaci typowego dla lotnictwa bodźca, jakim jest przyspieszenie (Wojtkowiak i wsp. 2002).

W badaniach rejestrowane są w sposób ciągły wartości przyspieszenia, EKG i wskaźniki fizjologiczne, które stosowane są rutynowo podczas każdych badań w programie liniowym. Obejmują one pomiary: HR, częstość oddechów i amplitudę pulsacji naczyń pętka usznego. Ponadto, odpowiedzi na bodźce wzrokowe (rejestracja zmian obwodowego pola widzenia) i kontakt głosowy z prowadzącym badanie lekarzem lotniczym świadczyły o zachowaniu świadomości sytuacyjnej badanych podchorążych (Więckowski, Kowalczyk, Wojtkowiak 2009).

3.3.2. Ocena habituacji układu przedsionkowo-wegetatywnego

Ocena habituacji układu przedsionkowo-wegetatywnego wykonywana była na jednym z trzech Lotniczych Gimnastycznych Przyrządach Specjalnych – loopingu odczopowanym będącym na wyposażeniu Ośrodka Szkolenia Kondycyjnego Lotniczej Akademii Wojskowej w Dęblinie. Badania zostały przeprowadzone z pomocą dr. Roberta Jędrysa (starszego wykładowcy Ośrodka Szkolenia Kondycyjnego LAW).

Test zwany „Próba Jędrysa”⁵ ocenia habituację układu przedsionkowego i jest wykonywany w pozycji stojącej na huśtawce – loopingu odczopowanym (ryc. 14). Przy pomocy współwiczającego badany obracany jest w podłużnej osi ciała z częstotliwością jeden obrót w czasie dwóch sekund. W czasie obrotu badany wykonuje ruchy głową w następującej kolejności: wyprost głowy, skłon głowy w dół, skręt głowy w lewo (podbródek dotyka lewego obojczyka), skręt głowy w prawo (podbródek dotyka prawego obojczyka), wyprost głowy. W każdym położeniu podbródka badany jest zobowiązany wytrzymać dwie sekundy. Próba zostaje przerwana z chwilą wystąpienia objawów choroby powietrznej. Próba ma istotną wartość diagnostyczną (skuteczna w wykrywaniu choroby powietrznej) i łatwo można ją wykonać bezpośrednio przed, jak i po okresie realizacji cyklu treningowego (Jędryś 1992, 2015).

Kryteria oceny polegają na wykonywaniu ww. czynności w określonym czasie:

- 600 sekund – bardzo dobrze;
- 480 sekund – dobrze;
- 360 sekund – dostatecznie.



Ryc. 14. Ocena habituacji narządu przedsionkowego w loopingu odczopowanym

Źródło: ze zbiorów archiwalnych Roberta Jędrysa.

Próbie przerywa się z chwilą wystąpienia objawów choroby powietrznej (silne nudności, uczucie „ssania” w dołku podsercowym, ślinotok, zawroty głowy). Ponadto, zwraca się uwagę na zgłaszanie przez ćwiczących wczesnych objawów choroby powietrznej, tj. dyskomfort, nudności, twarz blednie, na czole i dłoniach pojawiają się zimne poty, ciepłota skóry czoła i policzków ulegają obniżeniu (Jędryś 2015).

⁵ Test zwany „Próba Jędrysa” – ocena habituacji narządu przedsionkowo-wegetatywnego w loopingu odczopowanym pochodzi od imienia i nazwiska twórcy tego testu.

3.3.3. Ocena zdolności motorycznych

Po wykonaniu badań kontrolnych na wirówce przeciążeniowej w WIML oraz oceny habituacji układu przedsionkowo-wegetatywnego na loopingu odczopowanym w LAW została przeprowadzona ocena zdolności motorycznych, cech somatycznych oraz podstawowych parametrów fizjologicznych przed i po zastosowanym ukierunkowanym treningu fizycznym w badanych grupach.

Wskaźniki somatyczne:

- masa ciała (do 0,1 kg);
- wysokość ciała (cm);
- BMI ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$).

Wskaźniki sprawności fizycznej:

- szybkość – bieg 16,5 metra (do 0,01 s);
- zwinność – bieg wahadłowy 10x10 metra (do 0,01 s);
- siła kończyn górnych – podciąganie na drążku wysokim (liczba);
- wytrzymałość i siła mięśni brzucha – skłony tułowia w przód w ciągu 2 min. (liczba);
- moc – skok w dal z miejsca (cm).

Zostały określone także wartości parametrów fizjologicznych uzyskane przed (badanie I) i po (badanie II) realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego w badanych grupach na wirówce przeciążeniowej:

- HR MAX (ud./min.);
- Delta HR od 1,4 do 5,7 G (ud./min.).

3.4. Charakterystyka treningów badanych grup

Grupa I (eksperymentalna)

Grupa I (eksperymentalna) realizowała szczegółowy program treningowy według „autorskiego treningu ukierunkowanego” (tabela Z 1.2 – załącznik 1). Zajęcia prowadzone były metodą powtórzeniową i interwałową z uwzględnieniem metodycznych akcentów, takich jak: koordynacja wzrokowo-ruchowa, orientacja przestrzenna, układ równowagi – są to ważne elementy procesu szkolenia pilota wojskowego.

Grupa II (kontrolna)

Grupa II (kontrolna) realizowała w okresie szkolenia trening ogólnousprawniający, w którym uwzględniono tematykę gier zespołowych, atletyki terenowej, gimnastyki, gimnastyki przyrządowej (LGPS), sportów walki oraz pływania. Zajęcia były prowadzone z dużą intensywnością w celu zwiększania możliwości funkcjonalnych organizmu do stosowania większych obciążeń w dalszym szkoleniu. Podczas zajęć zostały zastosowane metody: powtórzeniowa i interwałowa. Schemat jednostki treningowej (90 min.) grupy kontrolnej wyglądał identycznie, jak grupy eksperymentalnej (tabela Z 1.3 – załącznik 1) poza częścią główną, która była realizowana według standardowego programu szkolenia fizycznego zawartego w tabeli 1.

Tabela 1. Standardowy program szkolenia fizycznego grupy kontrolnej

Liczba godzin	Temat	Metody
15	Gry zespołowe	Powtórzeniowa Interwałowa
15	Atletyka terenowa	
15	Gimnastyka	
15	Gimnastyka przyrządowa (LGPS)	
15	Pływanie	
15	Sporty walki	

Źródło: opracowanie własne.

3.5. Analiza statystyczna

Analiza wyników badań została przeprowadzona z wykorzystaniem metod statystycznych obejmujących statystyki opisowe, zależności korelacyjne, analizę wariancji oraz testy statystyczne dedykowane porównaniom prób zależnych. Analiza została podzielona na **cztery etapy**. W **pierwszym** z nich przedstawiona została charakterystyka zbioru danych poprzez wyznaczenie klasycznych miar położenia i rozproszenia, takich jak wartość średnia, wariancja i odchylenie standardowe, jak również mniej popularnych miar kwartylowych. Dla lepszej prezentacji wyników zastosowano wykresy, w tym histogramy oraz wykresy pudełkowe, dające pogląd na rozkłady prawdopodobieństwa odpowiadające rozpatrywanym zmiennym.

W **drugim etapie** sprawdzono, czy pomiędzy wynikami uzyskanymi przez badanych w testach sprawnościowych, próbie Jędrysa oraz badaniu granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz przeprowadzonych przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego istnieje istotna statystycznie poprawa. W tym celu wykonano porównanie średnich wyników i zweryfikowano testem statystycznym t-Studenta dla prób zależnych. Różnice przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego sprawdzone były z perspektywy wszystkich badanych oraz w podziale na grupę kontrolną i eksperymentalną. W testach statystycznych przyjęto poziom istotności równy 0,05.

W **trzecim etapie** przeprowadzona została analiza korelacji. Ze względu na wykorzystane w badaniu dane w większości przypadków rozważane były liniowe korelacje Pearsona, ale w przypadku zmiennych dychotomicznych zastosowano korelację punktowo-dwuseryjną (ang. *point-biserial correlation*). Dla potwierdzenia lub zaprzeczenia stawianym hipotezom statystycznym każdorazowo przeprowadzono odpowiednie testy istotności. Zależności korelacyjne walidowano zarówno pomiędzy zdolnościami motorycznymi a rezultatami próby Jędrysa, jak i pomiędzy zdolnościami motorycznymi a tolerancją badanych na przyspieszenia +Gz.

W **czwartym**, ostatnim, etapie wykonano najbardziej kluczową część analizy statystycznej mającej na celu sprawdzenie wpływu różnych czynników (somatycznych oraz wyników testów motorycznych) na względną zmianę wyników próby Jędrysa oraz granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego. Wpływ rozpatrywany był pod kątem ewentualnych różnic w wielkości zmian wyników w grupie eksperymentalnej i kontrolnej, a jako narzędzie analityczne wybrano analizę wariancji (ang. *ANalysis Of VAriance*), znaną często pod

nazwą analizy ANOVA. Ze względu na rodzaj rozpatrywanych zmiennych objaśniających, a przede wszystkim mając na uwadze małą liczbę próby, w pracy stosowana była jednoczynnikowa analiza wariancji. W przypadku porównań dwóch grup względem jednego czynnika ANOVA jest tożsama testowi t-Studenta dla prób niezależnych. W przypadku większych prób możliwe jest jednak zastosowanie wieloczynnikowej analizy wariancji, która jest bardziej efektywna niż wykonywanie wielu testów t. Dodatkowo, ANOVA umożliwia porównanie więcej niż dwóch prób, a metodologiczne podstawy wydają się bardziej spójne i czytelne z punktu widzenia opisu oraz planowanych dalszych badań wpływu ukierunkowanego treningu fizycznego podchorążych LAW na tolerancję przyspieszeń +Gz.

Przy każdej ze stosowanych metod weryfikacji podlegały jej założenia, m.in. o normalności rozkładu, niezależności czy równości wariancji w badanych próbach. W miarę możliwości przedstawione zostały również wizualizacje uzyskanych wyników, m.in. na wykresach bądź w postaci tabelarycznej. Obliczenia przeprowadzono z użyciem programu STATISTICA w wersji 13.3 oraz R – środowiska do obliczeń statystycznych i wizualizacji wyników (Bernardelli, Decewicz, Tomczyk 2021).

IV. WYNIKI BADAŃ

4.1. Statystyki opisowe

W niniejszym podrozdziale przedstawiona zostanie charakterystyka zbioru danych w oparciu o klasyczne statystyki opisowe (minimum, maksimum, średnia, odchylenie standardowe, kwartyle) oraz wykresy. Opis zostanie dokonany w podziale na kategorie rozpatrywanych zmiennych, to jest:

- wskaźniki somatyczne;
- wskaźniki sprawności fizycznej;
- rezultaty próby Jędrusa oraz granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz.

Ze względu na fakt, iż wartości zmiennych różniły się na ogół przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego, charakterystyka uwzględnia nie tylko ten fakt, ale również podział badanych na grupę eksperymentalną i kontrolną. Statystyczna istotność różnic między- i wewnątrzgrupowych sprawdzona została w dalszych etapach analizy i opisana w kolejnych podrozdziałach.

4.1.1. Wskaźniki somatyczne

Dla każdego z badanych zmierzone zostały masa i wysokość ciała, a następnie na ich podstawie wyliczony wskaźnik BMI (ang. *Body Mass Index*). Zestawienie uzyskanych danych badawczych z podziałem na okres pomiaru (przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego) zamieszczono w tabeli 2 (grupa eksperymentalna) oraz tabeli 3 (grupa kontrolna).

Tabela 2. Wartość wskaźników somatycznych dla grupy eksperymentalnej

Osoba badana	Wiek	Badanie I			Badanie II		
		Masa ciała [kg]	Wysokość ciała [cm]	BMI	Masa ciała [kg]	Wysokość ciała [cm]	BMI
1	21	67	172	22,65	69	172	21,97
2	20	80	178	25,25	76	178	23,99
3	21	76	185	22,21	77	185	22,50
4	20	80	180	24,69	79	180	24,38
5	21	78	178	24,62	75	178	23,67
6	20	78	173	26,06	73	173	24,39
7	20	72	178	22,72	72	178	22,72
8	21	75	178	23,67	76	178	23,99
9	20	80	190	22,16	81	190	22,44

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Wartość wskaźników somatycznych dla grupy kontrolnej

Osoba badana	Wiek	Badanie I			Badanie II		
		Masa ciała [kg]	Wysokość ciała [cm]	BMI	Masa ciała [kg]	Wysokość ciała [cm]	BMI
1	25	68	174	22,46	68	174	22,46
2	22	91	186	26,30	87	186	25,15
3	22	80	183	23,89	79	183	23,59
4	21	70	173	23,39	70	173	23,39
5	20	86	185	25,13	81	185	23,67
6	21	72	176	23,24	73	176	23,57
7	22	74	178	23,36	73	178	23,04
8	23	81	179	25,28	80	179	24,97
9	22	80	176	25,83	80	176	25,83
10	21	70	181	21,37	72	181	21,98
11	21	63	168	22,32	65	168	23,03
12	21	67	173	22,39	70	173	23,39

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie wskaźników somatycznych wyliczono statystyki opisowe, osobno dla badania przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego (patrz tabela 4). Wiek (z dokładnością do roku) oraz wysokość ciała (z dokładnością do centymetra) nie uległy zmianie u żadnego badanego, zatem dla tych wskaźników statystyki wyznaczono jednokrotnie. Badaniem objęto podchorążych, stąd nie dziwi wiek badanych, którzy byli mężczyznami w przedziale wiekowym 20–25 lat. Więcej wątpliwości można mieć co do wskaźnika BMI, którego wartość prawidłowa waha się w przedziale od 18,5 do 24,99.

Tymczasem przed okresem realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego część badanych charakteryzowała się indeksem BMI z zakresu interpretowanego jako nadwagę (maksimum w grupie eksperymentalnej równe 26,06, zaś w grupie kontrolnej 26,30). Należy jednak pamiętać, że indeks ten nie sprawdza się w przypadku np. dzieci, nastolatków, osób starszych i chorych lub też sportowców. Przekroczenie normy uznawanej za prawidłową wagę dotyczyło sześciu osób, przy czym po realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego były to już tylko dwie osoby.

Tabela 4. Statystyki opisowe dla wskaźników somatycznych

Wskaźnik	Grupa eksperymentalna						
	Minimum	Q1	Mediana	Średnia	Q3	Maksimum	Odch. stand.
Wiek	20,00	20,00	20,00	20,44	21,00	21,00	1,21
Wysokość	172,00	178,00	178,00	179,11	180,00	190,00	5,38
Badanie I							
Masa	67,00	75,00	78,00	76,22	80,00	80,00	6,85
BMI	22,16	22,65	23,67	23,78	24,69	26,06	1,47
Badanie II							
Masa	69,00	73,00	76,00	75,33	77,00	81,00	5,33
BMI	21,97	22,50	23,67	23,34	23,99	24,39	1,03

Wskaźnik	Grupa kontrolna						
	Minimum	Q1	Mediana	Średnia	Q3	Maksimum	Odch. stand.
Wiek	20,00	21,00	21,50	21,75	22,00	25,00	1,21
Wysokość	168,00	173,75	177,00	177,67	181,50	186,00	5,38
Badanie I							
Masa	63,00	69,50	73,00	75,17	80,25	91,00	6,85
BMI	21,37	22,44	23,38	23,75	25,17	26,30	1,47
Badanie II							
Masa	65,00	70,00	73,00	74,83	80,00	87,00	5,33
BMI	21,98	23,04	23,48	23,67	24,00	25,83	1,03

Źródło: opracowanie własne.

Porównanie grupy eksperymentalnej i kontrolnej pod względem masy oraz wysokości ciała były przedmiotem drugiego etapu analizy i zostały opisane w następnym podrozdziale. W tabeli 5 przedstawiono natomiast wyniki testów statystycznych porównujących badanych przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego. W tabeli umieszczono wartości p testów normalności oraz testu F na równość wariancji, będących weryfikacją założeń stosowalności testu t dla prób zależnych. Zarówno w przypadku masy ciała, jak i indeksu BMI nie ma podstaw do odrzucenia

hipotezy o normalności rozkładu. Ze względu na wielkość próby zdecydowano się na wykorzystanie testu normalności Shapiro-Wilka, ale takie same wyniki otrzymano z użyciem testu Shapiro-Francia. W obu rozpatrywanych przypadkach nie ma też podstaw do twierdzenia o braku równości wariancji w próbach utożsamianych przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego. W związku z powyższym zastosowano test t-Studenta dla prób zależnych o równych wariancjach, który wskazał (wartość p równa 0,28 dla masy ciała, zaś 0,16 dla BMI) na brak istotnych statystycznie różnic.

Tabela 5. Wyniki testów statystycznych (wartość p) weryfikujących podobieństwo badanych przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego pod względem wybranych wskaźników somatycznych

Wskaźnik	Test normalności Shapiro-Wilka		Test F na równość wariancji	Test t dla prób zależnych	Wynik
	Badanie I	Badanie II			
Masa	0,69	0,91	0,27	0,28	brak statystycznie istotnych różnic
BMI	0,21	0,66	0,12	0,16	brak statystycznie istotnych różnic

Źródło: opracowanie własne.

4.1.2. Wskaźniki sprawności fizycznej

Przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego przeprowadzono następujące testy sprawnościowe, które są typowe dla lotnictwa (Jędrzyk 2015):

- bieg 16,5 m;
- bieg wahadłowy 10x10 m;
- podciąganie na drążku wysokim;
- skłony tułowia w przód w ciągu 2 min.;
- skok w dal z miejsca.

Wyniki tych sprawdzianów zebrano w formie tabelarycznej (tabele 6–7), zaś w tabeli 8 umieszczono statystyki opisowe wyznaczone na ich podstawie. W przypadku wszystkich sprawdzianów porównanie kwartyli z wartościami ekstremalnymi nie wskazuje na występowanie wartości odstających. Średnie wskazują na poprawę w badaniu po okresie realizacji ukierunkowanego treningu w stosunku do badania wykonanego przed okresem realizacji ukierunkowanego treningu w każdym przypadku (grupa kontrolna

i eksperymentalna oraz różne testy sprawnościowe) poza biegiem wahadłowym 10x10 m w grupie kontrolnej, gdzie średni czas zwiększył się z 29,05 s do 29,08 s. Istotność statystyczna różnic w wynikach testów motorycznych dla całej grupy badawczej została sprawdzona z użyciem testu t-Studenta dla prób zależnych. Weryfikacja założeń tego testu (normalność, równość wariancji) wraz z interpretacją wyników została przedstawiona w tabeli 9. W żadnym przypadku nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu oraz hipotezy o homogeniczności wariancji. Na poziomie istotności 0,05 istnieją natomiast podstawy do twierdzenia, że nastąpiła poprawa wyników we wszystkich testach sprawnościowych oprócz biegu wahadłowego 10x10 m.

Tabela 6. Wartość wskaźników motorycznych dla grupy eksperymentalnej

Osoba badana	Badanie I					Badanie II				
	16,5 m [s]	10x10 m [s]	Podciąganie na drążku [liczba]	Sklony tułowia przez 2 min. [liczba]	Skok w dal z miejsca [cm]	16,5 m [s]	10x10 m [s]	Podciąganie na drążku [liczba]	Sklony tułowia przez 2 min. [liczba]	Skok w dal z miejsca [cm]
1	2,78	28,56	15	83	250	2,76	27,90	22	85	280
2	2,88	28,87	13	92	230	2,84	28,57	16	102	260
3	3,05	28,45	15	83	245	2,87	27,64	21	89	265
4	3,05	27,95	8	84	240	2,98	28,50	12	95	260
5	2,90	29,09	16	76	240	2,90	29,03	25	98	250
6	2,95	28,86	12	73	230	2,89	28,11	17	85	255
7	2,99	29,13	18	55	240	2,90	28,12	15	67	260
8	2,96	29,73	15	74	250	2,83	29,19	15	74	270
9	2,96	28,21	20	81	260	2,82	27,37	23	93	290

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 7. Wartość wskaźników motorycznych dla grupy kontrolnej

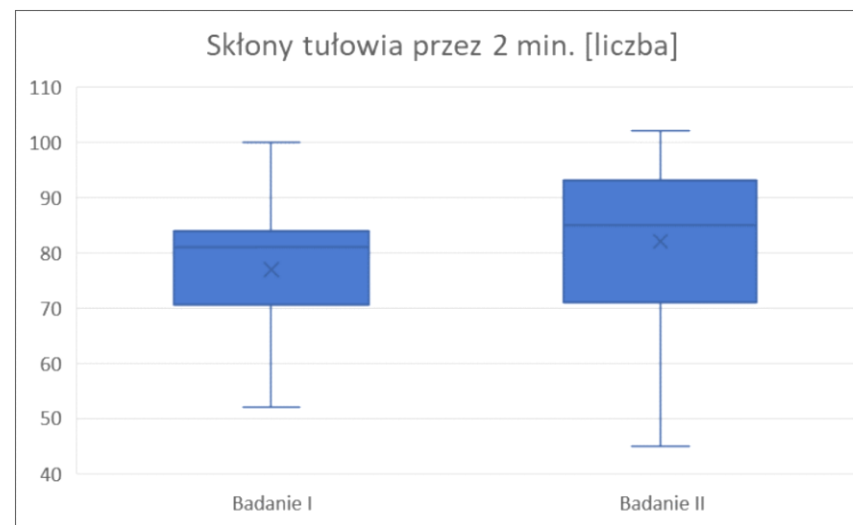
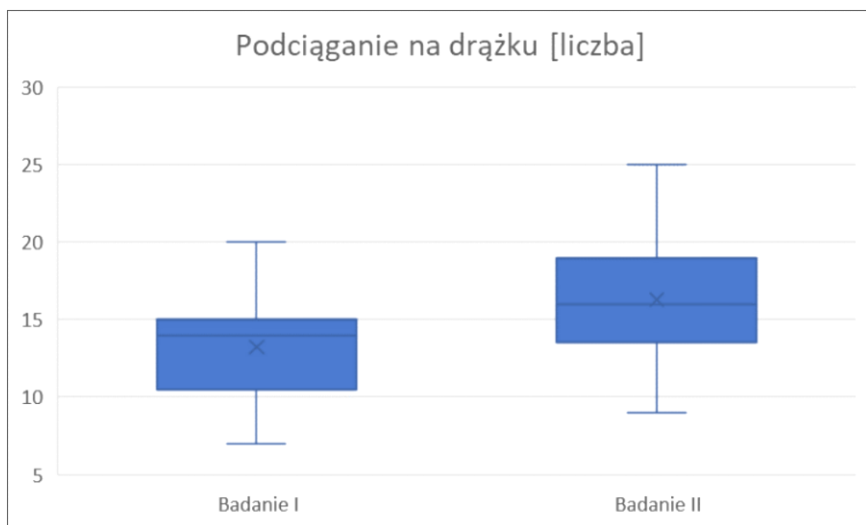
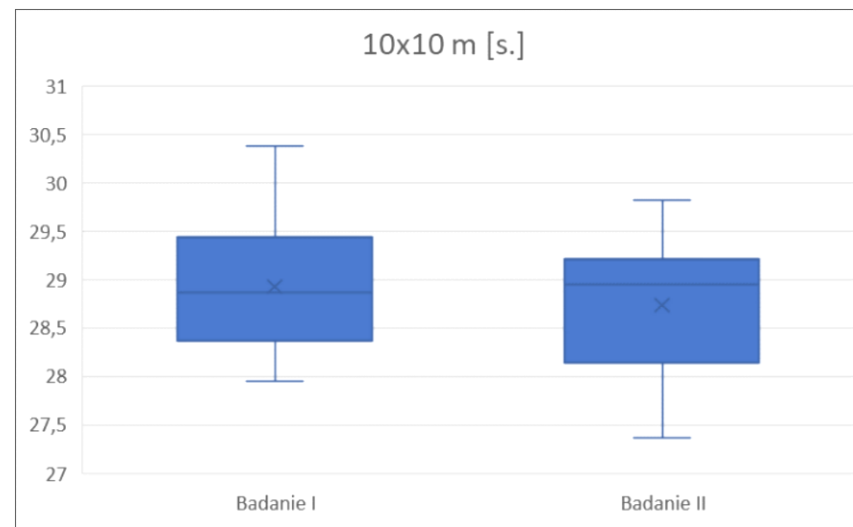
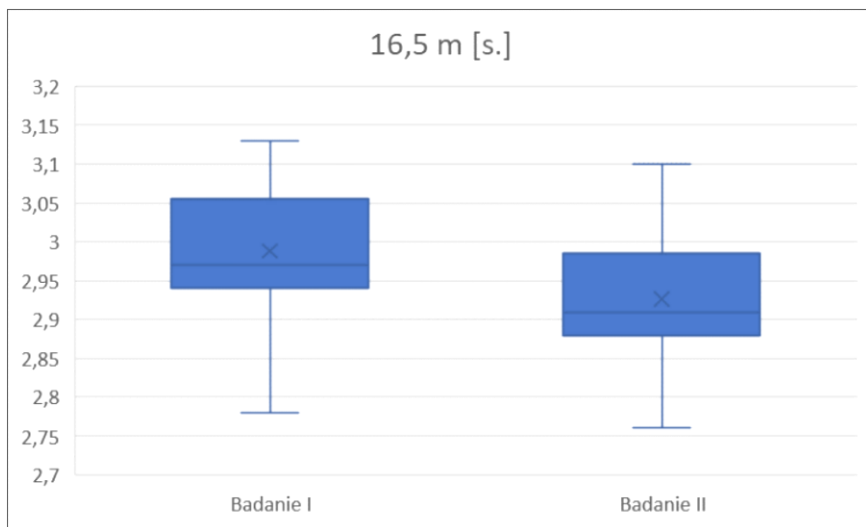
Osoba badana	Badanie I					Badanie II				
	16,5 m [s]	10x10 m [s]	Podciąganie na drążku [liczba]	Sklony tułowia przez 2 min. [liczba]	Skok w dal z miejsca [cm]	16,5 m [s]	10x10 m [s]	Podciąganie na drążku [liczba]	Sklony tułowia przez 2 min. [liczba]	Skok w dal z miejsca [cm]
1	3,01	27,95	9	84	245	2,98	28,50	12	86	255
2	2,97	29,33	15	74	250	2,91	29,53	15	80	260
3	3,09	29,18	14	100	230	3,00	28,95	16	101	255
4	3,07	30,38	8	95	220	2,98	29,35	10	86	240
5	2,93	28,39	15	55	230	2,90	28,16	18	45	250
6	3,13	29,58	10	68	250	3,04	29,11	9	73	260
7	3,06	29,85	7	59	250	3,10	29,10	10	66	270
8	3,05	28,85	11	84	240	2,91	29,82	17	80	240
9	2,86	28,19	18	82	270	2,99	28,89	20	93	285
10	2,97	29,00	13	79	250	2,90	29,05	15	88	260
11	3,13	28,35	15	82	240	2,94	29,23	18	69	260
12	2,96	29,55	11	56	240	3,02	29,28	16	68	250

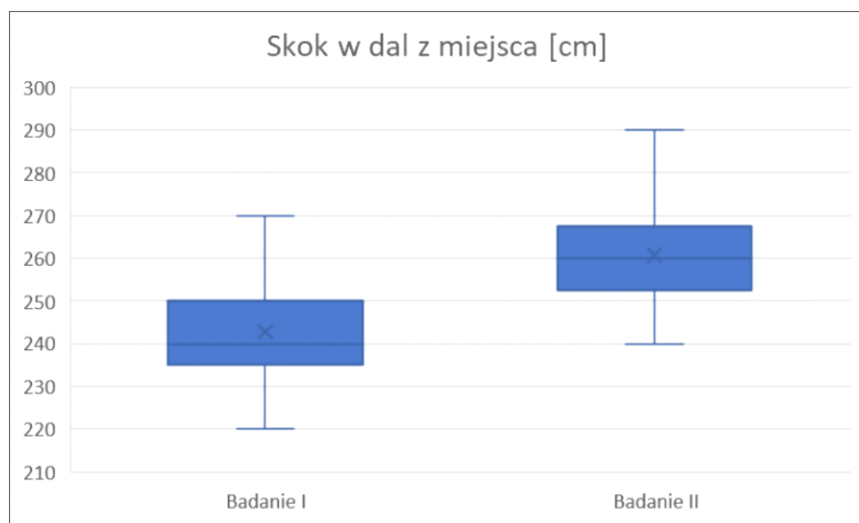
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 8. Statystyki opisowe dla wskaźników motorycznych

Wskaźnik	Grupa eksperymentalna						
	Minimum	Q1	Mediana	Średnia	Q3	Maksimum	Odch. stand.
	Badanie I						
16,5 m	2,78	2,90	2,96	2,95	2,99	3,05	0,09
10x10 m	27,95	28,45	28,86	28,76	29,09	29,73	0,66
Podciąganie na drążku	8,00	13,00	15,00	14,67	16,00	20,00	3,55
Skłony tułowia przez 2 min.	55,00	74,00	81,00	77,89	83,00	92,00	12,68
Skok w dal z miejsca	230,00	240,00	240,00	242,78	250,00	260,00	11,35
	Badanie II						
16,5 m	2,76	2,83	2,87	2,87	2,90	2,98	0,08
10x10 m	27,37	27,90	28,12	28,27	28,57	29,19	0,65
Podciąganie	12,00	15,00	17,00	18,44	22,00	25,00	4,31
Skłony tułowia przez 2 min.	67,00	85,00	89,00	87,56	95,00	102,00	14,02
Skok w dal z miejsca	250,00	260,00	260,00	265,56	270,00	290,00	12,87
Wskaźnik	Grupa kontrolna						
	Minimum	Q1	Mediana	Średnia	Q3	Maksimum	Odch. stand.
	Badanie I						
16,5 m	2,86	2,97	3,03	3,02	3,08	3,13	0,09
10x10 m	27,95	28,38	29,09	29,05	29,56	30,38	0,66
Podciąganie na drążku	7,00	9,75	12,00	12,17	15,00	18,00	3,55
Skłony tułowia przez 2 min.	55,00	65,75	80,50	76,50	84,00	100,00	12,68
Skok w dal z miejsca	220,00	237,50	242,50	242,92	250,00	270,00	11,35
	Badanie II						
16,5 m	2,90	2,91	2,98	2,97	3,01	3,10	0,08
10x10 m	28,16	28,94	29,11	29,08	29,30	29,82	0,65
Podciąganie	9,00	11,50	15,50	14,67	17,25	20,00	4,31
Skłony tułowia przez 2 min.	45,00	68,75	80,00	77,92	86,50	101,00	14,02
Skok w dal z miejsca	240,00	250,00	257,50	257,08	260,00	285,00	12,87

Źródło: opracowanie własne.





Ryc. 15. Porównanie wyników testów motorycznych przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego (dla całej grupy badanych)

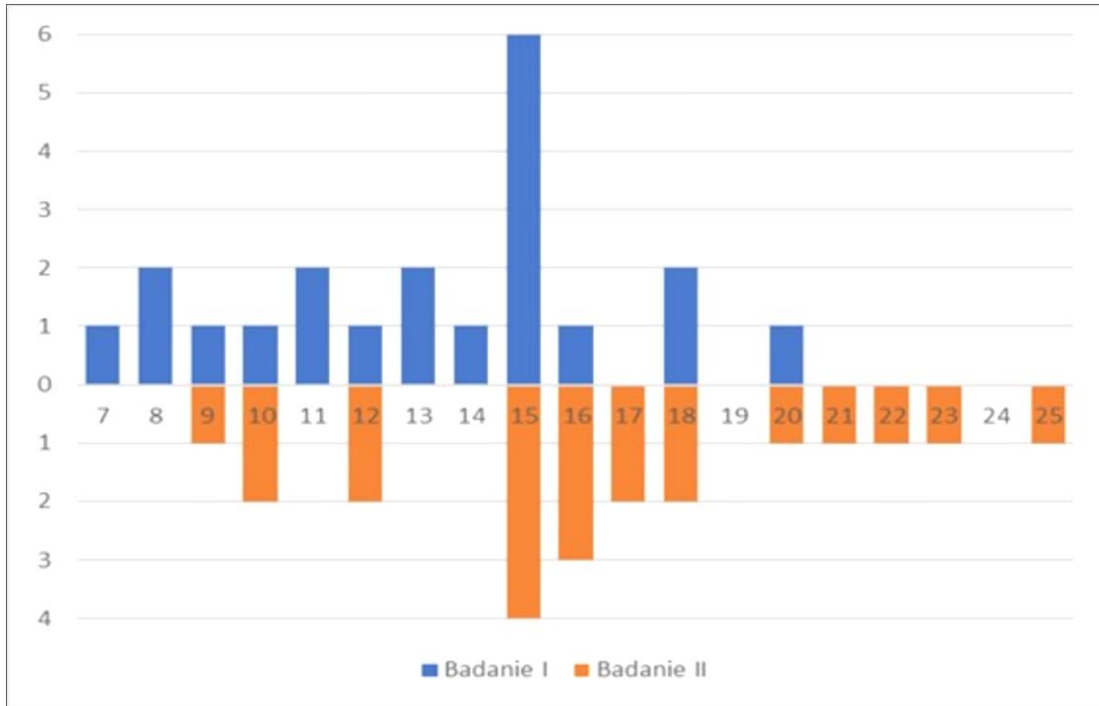
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 9. Wyniki testów statystycznych (wartość p) weryfikujących podobieństwo badanych przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego pod względem wskaźników motorycznych

Wskaźnik	Test normalności Shapiro-Wilka		Test F na równość wariancji	Test t dla prób zależnych	Wynik
	Badanie I	Badanie II			
16,5 m	0,69	0,91	0,68	1,69E-03	statystycznie istotna poprawa wyników
10x10 m	0,71	0,40	0,95	0,17	brak statystycznie istotnych różnic
Podciąganie na drążku	0,49	0,65	0,39	6,12E-05	statystycznie istotna poprawa wyników
Skłony tułowia przez 2 min.	0,12	0,26	0,66	0,02	statystycznie istotna poprawa wyników
Skok w dal z miejsca	0,27	0,11	0,58	2,14E-09	statystycznie istotna poprawa wyników

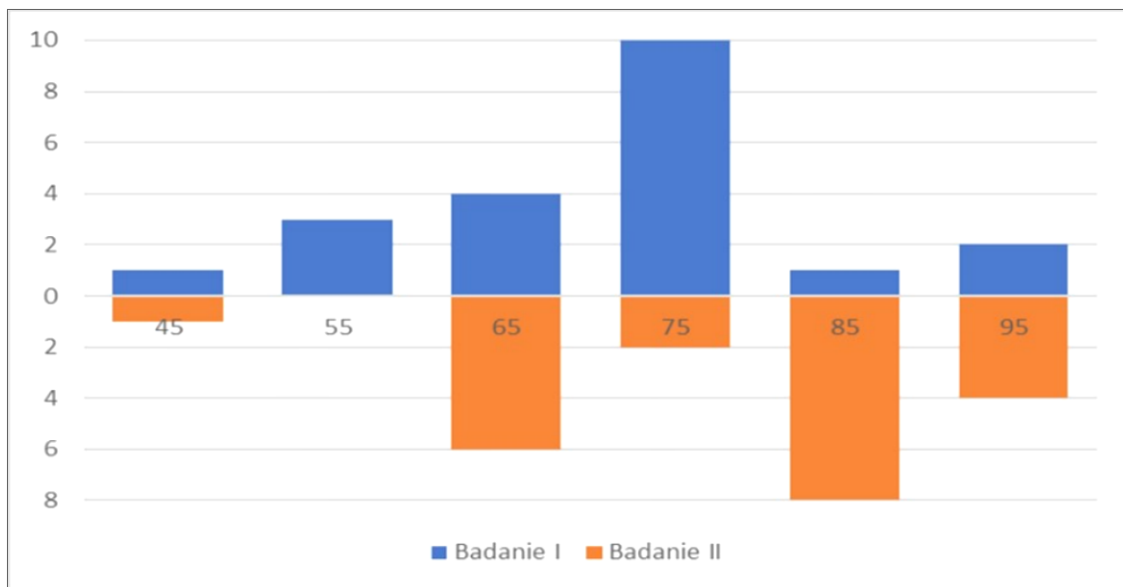
Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie testów statystycznych można stwierdzić poprawę próby badanych w większości testów motorycznych. Wielkość tej poprawy, tudzież potencjalne różnice pomiędzy grupami eksperymentalną i kontrolną są przedmiotem drugiego etapu analizy, który został opisany w następnym podrozdziale. W biegu wahadłowym 10x10 m (porównaj ryc. 15) również nastąpiła poprawa czasów, ale okazała się ona być zbyt mała (średnie 28,92 vs. 28,73 s), by mówić o statystycznie istotnej różnicy. Z wykresów pudełkowych powiązanych z testami sprawnościowymi: podciąganiem na drążku, biegiem 16,5 m oraz skokiem w dal z miejsca, widać jednak wyraźnie, że nie tylko średnia wyników uległy poprawie, ale też i duża część wartości pomiędzy pierwszym a trzecim kwartyłem. Ze względu na małą licznosc próby wiarygodne dopasowanie rozkładu prawdopodobieństwa nie jest możliwe, ale porównanie histogramów przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego daje możliwość obserwacji poprawy kondycji fizycznej dzięki odpowiednio dobranemu programowi treningowemu. Zestawienie histogramów dla wyników testów polegających na jak największej liczbie powtórzeń podciągnięć na drążku oraz skłonów tułowia przez 2 minuty umieszczono odpowiednio na rycinie 16 oraz 17.



Ryc. 16. Zestawienie histogramów wyników testu jak największej liczby podciągnięć na drążku przed (histogram powyżej osi 0X) i po (histogram poniżej osi 0X) okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego (dla całej grupy badanych)

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 17. Zestawienie histogramów wyników testu jak największej liczby skłonów tułowia przez 2 minuty przed (histogram powyżej osi 0X) i po (histogram poniżej osi 0X) okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego (dla całej grupy badanych)

Źródło: opracowanie własne.

4.1.3. Wyniki próby Jędrysa oraz granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz

Kluczowa z punktu widzenia celu niniejszej pracy jest tolerancja na przyspieszenie +Gz. Wyniki testu na wirówce przeciążeniowej z uwzględnieniem uzyskanych wartości parametrów fizjologicznych (HR) przy 1,4 oraz 5,7 G zebrano w tabelach 10–11. Ze względu na szczególną przydatność próby Jędrysa w treningu ukierunkowanym pilotów szkolonych w LAW, jak również specyfikę próby polegającą na jego przerwaniu po osiągnięciu maksymalnej wartości 600 sekund, zdecydowano się dołączyć wyniki do testów na wirówce przeciążeniowej zamiast do testów motorycznych. Warto podkreślić, że po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego wszystkie osoby objęte badaniem osiągnęły maksymalną wartość w próbie Jędrysa. Przed okresem realizacji ukierunkowanego treningu takim osiągnięciem mogło pochwalić się tylko ośmiu uczestników badania.

Tabela 10. Wyniki próby Jędrysa oraz granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz dla grupy eksperymentalnej

Osoba badana	Badanie I				Badanie II			
	Próba Jędrysa [s]	Pułap [+Gz]	Delta HR od 1,4–5,7 G		Próba Jędrysa [s]	Pułap [+Gz]	Delta HR od 1,4–5,7 G	
			Min.	Max.			Min.	Max.
1	540	5,98	115	163	600	6,06	93	159
2	600	5,90	95	188	600	6,79	121	191
3	600	6,00	150	186	600	6,73	143	181
4	480	6,00	120	195	600	6,43	143	195
5	480	6,00	130	184	600	7,16	145	188
6	480	5,97	128	182	600	6,21	119	178
7	600	6,00	120	187	600	6,23	144	187
8	600	5,94	150	200	600	6,89	150	198
9	420	6,00	90	168	600	6,19	114	164

Zródło: opracowanie własne.

Tabela 11. Wyniki próby Jędrysa oraz granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz dla grupy kontrolnej

Osoba badana	Badanie I				Badanie II			
	Próba Jędrysa [s]	Pułap [+Gz]	Delta HR od 1,4–5,7 G		Próba Jędrysa [s]	Pułap [+Gz]	Delta HR od 1,4–5,7 G	
			Min.	Max.			Min.	Max.
1	520	5,78	149	198	600	6,00	113	173
2	600	5,82	135	165	600	6,00	126	168
3	600	6,17	140	192	600	6,00	123	169
4	480	6,00	110	177	600	6,00	121	184
5	600	6,00	150	189	600	6,10	133	186
6	580	6,05	120	184	600	6,00	105	182
7	540	5,88	125	181	600	6,40	132	203
8	460	6,04	125	185	600	6,60	110	204
9	600	6,00	110	177	600	6,60	93	174
10	580	6,00	110	161	600	6,40	135	177
11	560	5,99	110	171	600	5,60	120	177
12	520	5,95	95	184	600	6,00	127	187

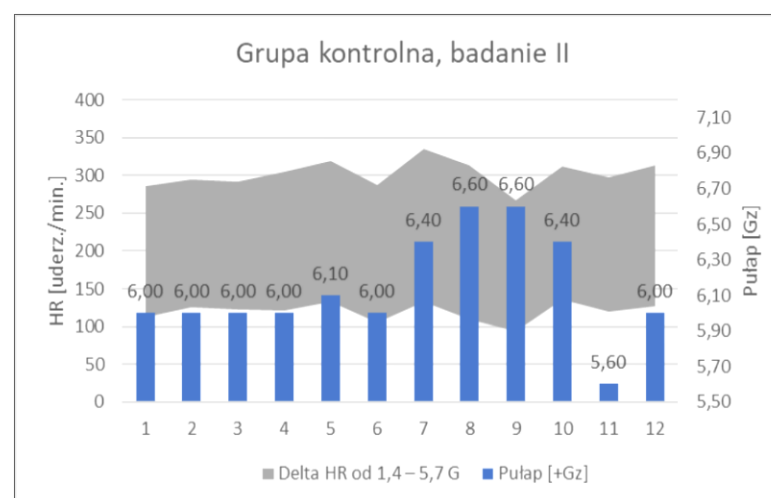
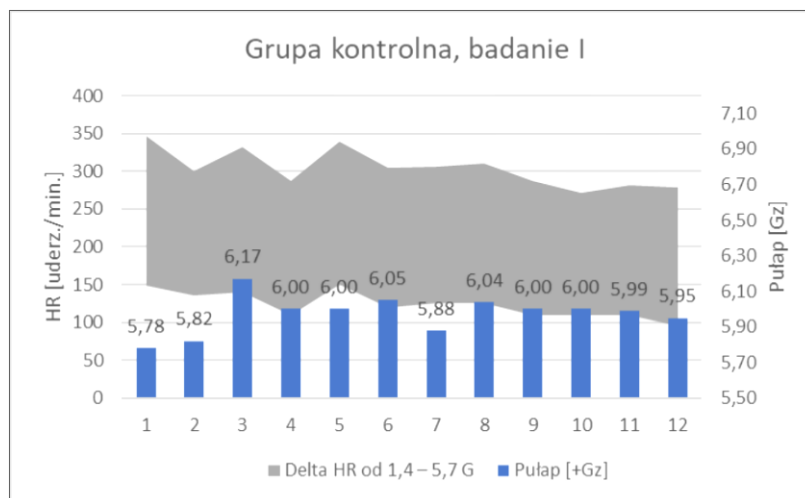
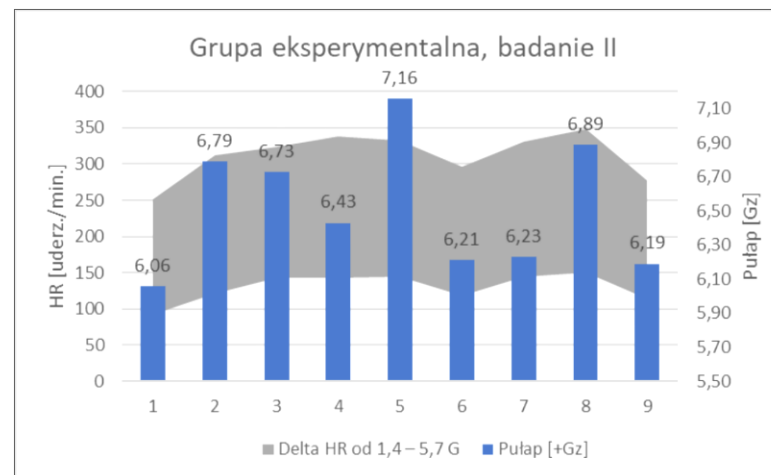
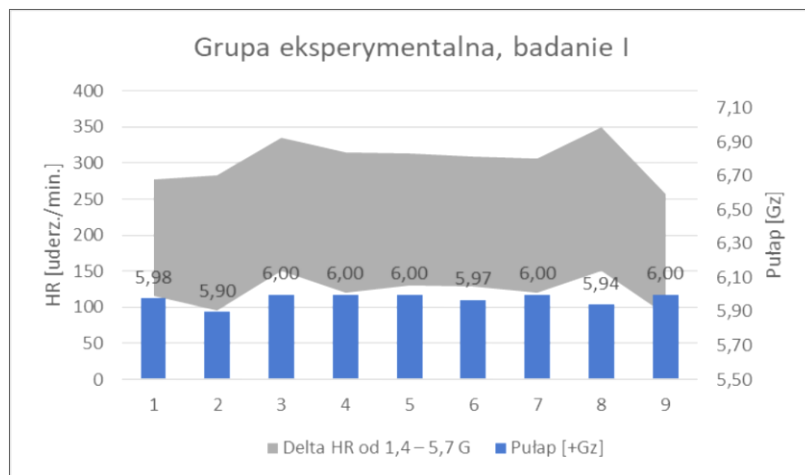
Zródło: opracowanie własne.

Na rycinie 18 umieszczono zestawienie czterech wykresów, na których umieszczono jednocześnie wyniki badania granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz (wykres słupkowy, skala na prawej pionowej osi) oraz zakresy tętna (wykres warstwowy, skala na lewej pionowej osi). Skale na wszystkich wykresach zostały ujednolicone w celu ułatwienia porównań pomiędzy grupami eksperymentalną i kontrolną oraz pomiędzy badaniem początkowym i końcowym. Szerokość zakresu pomiędzy minimalnym a maksymalnym pomiarem tętna⁶ nie wydaje się zależeć od terminu badania oraz przynależności do grupy. Zmiana wysokości słupków pomiędzy badaniem początkowym a końcowym daje obraz ogólnej poprawy w badaniu po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego w stosunku do badania wykonanego przed realizacją tego treningu.

Liczbowe wartości związane z zarejestrowanymi wynikami próby Jędrysa oraz granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz w postaci statystyk opisowych przedstawiono w tabeli 12. Poza wartością minimalną dla grupy kontrolnej, wszystkie statystyki pułapów (włączając w to wartość średnią oraz maksymalną), zarówno w grupie eksperymentalnej, jak i kontrolnej, zwiększyły się. Zbadana została istotność statystyczna różnic pomiędzy badaniami początkowym i końcowym, a wyniki adekwatnych testów statystycznych

⁶ Dokładniej pomiędzy pomiarem tętna dokonany przy pułapie 1,4 G oraz przy pułapie 5,7 G.

umieszczono w tabeli 13. Weryfikacja hipotez statystycznych o różnicach pomiędzy wynikami obu grup zostanie przedstawiona w dalszej części rozdziału.



Ryc. 18. Zestawienie wyników testów na wirówce przeciążeniowej przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego (dla całej grupy badanych)

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 12. Statystyki opisowe dla wyników próby Jędrysa oraz granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz

Wskaźnik	Grupa eksperymentalna						
	Minimum	Q1	Mediana	Średnia	Q3	Maksimum	Odch. stand.
	Badanie I						
Próba Jędrysa	420,00	480,00	540,00	533,33	600,00	600,00	58,28
Pułap	5,90	5,97	6,00	5,98	6,00	6,00	0,08
Delta HR MIN	90,00	115,00	120,00	122,00	130,00	150,00	18,44
Delta HR MAX	163,00	182,00	186,00	183,67	188,00	200,00	11,08
	Badanie II						
Próba Jędrysa	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	0,00
Pułap	6,06	6,21	6,43	6,52	6,79	7,16	0,38
Delta HR MIN	93,00	119,00	143,00	130,22	144,00	150,00	16,24
Delta HR MAX	159,00	178,00	187,00	182,33	191,00	198,00	12,18
Wskaźnik	Grupa kontrolna						
	Minimum	Q1	Mediana	Średnia	Q3	Maksimum	Odch. stand.
	Badanie I						
Próba Jędrysa	460,00	520,00	570,00	553,33	600,00	600,00	58,28
Pułap	5,78	5,93	6,00	5,97	6,01	6,17	0,08
Delta HR MIN	95,00	110,00	122,50	123,25	136,25	150,00	18,44
Delta HR MAX	161,00	175,50	182,50	180,33	186,00	198,00	11,08
	Badanie II						
Próba Jędrysa	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	0,00
Pułap	5,60	6,00	6,00	6,14	6,40	6,60	0,38
Delta HR MIN	93,00	112,25	122,00	119,83	128,25	135,00	16,24
Delta HR MAX	168,00	173,75	179,50	182,00	186,25	204,00	12,18

Źródło: opracowanie własne.

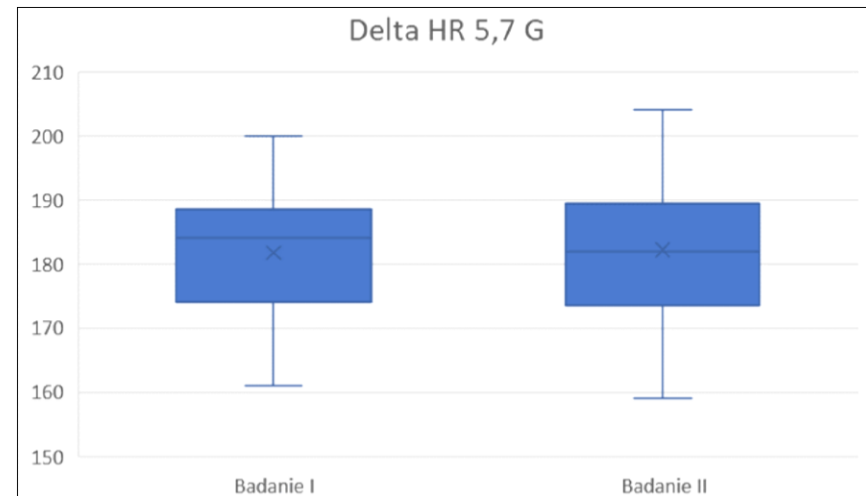
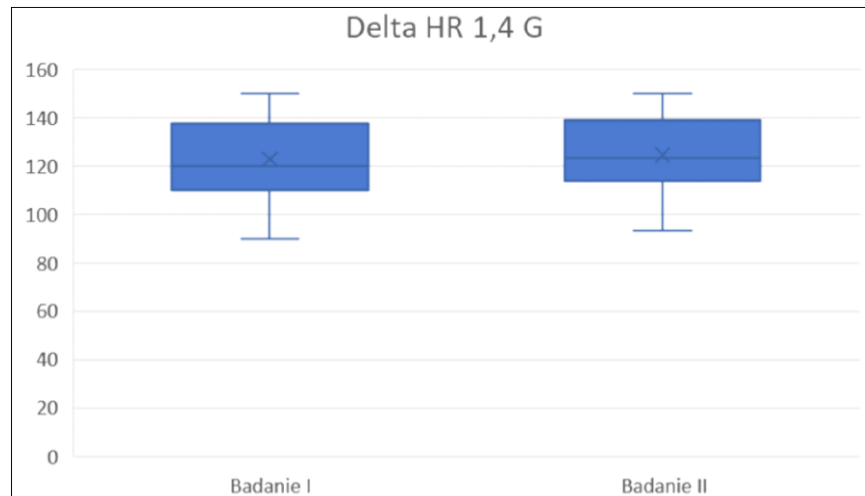
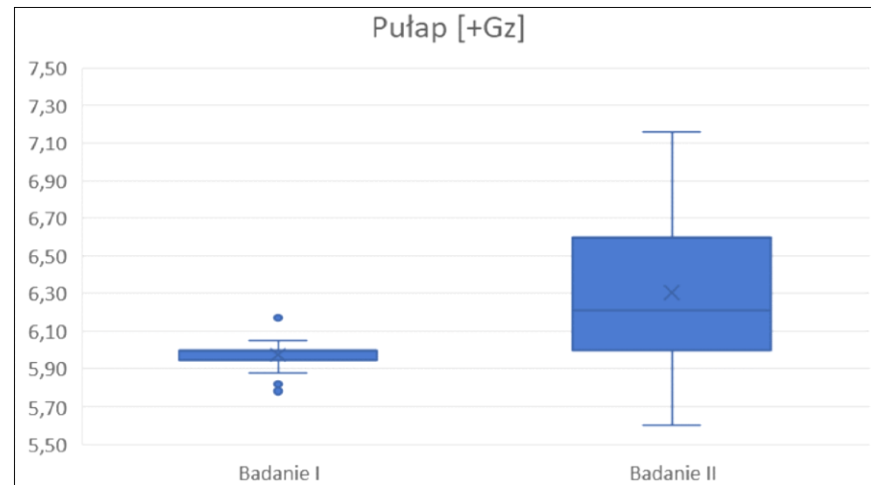
W przypadku tętna rejestrowanego przy 1,4 G oraz 5,7 G testy statystyczne nie wykazały istotnych różnic pomiędzy badaniem wykonanym na wirówce przeciążeniowej przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego. Średnia poziomu tętna przy niższym przyspieszeniu (Delta HR MIN) nieco wzrosła, zaś średnie tętno przy wyższym przyspieszeniu (Delta HR MAX) nieznacznie spadło. Z wykresów pudełkowych przedstawionych na rycinie 19 oraz z testów statystycznych można wywnioskować, że ewentualne różnice nie mają znaczenia z punktu widzenia statystycznego.

W przypadku samego pułapu tolerancji na przyspieszenia +Gz mamy podstawy twierdzić, że po okresie realizacji ukierunkowanego treningu pułap wzrósł w stosunku do wyników przedstawionych przed okresem realizacji ukierunkowanego treningu. Zwiększyła się natomiast wariancja wyników, a dla próby eksperymentalnej na poziomie istotności równym 0,05 uzasadnione jest twierdzenie, że rozkład wyników różni się od normalnego, zaś wariancję cechuje heteroskedastyczność. W związku z powyższym, zastosowano test t-Studenta dla prób zależnych i nierównych wariancji, pamiętając o niespełnieniu założenia normalności dla jednej z porównywanych prób i biorąc pod uwagę, że test ten jest dość odporny na naruszenie wspomnianego założenia. Dlatego też nie zdecydowano się na zastosowanie odpowiedniego testu nieparametrycznego.

Tabela 13. Wyniki testów statystycznych (wartości p) weryfikujących podobieństwo badanych przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego pod względem wskaźników motorycznych

Wskaźnik	Test normalności Shapiro-Wilka		Test F na równość wariancji	Test t dla prób zależnych	Wynik
	Badanie I	Badanie II			
Pułap	0,01	0,21	3,41E-09	9,07E-04	statystycznie istotna poprawa wyników
Delta HR MIN	0,25	0,50	0,58	0,72	brak statystycznie istotnych różnic
Delta HR MAX	0,40	0,97	0,68	0,88	brak statystycznie istotnych różnic

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 19. Porównanie wyników testów na wirówce przeciążeniowej przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego (dla całej grupy badanych)

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku próby Jędrysa porównanie wyników na początku i na końcu badania podlegało określonym uwarunkowaniom. Część z badanych osiągnęła bowiem maksymalną przewidzianą w teście wartość, powyżej której próba nie była kontynuowana. Co więcej, po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego wszystkim badanym udało się osiągnąć wspomniane maksimum. Oznacza to, że ewentualne porównania średnich wyników nie będą miarodajne. Po ograniczeniu próby do osób, które w początkowym badaniu nie osiągnęły maksimum, dostajemy ewidentną poprawę wyników, a dokładniej istotną statystycznie różnicę polegającą na niezaliczeniu próby przed, a zaliczeniu jej po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego.

W niniejszym podrozdziale wykazano różnice w wynikach większości testów motorycznych, próbie Jędrysa oraz teście granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz wykonanych przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego. Różnice te weryfikowane były z punktu widzenia wszystkich uczestników badania, bez względu na przynależność do grupy. Miały one na celu charakterystykę próby badawczej przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego oraz wskazanie ewentualnych zmian czy poprawy pomiędzy przeprowadzonymi testami. Zmiany te liczone były jako klasyczne różnice pomiędzy średnimi wartościami i nie uwzględniały poziomu wyjściowego badanych. Tymczasem trudno jest oczekiwać liniowości progresu. Stąd w kolejnych etapach analizy uwzględnione zostały zmiany względne wskaźników motorycznych oraz wyników testów, jak również szczegółowo zostały omówione różnice pomiędzy badanymi z grupy eksperymentalnej oraz kontrolnej.

4.2. Poprawa kondycji fizycznej pilotów – uzasadnienie statystyczne

W poprzednim podrozdziale opisano porównanie wyników uzyskanych przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego. Istotne statystycznie różnice interpretowane w kategoriach poprawy wyników zaobserwowano po analizie całej grupy badanych. Tymczasem mogą istnieć dysproporcje pomiędzy badanymi grupami. O ile weryfikacja wielkości poprawy jest adresowana w ostatnim, czwartym, etapie analizy, o tyle sam fakt poprawy wyników w ramach badanych z danej grupy zostanie poruszony w tym podrozdziale.

Wyniki porównawczych testów statystycznych wraz z testami weryfikującymi założenia stosowalności (normalność rozkładu oraz homoskedastyczność wariancji) przedstawiono osobno dla grupy eksperymentalnej (tabela 14) oraz kontrolnej (tabela 15).

W obu przypadkach potwierdziły się wnioski o braku istotnych statystycznie różnic w parametrach somatycznych, a mianowicie masie ciała, indeksie BMI oraz wysokości tętna przy przeciążeniu 1,4 G i 5,7 G. Nie jest to zaskakujące, gdyż znacząca zmiana tych parametrów wymaga zazwyczaj znacznie dłuższego czasu. Nie jest również oczywiste, jak interpretować poprawę w przypadku tętna. Z jednej strony obniżenie tętna świadczyć może o lepszym wytrenowaniu, a z drugiej strony, sama możliwość zarejestrowania wyższego poziomu tętna może być traktowana jako zwiększenie potencjału organizmu na ekstremalny wysiłek. W przypadku pomiaru tętna przy określonych progach przeciążenia należy się jednak skłaniać do pierwszej z przedstawionych interpretacji. Brak statystycznej istotności w grupie kontrolnej jest oczywisty, biorąc pod uwagę fakt, że różnice w osiągniętym maksymalnym przeciążeniu w teście tolerancji na przyspieszenia +Gz okazały się nieistotne statystycznie. Dla grupy eksperymentalnej nastąpiła istotna pod względem statystycznym poprawa wyników, ale moc zastosowanego testu t-Studenta dla prób zależnych i nierównych wariancji jest ograniczona ze względu na niespełnienie założenia normalności rozkładu w próbie przed okresem realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego (wartość p w teście normalności Shapiro-Wilka równa 4,44E-03).

Wyniki testów dla wskaźników motorycznych są jednoznaczne i okazują się różnić od wyników dla całej grupy (patrz tabela 9), dla której nie zanotowano poprawy w biegu wahadłowym 10x10 m. Tymczasem program treningowy grupy eksperymentalnej zaowocował poprawą w każdym z testów motorycznych, w przeciwieństwie do grupy kontrolnej, gdzie o poprawie można mówić tylko w przypadku podciągania na drążku oraz skoku w dal z miejsca. W próbie Jędrusa progres zanotowano w każdej z grup, gdyż po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego wszystkim badanym udało się zaliczyć próbę, osiągając maksymalny przewidziany czas 600 sekund.

Tabela 14. Wyniki testów statystycznych (wartości p) weryfikujących podobieństwo badanych z grupy eksperymentalnej przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego pod względem wskaźników somatycznych, motorycznych oraz związanych z badaniem granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz

Wskaźnik	Test normalności Shapiro-Wilka		Test F na równość wariancji	Test t dla prób zależnych	Wynik
	Badanie I	Badanie II			
Masa	0,08	0,99	0,61	0,32	brak statystycznie istotnych różnic
BMI	0,33	0,17	0,24	0,11	brak statystycznie istotnych różnic
16,5 m	0,53	0,90	0,40	3,48E-03	statystycznie istotna poprawa wyników
10x10 m	0,96	0,87	0,73	0,02	statystycznie istotna poprawa wyników
Podciąganie na drążku	0,81	0,57	0,51	0,01	statystycznie istotna poprawa wyników
Skłony tułowia przez 2 min.	0,22	0,65	0,82	2,07E-03	statystycznie istotna poprawa wyników
Skok w dal z miejsca	0,55	0,35	0,48	7,06E-06	statystycznie istotna poprawa wyników
Pułap	4,44E-03	0,37	3,51E-07	3,24E-03	statystycznie istotna poprawa wyników
Delta HR MIN	0,49	0,09	0,83	0,21	brak statystycznie istotnych różnic
Delta HR MAX	0,45	0,35	0,72	0,26	brak statystycznie istotnych różnic

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 15. Wyniki testów statystycznych (wartości p) weryfikujących podobieństwo badanych z grupy kontrolnej przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego pod względem wskaźników somatycznych, motorycznych oraz związanych z badaniem granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz

Wskaźnik	Test normalności Shapiro-Wilka		Test F na równość wariancji	Test t dla prób zależnych	Wynik
	Badanie I	Badanie II			
Masa	0,69	0,64	0,40	0,63	brak statystycznie istotnych różnic
BMI	0,52	0,34	0,29	0,73	brak statystycznie istotnych różnic
16,5 m	0,71	0,32	0,37	0,10	brak statystycznie istotnych różnic
10x10 m	0,93	0,80	0,10	0,87	brak statystycznie istotnych różnic
Podciąganie na drążku	0,77	0,31	0,82	7,66E-04	statystycznie istotna poprawa wyników
Sklony tułowia przez 2 min.	0,46	0,75	0,95	0,58	brak statystycznie istotnych różnic
Skok w dal z miejsca	0,49	0,26	0,89	2,29E-05	statystycznie istotna poprawa wyników
Pułap	0,33	0,05	1,82E-03	0,08	brak statystycznie istotnych różnic
Delta HR MIN	0,42	0,45	0,30	0,57	brak statystycznie istotnych różnic
Delta HR MAX	0,95	0,14	0,78	0,70	brak statystycznie istotnych różnic

Źródło: opracowanie własne.

4.3. Analiza korelacji

W celu weryfikacji, czy pomiędzy uzyskanymi przez badanych wynikami w testach sprawnościowych i próbie Jędrusa oraz granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz jest jakaś zależność, dokonano transformacji zmiennych. Transformacja ta wykorzystana była również w analizie wariancji do porównania poprawy wyników w grupie eksperymentalnej i kontrolnej (patrz następny podrozdział). Dla n-tego badanego i każdego testu sprawnościowego (w tym próby Jędrusa i wskaźników testu badania granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz) wyznaczono względną zmianę rezultatów wzorem:

$$\widetilde{w}_n = \frac{w_n^K - w_n^P}{w_n^P}$$

gdzie:

w_n^P – wynik n-tego badanego w teście wykonanym przed okresem realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego;

w_n^K – wynik n-tego badanego w teście wykonanym po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego.

Dla testów, których miarą jest czas, to jest bieg na 16,5 m oraz bieg wahadłowy 10x10 m, wzór przyjmował postać:

$$\widetilde{w}_n = \frac{w_n^P - w_n^K}{w_n^P}$$

Aby zachować interpretację w kategoriach poprawy/pogorszenia wyniku. Tak zdefiniowane wskaźniki względne mają większą wartość analityczną, gdyż uwzględniają poziom z jakiego poprawiali się badani.

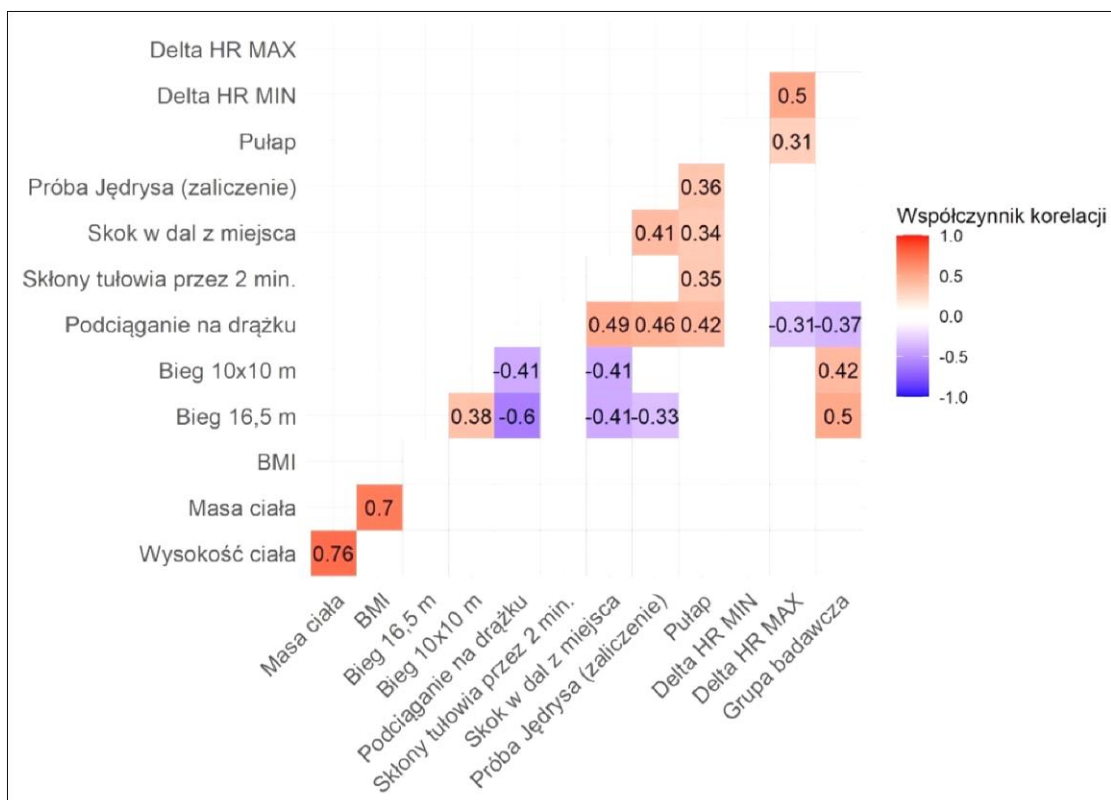
W związku ze specyficznym rozkładem prawdopodobieństwa wyników w próbie Jędrysa wynikającym z obciążenia liczby sekund na poziomie 600, którego osiągnięcie uznawane jest za zaliczenie próby, wprowadzono nową dychotomiczną zmienną przyjmującą wartość 1 w przypadku, gdy próba została zaliczona, zaś 0, gdy czas 600 sekund nie został osiągnięty.

Jednym ze sposobów określenia zależności pomiędzy wyrażonymi ilościowo charakterystykami badanego zagadnienia jest sprawdzenie istnienia związków korelacyjnych. W zależności od typów rozpatrywanych zmiennych istnieją różne sposoby mierzenia korelacji. Jednym z najpowszechniej stosowanym miernikiem zależności jest współczynnik korelacji liniowej Pearsona (Stuart, Ord, Arnold 2010), który ma zastosowanie dla zmiennych typu przedziałowego. Właśnie z takim przypadkiem mamy do czynienia ze zmiennymi po transformacji. Można przyjąć, że warunek stosowalności spełniają w przybliżeniu również masa i wysokość ciała, ale już nie w przypadku zmiennych, takich jak zaliczenie próby Jędrysa czy przynależność do grupy eksperymentalnej lub kontrolnej. Dla zmiennych typu nominalnego (precyzyjniej, zmiennych dychotomicznych) nie można stosować korelacji liniowej Pearsona. Zależność pomiędzy zmienną przedziałową a dychotomiczną można natomiast zweryfikować za

pomocą współczynnika korelacji punktowo-dwuseryjnej (ang. *point-biserial correlation coefficient*) (Glass, Hopkins 1996; Corder, Foreman 2014).

Dla zestawu wskaźników wykorzystanych w badaniu (po transformacji) przeprowadzono analizę korelacji. W zależności od typu zmiennych zastosowano adekwatne miary korelacji, przy czym sprawdzono wszystkie pary w poszukiwaniu wzajemnych zależności. Dla potwierdzenia lub zaprzeczenia stawianym hipotezom statystycznym każdorazowo przeprowadzono odpowiednie testy istotności. Macierz współczynników korelacji, które okazały się istotne statystycznie na poziomie istotności równym 0,05, przedstawiono na rycinie 20. Nie oznacza to, że nie ma zależności pomiędzy pozostałymi zmiennymi, lecz w przypadku mało licznych prób, nie mamy podstaw do twierdzenia, że związek jest nieprzypadkowy.

Duża część zależności korelacyjnych jest oczywista. Przykładowo, masa ciała ma zazwyczaj ścisły związek z wysokością (w badanej próbie $r = 0,76$). Indeks BMI jest również silnie skorelowany ($r = 0,70$) z masą ciała, gdyż ze wzoru wynika, że jest od niej wprost proporcjonalnie zależny. Odwrotną korelację widać między poprawą w testach biegowych a zwiększoną liczbą podciągnięć na drążku czy poprawą odległości w skoku w dal z miejsca. Jest to o tyle zrozumiałe, że cechy wytrzymałościowe czy zwinność często nie idą w parze z siłą. Najważniejsze zależności z punktu widzenia tematu dysertacji dotyczą zmiennych związanych z wynikami testu badania granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz. Jedną z istotnych statystycznie korelacji to współzależność od Delta HR MAX, które w uproszczeniu rośnie (choć nieliniowo) wraz z wielkością przyspieszenia +Gz, co przekłada się na wynik testu. Pozostałe korelacje odnoszą się do testów motorycznych: skoków, skłonów oraz podciągania się na drążku – im bardziej badany poprawiał wyniki tych testów, tym większa była notowana poprawa w wartości przyspieszenia kończącego test granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz. Również zaliczenie próby Jędrysa przekłada się na wyższy pułap tolerancji przyspieszeń +Gz badanych. Istotną statystycznie okazała się także dość oczywista zależność pomiędzy Delta HR MIN a Delta HR MAX. Próba Jędrysa (sam fakt zaliczenia) jest pozytywnie skorelowana z poprawą wyników skoku w dal z miejsca oraz podciąganiem na drążku, ale już skorelowana negatywnie z progresją wynikową w biegu na 16,5 m. Wyniki testów biegowych, poza podciąganiem na drążku, są jedynymi wskaźnikami, które okazały się być skorelowane z przynależnością do grupy badanej. Stopień poprawy wyników w tych testach motorycznych był, chociaż w niewielkim stopniu, powiązany z programem treningowym, który został wdrożony dla konkretnego badanego.



Ryc. 20. Macierz korelacji (Pearsona lub punktowo-dwuseryjnej) wybranych wskaźników wykorzystanych w badaniu. Uwzględnione zostały tylko istotne statystycznie zależności
 Źródło: opracowanie własne.

4.4. Analiza wariancji ANOVA

Analiza korelacyjna ma na celu identyfikację związków pomiędzy dwoma zmiennymi. Współczynnik korelacji Pearsona ma jednak swoje ograniczenia, np. w postaci dużej podatności na obserwacje odstające, czy też możliwości wykrywania tylko zależności liniowych. Co więcej, na podstawie tych analiz nie można wysnuwać wniosków przyczynowo-skutkowych. Istnieją jednak bardziej skuteczne narzędzia statystyczne, takie jak analiza wariancji.

Analiza wariancji ANOVA (ang. *ANalysis Of VAriance*) pozwala porównać ze sobą dwie lub większą liczbę grup. Istnieje kilka kategorii analiz wariancji, w tym wykorzystywana w pracy jednoczynnikowa analiza wariancji, której celem jest weryfikacja wpływu jednego czynnika międzygrupowego na zmienną zależną. Analiza wieloczynnikowa nie jest możliwa przy tak małych próbach.

W badaniu opisanym w pracy zmienną zależną jest przynależność do grupy eksperymentalnej lub kontrolnej, natomiast badanymi czynnikami wskaźniki zdefiniowane w poprzednim podrozdziale opisujące poprawę wynikową w testach motorycznych, a przede wszystkim w próbie Jędrysa oraz teście badania granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz. W przypadku pułapu tolerancji przyspieszeń +Gz postawione hipotezy statystyczne przyjmują postać:

H0: przynależność do grupy eksperymentalnej nie ma wpływu na poprawę pułapu tolerancji na przyspieszenia +Gz

H1: badani z grupy eksperymentalnej charakteryzują się średnio większą poprawą pułapu tolerancji na przyspieszenia +Gz niż badani z grupy kontrolnej

Hipotezy dla testów motorycznych formułowane są w sposób analogiczny. Weryfikacja postawionych hipotez przeprowadzona została z użyciem jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA. Stosowalność tej metody wiąże się ze spełnieniem kilku założeń (Brandt, Szymanowski 1998):

- normalność rozkładu zmiennej zależnej w badanych podgrupach;
- homogeniczność wariancji w podgrupach podzielonych ze względu na cechę;
- niezależność podgrup badanej populacji.

Założenie o niezależności prób jest spełnione w oczywisty sposób ze względu na metodologię badania i rozłączność badanych grup. Wyniki testów normalności rozkładów oraz testów homogeniczności wariancji przedstawione zostały w tabeli 16. Do testowania normalności rozkładu wykorzystano test Shapiro-Wilka, natomiast homogeniczność wariancji sprawdzano za pomocą dwóch powszechnie używanych testów statystycznych: testu Levene'a oraz testu Browna-Forsythe'a (Brown, Forsythe 1974).

Na poziomie istotności równym 0,05 nie ma podstaw do twierdzenia, że w którejś z grup rozkład względnych zmian wskaźników nie ma rozkładu zbliżonego do normalnego. W przypadku testów na równość wariancji zarówno test Levene'a, jak i Browna-Forsythe'a dla wskaźnika Delta HR MAX dały podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej o homogeniczności wariancji. Przypadek ten zaznaczony został innym odcieniem tła komórki, zaś w miejsce klasycznej analizy wariancji ANOVA wykorzystana została wersja z korektą Welcha (Welch 1951).

Kwestia występowania poprawy jest bezdyskusyjna w przypadku testu badania granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz, wskaźników somatycznych oraz tych wskaźników motorycznych, w których w grupie kontrolnej nie zaobserwowano lepszych wyników. Poprawę zanotowano w grupie eksperymentalnej, co jest wystarczającym

dowodem na skuteczność zastosowanego programu treningowego. Dla czytelności wyników na rycinie 21 przedstawiono porównanie zmian wskaźników przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego w grupie eksperymentalnej i kontrolnej. W przypadku podciągania na drążku oraz skoku w dal z miejsca, w obu grupach nastąpiła poprawa wyników na tyle duża, że okazała się być istotna statystycznie. Niezbędne było sprawdzenie, czy stopień poprawy był podobny w obu grupach, czy też członkowie którejs z grup zanotowali większą poprawę niż uczestnicy badania zakwalifikowani do drugiej grupy. Na podstawie testów statystycznych uprawomocnione jest twierdzenie, że w teście polegającym na podciąganiu się na drążku obie grupy poprawiły się w podobnym stopniu, natomiast w przypadku skoku w dal z miejsca badani z grupy eksperymentalnej statystycznie poprawili się więcej niż badani z grupy kontrolnej.

Ostatnią do rozważenia kwestią pozostaje próba Jędrysa. Członkowie obu grup zanotowali poprawę w postaci zaliczenia tej próby. Aby mówić o poprawie, ograniczono się do osób, którym nie udało się zaliczyć próby Jędrysa przed okresem realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego. Dla tak ograniczonych grup badanych zweryfikowano wielkość poprawy. Wartość p w analizie wariancji ANOVA wynosi 0,07. Na poziomie istotności 0,05 nie mamy zatem podstaw by twierdzić, że poprawa wyników w jednej z grup jest większa niż poprawa w drugiej grupie. Na poziomie istotności 0,1 jednak takie podstawy by już były – poprawa w grupie eksperymentalnej była większa niż w grupie kontrolnej. Przy ustalaniu poziomu istotności należy wziąć pod uwagę bardzo małą licznosc obu grup z odrzuconymi dodatkowo osobami, które z sukcesem podeszły do próby Jędrysa już w pierwszym badaniu.

Badanie statystyczne, na które składały się cztery etapy analiz, dowiodło **dwóch prawidłowości**:

- w większości testów badani zanotowali poprawę po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego w stosunku do wyników zmierzonych przed okresem realizacji ukierunkowanego treningu;
- w grupie eksperymentalnej poprawa wyników testów motorycznych (poza podciąganiem na drążku), próbie Jędrysa (na poziomie istotności 0,1), a przede wszystkim w teście badania granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz była większa niż w grupie kontrolnej.

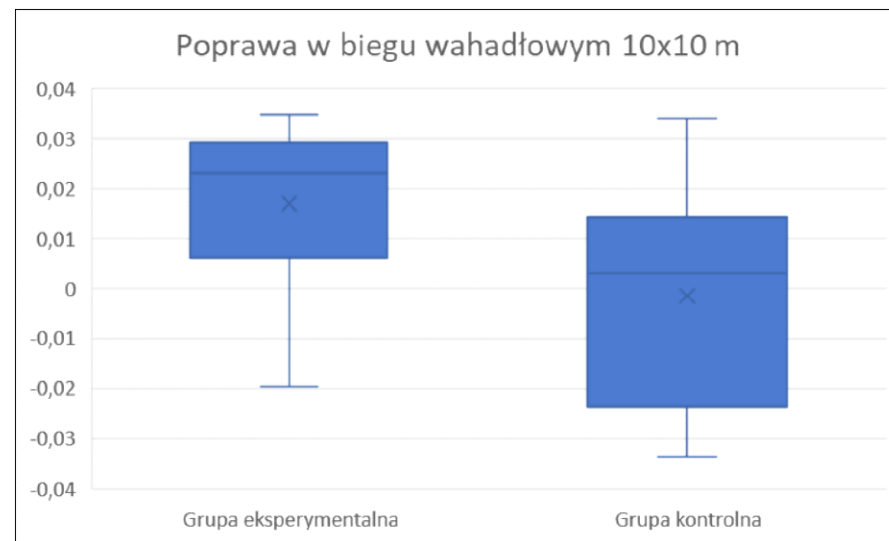
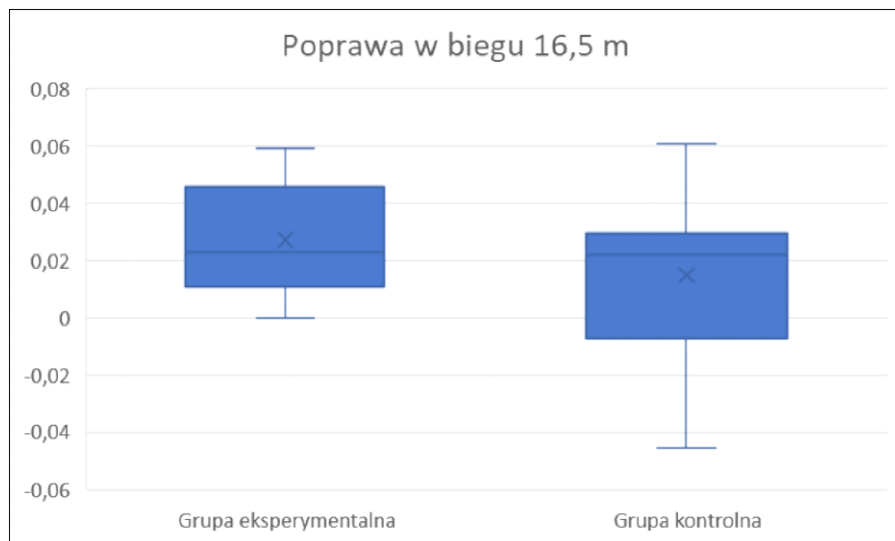
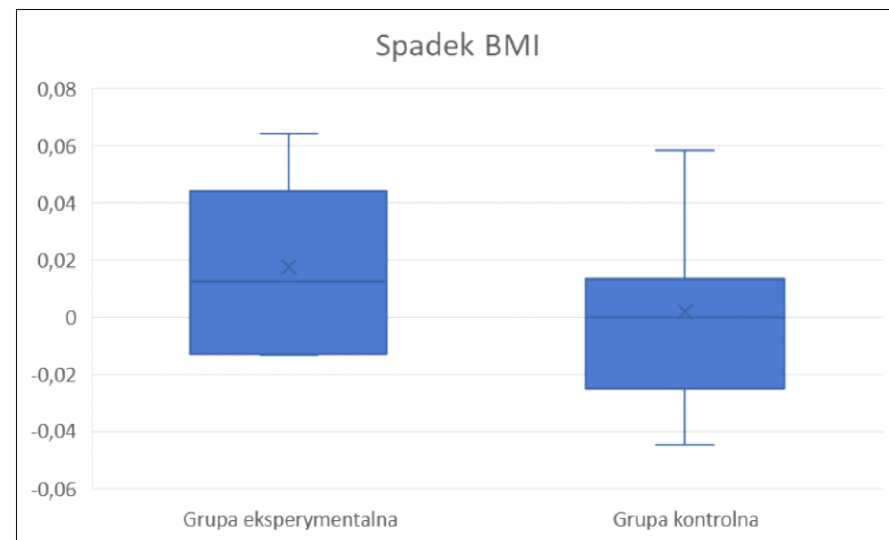
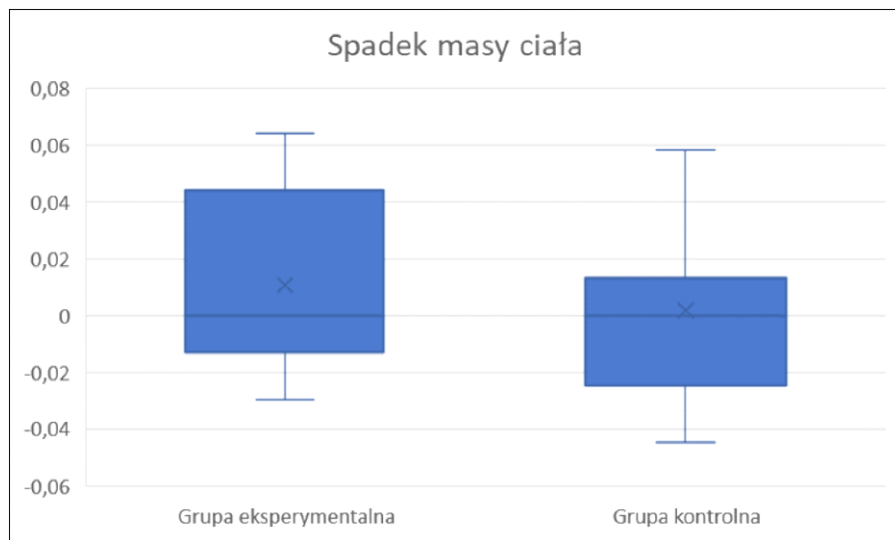
Ze względu na stosunkowo krótki odstęp czasu pomiędzy badaniami nie zanotowano istotnych zmian wskaźników somatycznych.

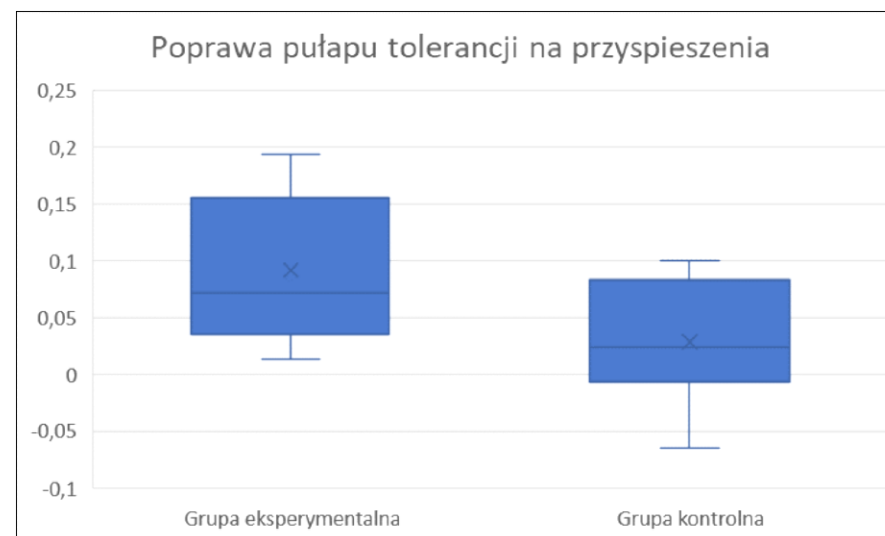
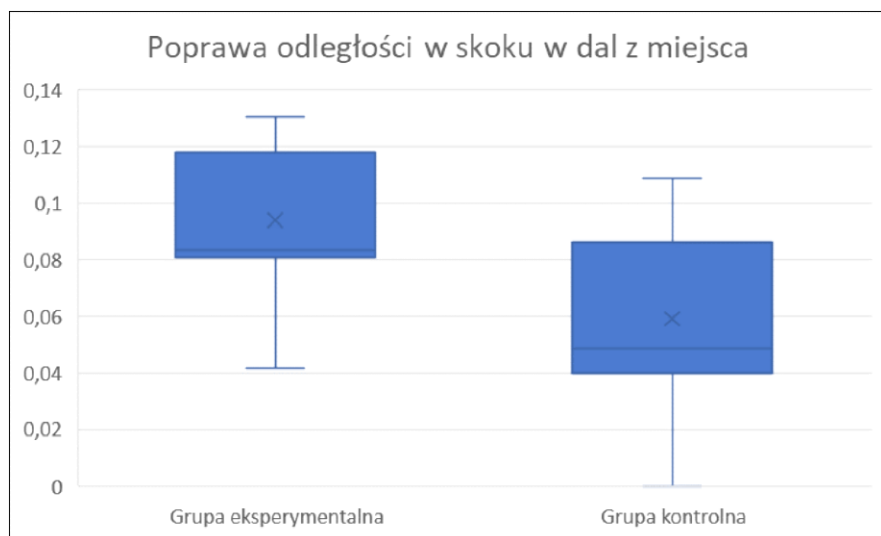
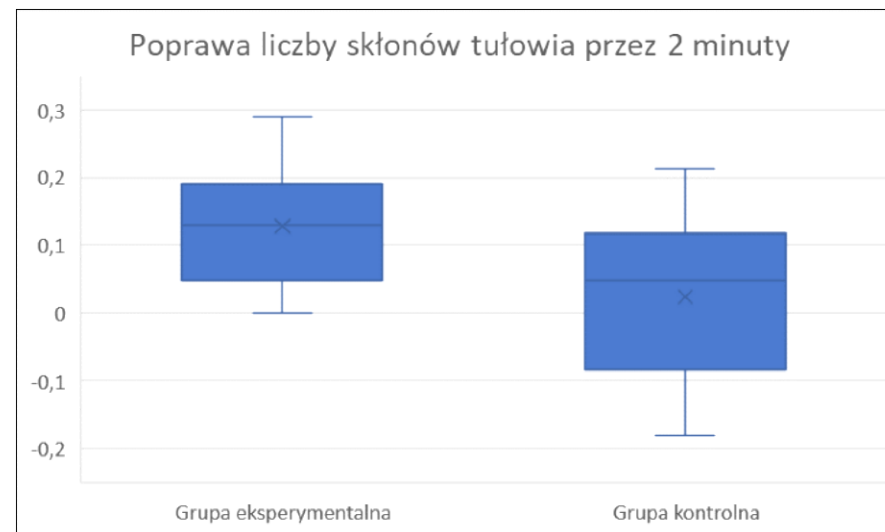
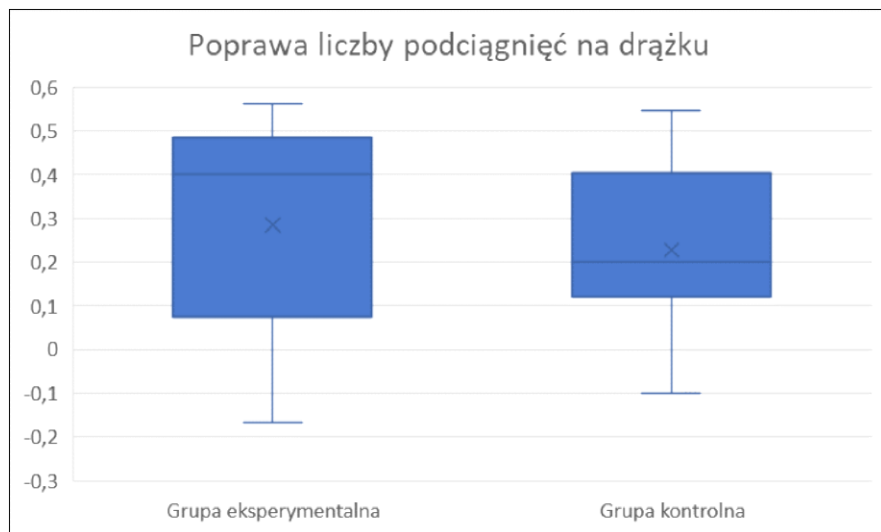
Tabela 16. Wyniki testów statystycznych weryfikujących różnice w poprawie wskaźników w grupie eksperymentalnej i kontrolnej

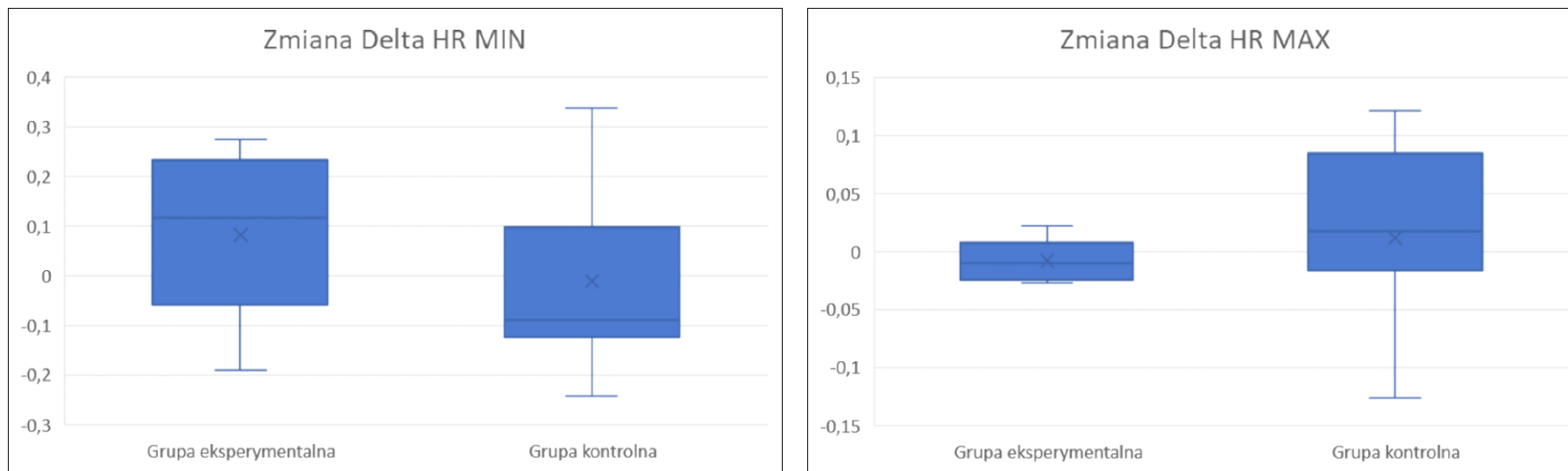
Wskaźnik	Test normalności Shapiro-Wilka			Test na homogeniczność wariancji			ANOVA	
	Grupa eksperymentalna (wartość p)	Grupa kontrolna (wartość p)	Wynik ($\alpha = 0,05$)	Levene'a (wartość p)	Browna-Forsythe'a (wartość p)	Wynik ($\alpha = 0,05$)	wartość p	Wynik ($\alpha = 0,05$)
Masa	0,30	0,72	rozkład normalny	0,51	0,63	wariancje równe	0,52	brak różnic
BMI	0,25	0,73	rozkład normalny	0,66	0,70	wariancje równe	0,25	brak różnic
Bieg 16,5 m	0,87	0,65	rozkład normalny	0,36	0,45	wariancje równe	0,29	brak różnic
Bieg 10x10 m	0,15	0,66	rozkład normalny	0,29	0,28	wariancje równe	0,05	poprawa wyników
Podciąganie na drążku	0,35	0,96	rozkład normalny	0,26	0,46	wariancje równe	0,55	brak różnic
Sklony tułowia przez 2 min.	0,96	0,68	rozkład normalny	0,29	0,31	wariancje równe	0,05	poprawa wyników
Skok w dal z miejsca	0,41	0,29	rozkład normalny	0,57	0,62	wariancje równe	0,01	poprawa wyników
Pułap	0,25	0,78	rozkład normalny	0,17	0,31	wariancje równe	0,02	poprawa wyników
Delta HR MIN	0,43	0,22	rozkład normalny	0,94	0,96	wariancje równe	0,23	brak różnic
Delta HR MAX	0,18	0,30	rozkład normalny	0,02	0,02	wariancje różne	0,42*	brak różnic
Próba Jędrysa	0,33	0,50	rozkład normalny	0,49	0,49	wariancje równe	0,07	brak różnic

* wersja ANOVA z korektą Welcha

Źródło: opracowanie własne.







Ryc. 21. Porównanie zmian wskaźników przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego w grupie eksperymentalnej i kontrolnej

Źródło: opracowanie własne.

V. DYSKUSJA

Na wstępie dyskusji dokonano podsumowania najważniejszych zmian badanych parametrów oceniających wpływ ukierunkowanego treningu fizycznego podchorążych Lotniczej Akademii Wojskowej na poprawę tolerancji przyspieszeń +Gz. Uwzględniono zachowanie się wskaźników somatycznych, wskaźników sprawności fizycznej, habituacji narządu przedsionkowego (próba Jędrysa) oraz poziomu tolerancji na przyspieszenia +Gz. W toku dyskusji zwrócono szczególną uwagę na postawione pytania badawcze oraz sformułowane hipotezy badawcze.

Określenie granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz w wirówce przeciążeniowej jest jednym z podstawowych badań kwalifikujących pilotów do wykonywania lotów na samolotach wojskowych wysokomanewrowych. Badania są formą testu wytrzymałościowego (tolerancji) na działanie sił, z jakimi spotyka się pilot w trakcie codziennej pracy (Wojtkowiak i wsp. 2002). W niniejszej pracy głównym celem było określenie progu, po przekroczeniu którego organizm pilota nie był już w stanie sprostać wyzwaniu, jakie stanowi środowisko hipergrawitacyjne. Próg ten, zwany granicą tolerancji na przyspieszenia (przeciążenia), określa się podczas badania w wirówce przeciążeniowej (Jasiński 2005).

Badania granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz w wirówce przeciążeniowej stanowią bogate źródło informacji o stanie psychofizycznym pilotów i kandydatów do służby wojskowej oraz ich przygotowaniu kondycyjnym. Za pośrednictwem badań na wirówce przeciążeniowej, oprócz wspomnianej granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz, mamy możliwość w sposób kompleksowy ocenić wydolność organizmu pilota w środowisku rzeczywistych obciążeń w symulowanym locie (Mikuliszyn, Żebrowski 2002).

Realizacja pierwszego etapu badań obejmowała analizę i porównanie granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz, za pomocą programu liniowego narastania przyspieszeń (GOR) z wynikami oceny intensywności i monitorowania pomiaru częstości skurczów serca (HR MAX oraz Delta HR od 1,4 do 5,7 G) na wirówce przeciążeniowej przed i po realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego w obydwu grupach. Uzyskane w przeprowadzonej analizie GTP wyniki wykazały, że osiągnięte wskaźniki poprawiły się w przypadku wszystkich podchorążych, przy czym wielkość poprawy oscylowała w zakresie od 1,3% do 19,3%. Średnia wielkość poprawy w grupie eksperymentalnej

wynosiła 9,1%, natomiast w grupie kontrolnej 2,8%. Zmiany te sugerowały wysoką sprawność czynnościową układu krążenia, ponieważ w analizowanym okresie zmieniono i zmodyfikowano środki i metody przygotowania fizycznego pilotów, ukierunkowane na kształtowanie zdolności siłowych i szybkościowych, co wpłynęło na poprawę tolerancji przyspieszenia +Gz na wirówce przeciążeniowej. Wpływ na pozytywne zmiany miał z pewnością również intensywny trening ukierunkowany, który był prowadzony trzy razy w tygodniu na rozwój określonych zdolności motorycznych (siła, zwinność, wytrzymałość, szybkość, moc).

W ostatnim dziesięcioleciu dokonał się znaczący postęp w dziedzinie technicznych środków zwiększających tolerancję na przyspieszenia. Jednakże indywidualne przygotowanie fizyczne oraz umiejętność prawidłowego wykonywania manewrów przeciwprzeciążeniowych są nadal problemami o znaczeniu kluczowym. W dostępnym piśmiennictwie zagranicznym spotyka się coraz więcej doniesień na temat nowych form ukierunkowanego i specjalistycznego treningu fizycznego pilota, którego celem jest zwiększanie tolerancji na przyspieszenia +Gz (Epperson, Burton, Bernauer 1982; Tesch, Hjort, Balldin 1983; Rausch i wsp. 2021). W polskim lotnictwie wojskowym stosuje się obie formy treningu fizycznego. Do treningu ukierunkowanego zalicza się między innymi trening na wirówce przeciążeniowej z użyciem ubioru przeciwprzeciążeniowego czy „Deptak” do nauki manewrów przeciwprzeciążeniowych (Wojtkowiak 1998; Dereń i wsp. 1998; Jędrys, Breszka, Kowalczuk 2020). Preferuje się również formy treningu izometrycznego i siłowego z komponentą beztlenową w postaci wykonywania ćwiczeń izometryczno-oddechowych, treningu interwałowego w postaci ćwiczeń z użyciem własnej masy ciała. Ćwiczenia te mają za zadanie wyćwiczyć i utrwalić podstawowe elementy automatycznego wykonywania manewrów napinających AGSM (próba M-1, L-1), które w konsekwencji prowadzą do poprawy poziomu tolerancji na przyspieszenia +Gz od 1,5–2,5 G (Stechni 1960, 1982; Burton, Whinnery, Forster 1987; Operations G Awareness for Aircrew 2014). Niestety w dostępnej literaturze zagranicznej nie napotkano doniesień na temat treningu specjalistycznego na przyrządach lotniczych, który w „Szkole Orłąt” prowadzony jest od wielu lat. Zalicza się do nich trening na LGPS (looping, żyroskop, koło reńskie), który wpływa na obniżenie wrażliwości pilota na działanie przyspieszeń kątowych i dośrodkowych, habituację narządu przedsionkowego (oceniającą np. próbą Jędrysa), koordynację wzrokowo-ruchową oraz orientację przestrzenną. Specyfiką ćwiczeń na LGPS jest również oddziaływanie na centralny układ nerwowy, mięśniowy i sercowo-naczyniowy za pośrednictwem wymuszonych ćwiczeń wykonywanych na przyrządach

lotniczych w osi podłużnej, poprzecznej i strzałkowej. Uwzględniając dynamiczny aspekt ćwiczeń na tych przyrządach (ćwiczenia w różnych osiach), należy podkreślić ich wpływ na trzy kanały półkoliste układu przedsionkowego i narządy otolitowe. Wiadomym jest, że w przewodach półkolistych i w przedsionku znajdują się receptory narządu równowagi. Komórki receptorów w bańkach błoniastych przewodów półkolistych reagują na obrót głowy, czyli na przyspieszenie kątowe, a komórki sensoryczne występujące w łagiewce i woreczku są wrażliwe na przyspieszenie liniowe. Ćwiczenia na LGPS oddziałują również na receptory ww. układów w inny sposób, a mianowicie wzmacniają połączenia między dwoma układami odpowiedzialnymi za ruch: motoryczny i sensoryczny (Jędrys 2015). O motorycznych zdolnościach koordynacyjnych Szopa i wsp. wyrazili pogląd, że określają one możliwości organizmu w zakresie wykonywania dokładnych i precyzyjnych ruchów w zmieniających się warunkach zewnętrznych (zmiany kierunku, płaszczyzny i osi ruchu) (Szopa, Mleczek, Żak 2000).

Na podstawie konsekwentnie prezentowanych w niniejszej pracy danych literaturowych oraz badań własnych określono skuteczność przygotowania pilotów do działania w powietrzu poprzez zastosowanie „autorskiego treningu ukierunkowanego” w grupie eksperymentalnej i pominięcie tego treningu w grupie kontrolnej. Przedstawione w tym programie treningowym ćwiczenia mają na celu nauczanie (usprawnianie) prawidłowego oddychania, zwiększanie tłoczni brzusznej i wytrzymałości mięśniowej jako przygotowanie pilotów samolotów wysokomanewrowych do wykonywania manewrów przeciwprzeciążeniowych (próba M-1, L-1). Wymienione manewry umożliwiają podtrzymanie krążenia mózgowego w warunkach oddziaływania ekstremalnych wartości przyspieszeń w osi +Gz oraz utrzymania świadomości sytuacyjnej pilota w czasie realnego lotu. Forma tego treningu jest ukierunkowana głównie na rozwijanie określonych grup mięśniowych, do których należy grupa mięśni ud (mięsień czworogłowy i mięsień przywodziciel), grupa mięśni pośladkowych oraz mięśni podudzia i brzucha (Operations G Awareness for Aircrew 2014). Należy podkreślić, że podczas tego treningu nie wymaga się silnego napinania mięśni brzucha, a tylko utrzymania ich w stanie połowicznego napięcia. Podczas wykonywania zadań lotniczych pilot powinien potrafić samodzielnie ocenić stopień skutecznego napięcia mięśni w odpowiedniej proporcji do działającego przyspieszenia. Bowiem wartości przyspieszeń podczas walki powietrznej lub innych ewolucji samolotu (skrętu, pętli, półpętli, korkociągu, becзки) ulegają ciągłym zmianom, co może się przyczynić do szybkiego zmęczenia mięśni i wyczerpania ich rezerw metabolicznych (Jethon 1977; Golec 2002; Jouanin i wsp. 2005). Skuteczność manewrów

napinających (próba M-1, L-1) zależy więc od systematycznego treningu kształtującego siłę i koordynację skurczu opisanych wyżej grup mięśniowych z odpowiednim rytmem oddychania, a także od bezbłędnego wyuczenia kolejno wykonywanych czynności:

- wciągnięcia głowy w ramiona;
- wolnych i silnych wydechów przy całkowicie lub częściowo zamkniętej głośni;
- równoczesnego napięcia wszystkich mięśni szkieletowych (Klukowski, Kowalski 1989).

Ćwiczeniami wspomagającymi jest kształtowanie siły mięśni kończyn górnych. Natomiast siła wytrenowanych podczas tego treningu mięśni winna być zwiększona stopniowo w miarę działania coraz większych przyspieszeń +Gz. Ułatwia to pilotowi kontrolowanie występowania zaburzeń wzrokowych mimo dalszego narastania przyspieszenia. Dlatego w celu utrwalenia właściwego napięcia mięśni podczas działania przyspieszeń zaleca się stopniowe zwiększanie obciążeń w toku realizacji programu treningowego na wirówce przeciążeniowej (Wojtkowiak 2004).

Drugi etap badań dotyczył oceny skuteczności „autorskiego treningu ukierunkowanego” (ATU) na poprawę tolerancji przyspieszeń +Gz. Badanie było przeprowadzone w grupie eksperymentalnej z wydzieloną grupą kontrolną w celu weryfikacji statystycznego progresu. Punkt wyjścia stanowiły założenia metodyczne pierwszego autora treningu dr. Piotra Stechniego (Stechni 1959; Stechni i wsp. 1982), który wprowadził do szkolenia podchorążych w Wyższej Oficerskiej Szkole Lotniczej (WOSL) przedmiot (program) o nazwie Kondycyjno-Sprawnościowe Przygotowanie do Lotów (KSPdL). KSPdL obejmował zarówno zestaw ćwiczeń na LGPS, jak również dwa zestawy specjalnie dobranych ćwiczeń wolnych: ćwiczenia obrotowe i ćwiczenia izometryczno-oddechowe (Stechni 1982; Kłossowski, Jędrys 1988). Powyższy program przechodził liczne modyfikacje, zwłaszcza w zakresie treningów na LGPS i treningu siłowego (Jędrys, Breszka 2020; Wochoński, Krawczyk, Cur 2020). Ostatnia modyfikacja treningu (przy współpracy dr. Roberta Jędrysa) jest mojego autorstwa. W myśl tych założeń w „Szkole Orląt” wyodrębniono tzw. „wczesną specjalizację”, która jest możliwością wcześniejszego przygotowania organizmu kandydata na pilota do specyficznych wymogów wąskiej specjalizacji ruchowej i funkcjonalnej. Prawidłowe rozwiązania treningowe oparte na prawach rozwoju biologicznego młodego organizmu, w szczególności rozwoju wydolności i sprawności fizycznej, wynikają z całokształtu zjawisk wzrastania, dojrzewania i różnicowania ustroju (Kłossowski i wsp. 1994).

Do walidacji wyników badań własnych stosowana była ocena względna poprawy poziomu wytrenowania podchorążych LAW, w miejsce stosowanego w większości dotychczasowych badań bezwzględnego porównywania osiągnięć. Uzyskane wyniki potwierdziły korzystny wpływ ukierunkowanego treningu fizycznego na poprawę zdolności motorycznych. Podchorążowie uzyskali statystycznie istotnie lepsze wyniki (średnio) o co najmniej 2–3% (bieg na 16,5 m oraz bieg wahadłowy 10x10 m). Znacznie większy progres zanotowano w przypadku skoku w dal z miejsca (9%) oraz w próbie Jędrysa (11%). Analiza i porównanie wyników badań przed i po zakończeniu treningu wykazały prawidłowy progres kształtowania cech motorycznych, który można było powiązać z zastosowanym programem ćwiczeń, w tym ćwiczeń siłowych, oddechowych i interwałowych. Pomimo stosunkowo krótkiego czasu trwania ćwiczeń (6 miesięcy) wyniki oceny sprawności fizycznej uległy znacznej poprawie w zakresie wszystkich badanych zdolności motorycznych. Największą poprawę stwierdzono w testach podciągania się na drążku wysokim (średnia poprawa 28%), skłonach tułowia (przeciętny progres 13%), co wskazuje na uzyskanie większej siły i wytrzymałości mięśni kończyn górnych, obręczy barkowej i mięśni brzucha po treningu. Wyniki te można łączyć ze stosowaniem ćwiczeń siłowych i izometrycznych na grupy mięśni, które wpływają na tolerancję przyspieszeń +Gz. Nieznaczną poprawę uzyskano w testach określających takie zdolności motoryczne jak szybkość, zwinność oraz moc. Warto podkreślić, że w większości testów zanotowany progres był znacznie wyższy w grupie eksperymentalnej niż w grupie kontrolnej. Tylko w przypadku próby Jędrysa, podciągania się na drążku wysokim oraz biegu na 16,5 m średni zarejestrowany progres okazał się być 1,3–1,8 razy większy, co nie pozwoliło na potwierdzenie statystycznie istotnej dysproporcji pomiędzy grupami. W pozostałych testach, a przede wszystkim w badaniu granicy tolerancji przyspieszenia +Gz na wirówce przeciążeniowej, wpływ „autorskiego treningu ukierunkowanego” na wynikowy progres był wyraźny, notując kilku- a nawet kilkunastokrotne większe różnice. W przypadku wskaźników somatycznych (masa ciała oraz indeks BMI) różnice pomiędzy grupą eksperymentalną i kontrolną okazały się być nieistotne statystycznie. W tym miejscu warto zwrócić uwagę, że tzw. standardowy program treningu fizycznego podchorążych kierunku pilot samolotu odrzutowego (PSO) był weryfikowany przez wiele lat w LAW i dawał korzystne efekty w podnoszeniu odporności na chorobę powietrzną oraz tolerancję na przyspieszenia +Gz. Natomiast program „autorskiego treningu ukierunkowanego” dodatkowo usprawnił dotychczasowy system szkolenia KSPdL. Stąd trudno spodziewać się było radykalnej poprawy badanych

wskaźników. Przy czym, każda poprawa (choćby niewielkiego stopnia) tolerancji na przyspieszenia +Gz i odporności na chorobę powietrzną, a także wybranych zdolności motorycznych, zwiększa w istotnym stopniu zdolność do wykonywania lotów i poprawia ich bezpieczeństwo, zwłaszcza w deficycie czasu i w sytuacjach awaryjnych.

W ćwiczeniach fizycznych według Balldina preferuje się trening siłowy, izometryczny, anaerobowy oraz szybkościowy. Trening izometryczny według tego autora koncentruje się na zwiększeniu siły określonych grup mięśniowych, które biorą udział w utrzymaniu pozycji ciała i procesie kompensacji fizjologicznej działającego przyspieszenia. Z kolei trening szybkościowy wpływa na szybkość skurczu mięśni w momencie zadziałania przyspieszenia. Tego rodzaju formy treningu mają istotne znaczenie dla szybkiego i skutecznego wykonywania manewrów napinających (próba M-1, L-1) (Balldin 1985, 1986; Operations G Awareness for Aircrew 2014).

Wyniki badań zdolności motorycznych rzutujące na tolerancję przyspieszeń +Gz były przedmiotem prac również Klukowskiego i Możańskiego. Z badań tych wynika, że sprawność fizyczna w grupie pilotów wojskowych w latach osiemdziesiątych według Klukowskiego utrzymywała się na wysokim poziomie, zaś w latach dziewięćdziesiątych według Możańskiego na przeciętnym poziomie (Klukowski 1980; Możański 1996). W innych badaniach Zawadzki i wsp. przeprowadzili analizę stanu zdrowia, rozwoju somatycznego i sprawności fizycznej kandydatów do służby wojskowej. Autorzy wykazali pogarszający się z roku na rok stan zdrowia i obniżający się poziom wydolności fizycznej badanych (Zawadzki, Kalina, Cieślik 1996). Wyniki badań powyższych autorów wskazują, że opisany stan zdrowia pilotów i kandydatów do zawodowej służby wojskowej może również wpłynąć na poziom tolerancji przyspieszeń +Gz (Klukowski 1983).

Badania własne wykazały istotne znaczenie treningu ukierunkowanego w poprawie tolerancji na przyspieszenia +Gz i rolę ćwiczeń obrotowych w kształtowaniu orientacji przestrzennej oraz odporności organizmu na chorobę powietrzną. W niniejszych badaniach do oceny efektów treningowych oraz habituacji narządu przedsionkowego wykonano test zwany „Próba Jędrysa” (Jędryś 2015). Test przeprowadzany na loopingu odczopowanym w odróżnieniu od próby Coriolisa (wykonywanej na krześle Barany’ego) różnił się tym, że był prowadzony w dłuższym czasie i w pozycji stojącej, z istotnym zaangażowaniem mięśni szkieletowych. Wykonywanie próby nie wymagało dodatkowego wspomaganie, a próbę względem bezpieczeństwa nadzorował doświadczony specjalista wychowania fizycznego. Test służy do oceny wytrenowania tych cech, które są niezbędne podczas realizacji bojowych misji lotniczych. Próbie zawsze towarzyszy wysiłek fizyczny, który

nie występuje w próbie obrotowej Coriolisa. Bowiem pozycja stojąca podczas wykonywania tej próby daje informację o zdolności ortostatycznej, która bez wątpienia odgrywa znaczącą rolę dla organizmu pilota. Wykazano, że komponenta przywspółczulna jest najbardziej wyrażona w 20 roku życia i uzyskuje przewagę nad aktywacją układu współczulnego w czasie spoczynku i pozycji stojącej. Efekt hamowania przywspółczulnego zmniejsza się następnie wraz z wiekiem (Yamanaka, Honma 2006). W tym miejscu należy podkreślić, że w procesie starzenia się układu autonomicznego dochodzi do zmiany wrażliwości baroreceptorów i centralnej modulacji podbudzenia współczulnego. W przypadku presyjnej odpowiedzi wysiłkowej układu krążenia pochodzącej z unerwienia obwodowego nie ulega ona z wiekiem istotnej zmianie. Pod wpływem pionizacji zmniejsza się powrót żylny krwi do serca, a pobudzenie układu współczulnego w odpowiedzi na podrażnienie baroreceptorów powoduje wzrost oporu naczyniowego i ciśnienia tętniczego. U zdrowych osób odruch z baroreceptorów korzystnie wpływa na perfuzję mózgu, a występująca posturalna hipotensja jest objawem upośledzenia naczynio-skurczowej funkcji układu współczulnego. Posturalna hipotensja natomiast powoduje hypoperfuzję mózgu z towarzyszącymi objawami, do których zaliczamy: utratę przytomności, zawroty głowy, zaburzenia widzenia i zaburzenia równowagi związane z pionizacją (Jouanin i wsp. 2005; Tachtsidis i wsp. 2005; Barantke i wsp. 2007). Dodatkowo, wykonywanie kołowrotów na LGPS jest typowym oddziaływaniem (treningiem) na układ krążenia i układ oddechowy oraz baroreceptory nisko- i wysokociśnieniowe spowodowane przyspieszeniami +Gz (głowa–nogi) i –Gz (nogi–głowa). Potwierdzają to uzyskane wyniki badań opisanych w niniejszej pracy w odniesieniu do Próby Jędrysa, która pozytywnie koreluje z poziomem poprawy tolerancji na przyspieszenia +Gz podchorążych (zaliczenie próby przekładało się na wyższy pułap tolerancji przyspieszeń +Gz badanych). W badaniach eksperymentalnych wykazano również, że u pilotów wyszkolonych i mniej podatnych na chorobę powietrzną szybciej zanikał oczopląs niż u badanych bardziej wrażliwych. W odniesieniu do zmian parametrów odruchu przedsionkowo-ocznego w zależności od doświadczenia lotu powtarzana stymulacja przedsionkowa nie tylko redukuje oczopląs, ale również modulację otolitową (Bos, Bles, De Graaf 2002). W rotacji pionowej osi ciała (OVAR) o charakterystyce sinusoidalnej reakcje ruchów oka wydają się być wynikiem kombinacji reakcji kanałów półkolistych z komponentami otolitowymi (Tribukait, Bergsten, Eiken 2013). Wykazano, że ruchy głową w różnych kierunkach (obracanie, skręt, skłon) zwiększają podatność na chorobę powietrzną. Co prawda, większość przypadków jest

pochodzenia przedsionkowego, ale także ważną rolę odgrywa narząd wzroku (Rine, Szchubert, Balkany 1999; Imai i wsp. 2002).

Niejednokrotnie w literaturze przedmiotu wskazywano na potencjalne istnienie zależności tolerancji na przyspieszenia od czynników fizjologicznych (HR, poziom wytrenowania organizmu i wydolność). Opisaną w jednym z artykułów Zawadzkiej-Bartczak i wsp. miarą fizjologicznej kompensacji przeciążeń w osi głowa–nogi jest między innymi dostosowanie HR do zmiennych warunków hemodynamicznych, takich jak: redystrybucja dużej objętości krwi krążącej do dolnych obszarów ciała, zwiększone opory naczyń obwodowych, zmniejszony i utrudniony powrót żylny krwi do prawej połowy serca, zmiany ciśnienia tętniczego krwi. Adekwatne zmiany częstości rytmu zatokowego (potencjału czynnościowego komórek węzła zatokowego) wynikają z oddziaływania mediatorów autonomicznego układu nerwowego, amin biogennych, hormonów, a także wpływu OUN. W warunkach narastania przyspieszeń +Gz dochodzi do stopniowego przyspieszenia rytmu zatokowego, a jego nieoczekiwane zwolnienie przemawia dość jednoznacznie za dekompensacją krążenia, poprzedza zaburzenia widzenia i zazwyczaj utratę świadomości tzw. G-LOC (ang. *G-induced loss of consciousness*), co zazwyczaj kończy się przerwaniem testu na wirówce przeciążeniowej. Nie oznacza to jednak, że poszczególnym wartościom przyspieszeń odpowiada ściśle określona wartość HR. Nie jest ona nawet identyczna u tych samych osób w kolejnych testach przeciążeniowych. Nieoczekiwane nawet znaczne przyspieszenie HR podczas działania przyspieszeń rzędu +5 do +6 Gz nie powoduje u klinicznie zdrowych, młodych mężczyzn ostrego niedokrwienia mięśnia sercowego, groźnej arytmii komorowej ani też nagłej dekompensacji układu krążenia (Zawadzka-Bartczak, Kopka 2004).

G-LOC jest wywołany przez spadek mózgowego przepływu krwi podczas działania przyspieszeń +Gz (ang. *head-to-foot inertial forces*). Opór naczyniowy żył szyjnych jest znaczącym czynnikiem w spadku przepływu mózgowego krwi. Stosowanie przez pilotów manewrów przeciwprzeciążeniowych AGSM na wirówce oraz występujący G-LOC, wpływają istotnie na ultrasonograficzny obraz wewnętrznej żyły szyjnej (kształt i rozmiar). Wykazano to podczas treningu na wirówce przeciążeniowej z utrzymaniem szczytowej wartości przyspieszeń + 6 Gz w czasie 30 sekund. Na 47 wirowanych pilotów u 10 wystąpiły objawy G-LOC. W badaniu ultrasonograficznym, stwierdzono wklęsłość konturu oraz zmniejszenie przekroju żyły szyjnej wewnętrznej (Choi i wsp. 2010). Również wcześniejsze badania oparte na matematycznym i mechanicznym modelowaniu przepływu mózgowego krwi, wykazały, że zapadanie się żył szyjnych wewnętrznych

podczas działania przyspieszeń + Gz można powstrzymać przez stosowanie nadciśnienia oddechowego (ang. *positive pressure breathing*). Powoduje ono wznowienie przepływu mózgowego krwi poprzez wzrost ciśnienia krwi i niedopuszczenia do zapadania się naczyń żylnych (Cirovic i wsp. 2003).

Według Wojtkowiaka odpowiednio ukierunkowane ćwiczenia fizyczne oraz częste wykonywanie lotów z działaniem przyspieszeń sprzyjają uzyskiwaniu coraz większej skuteczności mechanizmów kompensacyjnych układu krążenia (Wojtkowiak 2004). Wielu autorów dowodzi również, że nawet długotrwały trening fizyczny nie wpływa na maksymalne HR, lub wpływ ten jest niewielki (Rowell 1974; Clausen 1977). Potwierdzają to wyniki badania w grupie eksperymentalnej, gdzie średni spadek maksymalnego HR wyniósł niespełna 1% i okazał się być nieistotny statystycznie.

Problem wpływu różnych czynników, w tym również środowiskowych, na funkcjonowanie poznawcze pilotów jest szczególnie istotny z punktu widzenia bezpieczeństwa lotów. Badania nad wpływem przyspieszeń na procesy poznawcze nabierają szczególnego znaczenia, gdyż są one kluczowe do utrzymania właściwego poziomu świadomości sytuacyjnej w trakcie lotu (Endsley 1995; Wiegmann, Shappell 2003). Podczas gdy wpływ przeciążeń +Gz na funkcje fizjologiczne pilota jest coraz lepiej zbadanym obszarem medycyny lotniczej, to kwestia na ile owe zmiany w obszarze zmiennych fizjologicznych przekładają się na zmiany w funkcjonowaniu poznawczym, są od niedawna przedmiotem zainteresowania wielu badaczy (Levin, Andersson, Karlsson 2007; Ercan, Gunduz 2020). Nie oznacza to oczywiście, że wcześniej, także wśród badaczy polskich, nie podejmowano wysiłku łączenia wskaźników psychologicznych z funkcjonowaniem pilota w aspekcie ekspozycji na bodziec +Gz. Należy tutaj chociażby wspomnieć badania opisane w pracy Jasińskiego (2003).

Świadomość sytuacyjną określa się jako pewną właściwość procesów poznawczych i relacji zachodzących między nimi. Celem pracy Biernackiego i wsp. była ocena aspektów świadomości sytuacyjnej związanych z procesami pamięci (odtworzenie figury Reya) w następstwie dużego obciążenia ustroju wywołanego działaniem przyspieszeń w wirówce przeciążeniowej. Bezpośrednią przesłanką do tych badań był fakt, że podczas działania przyspieszeń dochodzi do zaburzenia funkcji fizjologicznych organizmu, w tym głównie do zmian hemodynamicznych i niedotlenienia OUN. Zmiany w wymienionych procesach poznawczych oparto na odtwarzaniu materiału wzrokowo-przestrzennego z pamięci. Poddając analizie powyższe badania, okazało się, że w grupie 22 pilotów działanie sił w wirówce przeciążeniowej doprowadziło do wielu zaburzeń funkcji ustroju polegających

głównie na przemieszczaniu się płynów ustrojowych (zwłaszcza krwi) w kierunku zgodnym z wektorem działania siły, co przyczyniło się do niedotlenienia OUN. Nawet krótkie niedotlenienie OUN skutkowało utrudnionym dostępem do śladu pamięciowego, co w konsekwencji prowadziło do zaburzenia właściwego poziomu świadomości sytuacyjnej. Zaburzenia funkcji fizjologicznych osiągnęły swoje maksimum w momencie zbliżania się do granicy tolerancji przyspieszeń lub jej przekroczenia. W fazie hamowania wirówki nastąpił nagły powrót dużej objętości krwi do OUN, co skutkowało stopniową stabilizacją procesów poznawczych (Biernacki i wsp. 2009). Świadomość sytuacyjna jest więc ściśle związana z jakością wykonywanego zadania lotniczego, a informacje, na podstawie których wykonywane są czynności operatorskie, określają trafność decyzji wykonywanych zadań. Brak dostępu do informacji oraz ich niewłaściwy wybór stanowią jeden z podstawowych problemów w wykonywaniu czynności operatorskich. Przedstawione badania dowodzą, że utrata świadomości sytuacyjnej jest jednym z głównych elementów przyczyniających się do powstania wypadków lotniczych. A zmiany w poziomie odtwarzania materiału wzrokowo-przestrzennego z pamięci w następstwie działania przyspieszeń nie są związane z czasem wykonywania testu, lecz z przygotowaniem psychofizycznym pilota do znoszenia większych wartości przyspieszeń +Gz (Wiegmann, Shappell 2003; Nicholson 2017). Potwierdzają to również tezy Kaliny, który uważa, że kształtowanie ukierunkowanej sprawności fizycznej odnoszącej się do poziomu zdolności wysiłkowych powinno być identyfikowane z pracą pilota w powietrzu. Dotyczy to głównie jakości czynności manipulacyjnych, przekładających się na sterowanie urządzeniami i mechanizmami znajdującymi się w kabinie samolotu (Kalina 2001).

Specyfika pracy pilotów samolotów wysokomanewrowych, jak i dane literaturowe wskazują jednoznacznie, że należy dążyć do optymalizacji treningu fizycznego (Bulbulian 1986). W ostatnich latach zaobserwowano duży postęp w metodach przygotowania fizycznego pilotów mających na celu podnoszenie tolerancji na przyspieszenia +Gz, a także skuteczne wykonywanie manewrów przeciwprzeciążeniowych (Lyons i wsp. 1997). O konieczności doskonalenia metod treningu fizycznego wpływającego na poprawę tolerancji na przyspieszenia +Gz świadczyły wyniki badań przedstawione przez Więckowskiego i wsp. Autorzy w swojej pracy stwierdzili, że wyniki badań podchorążych dotyczących granicy tolerancji przyspieszeń w osi +Gz (GTP) wynoszące w roku 1994 średnio 6,2 G zmniejszały się stopniowo w następnych latach, osiągając w 2000 roku 5,9 G. Analizując trend tych zmian stwierdzono, że wyraźnie odbiegającym od krzywej spadku GTP był rok 1996, w którym wystąpił istotny statystycznie wzrost tolerancji

przyspieszenia wynoszący 6,29 G (Wojtkowiak i wsp. 2002). Wzrost GTP w tym roku autorzy przypisali wprowadzaniu do szkolenia podchorążych Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych (WSOSP) (obecnie LAW) specjalnego treningu rozwijającego takie zdolności motoryczne jak: siła, szybkość, wytrzymałość szybkościowa oraz ćwiczenia przygotowujące pilotów do wykonywania manewru napinającego L-1. Pozytywne wyniki tego treningu zostały potwierdzone badaniami w wirówce przeciążeniowej oraz wykorzystane do opracowania programu szkolenia pilotów przygotowywanych w Wojskowym Ośrodku Szkoleniowo-Kondycyjnym do lotów na samolotach MiG-29 (Więckowski, Kowalczyk, Wojtkowiak 2009).

W zaleceniach STANAG(u) nr 2837 (oprac. NATO) zwraca się dużą uwagę na różne formy ukierunkowanego treningu fizycznego, które należy stosować podczas szkolenia pilotów samolotów wysokomanewrowych (Standardization Agreement – STANAG, 1981; Instrukcja szkolenia z medycyny lotniczej 2008). W związku z powyższym, autorzy Hickman i wsp. oraz Balldin uważają, że jedną z najlepszych form podnoszenia tolerancji na przyspieszenia jest trening siłowy. Trening ten należy prowadzić 3–4 razy w tygodniu, a spodziewany efekt uzyska się po 11–12 tygodniach systematycznych ćwiczeń (Hickman, Triebwasser, Lancaster 1980; Balldin 1985). W badaniach własnych w tygodniowym programie „autorskiego treningu ukierunkowanego” przestrzegano zasad określonych przez powyższych autorów. Stosowano dwie jednostki treningowe ćwiczeń siłowych (ćwiczenia siłowe z użyciem własnej masy ciała), jedną jednostkę treningową o charakterze koordynacyjnym (gry zespołowe) bądź aerobowym (atletka terenowa z pokonywaniem specjalnych torów przeszkód). Ponadto, program ten był uzupełniony jednym treningiem ćwiczeń siłowych z elementami obwodów ćwiczebnych oraz gimnastyką przyrządową (ćwiczenia na LGPS).

Reasumując, aktualnie w programach ukierunkowanego treningu fizycznego pilotów główny nacisk kładzie się na ćwiczenia siłowe, które angażują przemiany anaerobowe ustroju, bowiem korelują one dodatnio z tolerancją na przyspieszenia +Gz (Tesch, Hjort, Balldin 1983;). Jednocześnie dane literaturowe wskazują, że niewłaściwie prowadzony trening aerobowy może obniżać tolerancję na przyspieszenia +Gz, podnosić wrażliwość na chorobę powietrzną i zwiększać skłonność do zaburzeń rytmu serca i zmian w tolerancji ortostatycznej (Barański, Klukowski 1982). Z drugiej strony poprawnie prowadzony trening aerobowy odgrywa wiodącą rolę w kształtowaniu sprawności czynnościowej układów sercowo-naczyniowego i oddechowego, poprawia ogólną wydolność fizyczną (VO_2 max), zwiększa zasób rezerw funkcjonalnych ustroju (Kuński, Klukowski 1997) oraz

zapobiega chorobie niedokrwiennej serca (Blair i wsp. 1989). Stąd trening wydolności tlenowej, mimo istniejących kontrowersji, nie może być pominięty w przygotowaniu kondycyjnym pilotów (Sarol, Klukowski, Kłossowski 1979; Kłossowski, Klukowski, Markiewicz 1993). Zbyt duży akcent kładziony na kształtowanie wydolności aerobowej pozostaje jednak w jawnej sprzeczności z ukierunkowaną adaptacją wysiłkową pilota do pracy w powietrzu, która wiąże się przede wszystkim z dobrą zdolnością tolerowania przyspieszeń +Gz, ta zaś skorelowana jest dodatkowo z wydolnością anaerobową (Kłossowski, Klukowski, Jonak 1997; Operations G Awareness for Aircrew 2014). Zatem specjalnie ukierunkowana aktywność fizyczna powinna stać się jednym z podstawowych elementów programu treningowego nie tylko zwiększania tolerancji na przyspieszenia, ale również profilaktyki zdrowotnej pilotów. Wykazano, że 12-tygodniowy ukierunkowany trening fizyczny pilotów tzw. ACP (ang. *Aircrew Conditioning Programme*) nie zaburza tolerancji przyspieszeń +Gz w wersji bez napinania mięśni tzw. RGT (ang. *relaxed G tolerance*), redukuje fizjologiczne obciążenie (ang. *strain*) podczas napinania mięśni tzw. SGT (ang. *straining G tolerance*) oraz poprawia zdolność do tolerowania wielokrotnych przyspieszeń +Gz (Slungaard i wsp. 2019). Obecnie w Siłach Powietrznych USA w odniesieniu do pilotów samolotów wysokomanewrowych obowiązuje specjalny program wszechstronnego treningu tzw. FACP (ang. *The Fighter Aircrew Conditioning Programme*). Obejmuje on (ang. *comprehensive program*) następujące elementy: kształtowanie sprawności sercowo-naczyniowej, poprawę siły i wytrzymałości mięśniowej, kształtowanie równowagi i stabilizacji oraz gibkości, przy czym uzasadnia celowość takiego treningu (Operations G Awareness for Aircrew 2014). Wysoka sprawność układu serowo-naczyniowego zapewnia zdolność do tolerowania wielokrotnych powtórzeń wysokich wartości przyspieszeń +Gz. Poprawa siły mięśniowej zwiększa efektywność manewrów napinających AGSM. A odpowiednia wytrzymałość mięśniowa zapewnia zdolność do wielokrotnych skurczów izometrycznych mięśni, redukując ich zmęczenie. Równowaga i stabilność dotyczy zapewnienia odpowiedniej pozycji ciała pilota w kokpicie, poprzez ćwiczenia mięśni głębokich brzucha i grzbietu, dając lepsze warunki dla AGSM. Natomiast gibkość umożliwia pełen i bezbolesny zakres ruchów, poprawia efektywność AGSM i obniża ryzyko urazów (Operations G Awareness for Aircrew 2014).

Należy podkreślić, że system kondycyjnego przygotowania pilotów do lotów z wysokimi wartościami przyspieszeń +Gz jest stale doskonalony w oparciu o coraz to nowsze badania naukowe. Równie obiecujące są badania genetyczne kandydatów na pilotów samolotów wysokomanewrowych. Powiązania genotypu ACE (ang. *angiotensin*

converting anzyme) z tolerancją przyspieszeń o szczytowej wartości +8,5 Gz, przebadano koreańskich kandydatów na pilotów samolotów wysokomanewrowych F-15. Przy genotypie ACE uwzględniano warianty DD, DI oraz II. Piloci o genotypie DD mieli wyższe parametry morfologiczne (układ mięśniowy) oraz lepiej tolerowali przyspieszenia o wartości +8,5 Gz. w porównaniu do pozostałych pilotów o genotypie DI i II. Autorzy sugerują kontynuację badań w innych grupach etnicznych (Shin, Son 2021). Powyższe dane wskazują na ważny czynnik jakim jest optymalny dobór kandydatów do lotnictwa wojskowego, w oparciu o genotyp, wskaźniki fizjologiczne, biochemiczne, antropometryczne oraz sprawnościowo-wydolnościowe.

VI. WNIOSKI

1. Zastosowanie „autorskiego treningu ukierunkowanego” u podchorążych LAW (rozwijanie określonych grup mięśniowych w połączeniu z ćwiczeniami oddechowymi oraz ćwiczeniami na LGPS) wpłynęło korzystnie na poprawę tolerancji na przyspieszenia +Gz oraz odporność ustroju na chorobę powietrzną.
2. W zakresie poziomu wybranych zdolności motorycznych stwierdzono poprawę siły i wytrzymałości mięśni kończyn górnych, obręczy barkowej i mięśni brzucha. Największą poprawę wykazano w testach podciągania na drążku wysokim oraz skłonach tułowia.
3. Przedstawione metody treningu fizycznego okazały się skuteczne u młodych pilotów w poprawie tolerancji na przyspieszenia +Gz na wirówce przeciążeniowej (program liniowy) oraz czasowego utrzymania świadomości sytuacyjnej na szczycie działania przyspieszeń.
4. Zastosowany program treningowy może być przydatny w profilaktyce choroby powietrznej, poprawie tolerancji na przyspieszenia +Gz oraz niwelowaniu zaburzeń świadomości sytuacyjnej podchorążych LAW. Ćwiczenia te powinny być zalecane jako stały element treningu uzupełniającego w przyjętym systemie (programie) Kondycyjno-Sprawnościowego Przygotowania do Lotów.

VII. PIŚMIENNICTWO

1. Albano J.J., Stanford J.B. (1998): Prevention of minor neck injuries in F-16 pilots. *Aviation Space and Environmental Medicine* 69(12), 1193-1199.
2. Alvin K.M. (1995): Greyout, blackout and G-loss of consciousness in the Brazilian Air Force: a 1991-1992 survey. *Aviation Space and Environmental Medicine* 66, 7, 675-677.
3. Balldin U.I. (1985): G-tolerance and muscle strength training. *Physiologist*, 28, 6, Suppl., 71-72.
4. Balldin U.I. (1986): Factors influencing G-tolerance. *Clinical Physiology*, 6, 209-219.
5. Balldin U.I., Werchan P.M., French J., Self B. (2003): Endurance and performance during multiple intense high +Gz exposures with effective anti-G protection. *Aviation Space Environmental Medicine* 74(4), 303-308.
6. Banks R.D., Brinkley J.W., Allnut R., Harding R.M. (2008): Human Response to Acceleration [in:] Davis J.R., Johnson R., Stepanek J., Fogarty J.A. (red): *Fundamentals of Aerospace Medicine*. Fourth ed., Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, Baltimore, 83-109.
7. Barantke M., Ortak J., Lieb W., Wilke I., Schunkert H., Bonnemeier H. (2007): Effects of aging on reflex autonomic nervous response induced by orthostatic maneuvers. *Pacing and Clinical Electrophysiology* 1, 198-202.
8. Barański S., Klukowski K. (1982): Wydolność i sprawność fizyczna jednym z warunków bezpieczeństwa lotów. *Medycyna Lotnicza* 2(75), 1-9.
9. Bernardelli M., Decewicz A., Tomczyk E. (2021): *Ekonometria i badania operacyjne*. Zbiór zadań. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
10. Bezerra T.A.R., Spavieri Junior D.L., Frigieri G., Brunell R., Mascarenhas de Oliveira S. (2018): In-flight analysis of intracranial pressure in pilots undergoing variation in Gz. *Aeronautics and Aerospace Open Access Journal* 2(3), 126-131.
11. Biernacki M., Kowalczyk K., Truszczyński O., Wojtkowiak M. (2009): Wpływ przeciążeń +Gz na odtwarzanie materiału wzrokowo-przestrzennego z pamięci. *Polski Przegląd Medycyny Lotniczej* 4, tom 15, 413-419.

12. Blair S.N., Kohl 3rd H.W., Paffenbarger R.S., Clark D.G., Cooper K.H., Gibbons L.W. (1989): Physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy men and women. *JAMA*, 3;262(17), 2395-2401.
13. Bos J.E., Bles W., De Graaf B. (2002): Eye movements to yaw, pitch, and roll about vertical and horizontal axes: adaptation and motion sickness. *Aviation Space and Environmental Medicine* 73(5), 436-444.
14. Brandt S., Szymanowski L. (1998): Analiza danych: metody statystyczne i obliczeniowe. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
15. Brown M.B., Forsythe A.B. (1974): Robust tests for equality of variances. *Journal of the American Statistical Association* 69, 364-367.
16. Bulbulian R. (1986): Physical training and +Gz tolerance reevaluated. *Aviation Space and Environmental Medicine* 57(7), 709-711.
17. Burnett A., Naumann F., Burton E.J. (2004): Flight-training effect on the cervical muscle isometric strength of trainee pilots. *Aviation Space and Environmental Medicine* 75(7), 611-615.
18. Burton R.R. (1988): G-induced loss of consciousness: Definition, history, current status. *Aviation Space and Environmental Medicine* 59(1), 2-5.
19. Burton R.R., Whinnery J.E., Forster E.M. (1987): Anaerobic energetics of the simulated aerial combat maneuvers (SACM). *Aviation Space and Environmental Medicine* 58(8), 761-767.
20. Chini G., Silvetti A., Vitalone R., Di Muzio V. (2019): Neck and Shoulder Muscle Fatigue in High Performance Aircrafts Pilots: Effects of a Training Program (Part 2). *Advances in Social and Occupational Ergonomics, Proceedings of the AHFE, International Conference on Social and Occupational Ergonomics, Washington*, 430-442.
21. Choi H.S., Sul J.G., Yi K.S., Seo J-M, Chung K.Y. (2010): Ultrasonographic finding of internal jugular vein during anti-G straining maneuver: is it associated with gravity-induced loss of consciousness? *European Journal of Applied Physiology* 109(04), 625-630.
22. Cirovic S., Walsh C., Fraser W.D., Gulino A. (2003): The effect of posture and positive pressure breathing on the hemodynamics of the internal jugular vein. *Aviation Space and Environmental Medicine* 74(2), 125-131.

23. Clark J.B., Rupert A.H. (1992): Spatial disorientation and dysfunction of orientation/equilibrium reflexes: aeromedical evaluation and considerations. *Aviation Space and Environmental Medicine* 63(10), 914-918.
24. Clausen J.P. (1977): Effect of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man. *Physiological Reviews* 57(4), 779-815.
25. Corder G.W., Foreman D.I. (2014): *Nonparametric Statistics: A Step-by-Step Approach*. 2nd Edition, Wiley.
26. Cutfield N.J., Bronstein A.M. (2017): Vestibular and related oculomotor disorders [in:] Nicholson A.N. (red.): *The Neurosciences and the Practice of Aviation Medicine*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, 395-419.
27. Dai M., Sofroniou S., Kunin M., Raphan T., Cohen B. (2010): Motion sickness induced by off-vertical axis rotation (OVAR). *Experimental Brain Research* 204(2), 207-222.
28. DeHart R.L. (1996): *Fundamentals of Aerospace Medicine*. Second edition. Williams & Wilkins, Michigan.
29. Delavier F. (2007): *Atlas treningu siłowego (redaktor naukowy tłumaczenia Jasiński R.)*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 144.
30. Delavier F., Gundill M. (2013): *Mięśnie brzucha: atlas ćwiczeń (redaktorzy naukowci wydania polskiego Stefaniak T., Jasiński R.)*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 144.
31. Delavier F., Gundill M. (2013): *Trening mięśni ramion: atlas ćwiczeń (redaktorzy naukowci wydania polskiego Jasiński R., Stefaniak T.)*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 173.
32. Dereń M., Eliaz J., Jędryś R., Grenda W., Saganiak R., Pomaski P. (1998): Stanowisko do treningu izometrycznego i diagnostyki siły statycznej kończyn dolnych pilotów wojskowych. *Biology of Sport*, Vol 15, Supplement 8, 308-311.
33. Desviat P.V., Benavides B.E., López J.A., Rios-Tejada F., Bárcena A., Alvarez-Sala F., Rodriguez C.A. (2007): Surgical correction of disc pathology in fighter pilots: a review of 14 cases. *Aviation Space and Environmental Medicine* 78(8), 784-8.
34. Dobie T.G. (1972): *Aeromedical Handbook for Aircrew*. Deputy Director of Aviation Medicine (RAF), Ministry of Defence London, England, AGARDograph 154, 84-98.
35. Dziewoński G. (1977): Jak ćwiczyć na lotniczych przyrządach gimnastycznych. *Przegląd Wojsk Lotniczych i Wojsk Obrony Pogranicza Kraju* 6, 44-48.

36. Elias J., Dereń M., Biernat B., Jędrys R. (1998): Ocena zależności między mocą kończyn dolnych i górnych kandydatów na pilotów a tolerancją przyspieszeń. *Biology of Sport* 8(15), 312-317.
37. Endsley M.R. (1995): Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors the Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 37(1), 32-64.
38. Epperson W.L., Burton R.R., Bernauer E.M. (1982): The influence of differential physical conditioning regimes on simulated aerial combat maneuvering tolerance. *Aviation Space and Environmental Medicine* 53(11), 1091-1097.
39. Ercan E., Gunduz S.H. (2020): The effects of acceleration forces on cognitive functions, *Microgravity Science and Technology*, volume 32, 681-686.
40. Ernst K. (2010): *Fizyka sportu*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 246.
41. Forester E.M., Whinnery J.E. (1988): Recovery from Gz-induced loss of consciousness: psychophysiologic considerations. *Aviation Space and Environmental Medicine* 59(6), 517-522.
42. Gembicka D., Wojtkowiak M., Kuzak W. (1990): Zachowanie się wybranych parametrów biochemicznych we krwi oraz częstości skurczów serca u ludzi poddawanych działaniu wolno i szybko narastających wielokrotnie powtarzanych przyspieszeń +Gz. *Medycyna Lotnicza* 3-4, 108-109, 11-17.
43. Glass G.V., Hopkins K.D. (1996): *Statistical Methods in Education and Psychology*. 3rd Edition, Allyn&Bacon, Boston.
44. Golec L. (2002): Zmęczenie, przewlekłe zmęczenie, zespół przewlekłego zmęczenia. *Polski Przegląd Medycyny Lotniczej* 2, tom 8, 133-148.
45. Green N.D.C. (2016): Long duration acceleration [in:] Gradwell D. ., Rainford D.J. (red): *Ernsting's aviation and space medicine*. Fifth ed. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 131-156.
46. Green N., Gaydos S., Hutchison E., Nicol E. (2019): *Handbook of Aviation and Space Medicine*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 103-108.
47. Halliday D., Resnick R., Walker J. (2015): *Podstawy fizyki*. Tom 1. Wydawnictwo Naukowe PWN, 25-33.
48. Helleur C., Gracovetsky S., Farfan H. (1984): Tolerance of the human cervical spine to high acceleration: a modeling approach. *Aviation Space and Environmental Medicine* 55(10), 903-909.

49. Hermes E.D.A., Webb T.S., Wells T.S. (2010): Aircraft type and other risk factors for spinal disorders: data from 19,673 military cockpit aircrew. *Aviation Space and Environmental Medicine* 81(9), 850-856.
50. Hickman J.R., Triebwasser J.H., Lancaster M.C. (1980): Physical standards for high-performance fighter aircraft pilots. *Aviation Space and Environmental Medicine* 51(9 Pt 2), 1052-1056.
51. Honkanen T., Sovelius R., Mäntysaari M., Kyröläinen H., Avela J., Leino T.K. (2018): +Gz exposure and spinal injury-induced flight duty limitations. *Aerospace Medicine and Human Performance* 1;89(6), 552-556.
52. Imai T., Takeda N., Uno A., Morita M., Koizuka I., Kubo T. (2002): Three-dimensional eye rotation axis analysis of benign paroxysmal positioning nystagmus. *ORL; Journal for Oto-Rhino-Laryngology and its Related Specialties* 64(6), 417-423.
53. Jasiński T. (2003): Temperamentalne korelaty tolerancji przyspieszeń +Gz u pilotów wojskowych. *Polski Przegląd Medycyny Lotniczej* 2, 151-160.
54. Jasiński T.L. (2005): Znaczenie ukierunkowanego treningu fizycznego w zwiększaniu tolerancji organizmu pilota wojskowego na przyspieszenia +Gz. *AWF im. Bronisława Czecha w Krakowie, Studia i Monografie nr 32, Kraków-Warszawa, WIML*, 24, 75.
55. Jethon Z. (1965): Zachowanie się układu krążenia pod wpływem przyspieszeń, występujących podczas obrotów koła reńskiego. *Biblioteka Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej, Prace doświadczalne*.
56. Jethon Z. (1977): Zmęczenie jako problem współczesnej cywilizacji. *Warszawa, PZWL*.
57. Jędrys R. (1992): Wpływ ćwiczeń na LGPS na habituację narządu równowagi. *Postępy Astronautyki* 1-2(24), 63-68.
58. Jędrys R. (2015): Wpływ ćwiczeń na Lotniczych Gimnastycznych Przyrządach Specjalnych na habituację układu przedsionkowo-wegetatywnego i sprawność fizyczną podchorążych pilotów przed i po okresie przygotowawczym do lotów. *Rozprawa doktorska, Warszawa, AWF*.
59. Jędrys R., Breszka M. (2020): Lotnicze Gimnastyczne Przyrządy Specjalne w „Szkole Orląt”. *Dawniej i dziś [w:] Kruszyński M., Osiński T., Paluch M. (red.): 95 lat Szkoły Orląt na tle rozwoju lotnictwa polskiego. Wydawnictwo Lotniczej Akademii Wojskowej, Dęblin*, 97-105.

60. Jędrzys R., Breszka M., Kowalczyk K. (2020): Kondycyjno-Sprawnościowe Przygotowanie do Lotów. Wydawnictwo Lotniczej Akademii Wojskowej, Monografia, Dęblin 16-22, 26-31, 63-95, 97-112.
61. Jędrzys R., Breszka M., Kowalczyk K. (2021): Fitness-Physical Conditioning Preparation for Flight Duties. Wydawnictwo Lotniczej Akademii Wojskowej, Monografia, Dęblin, 26-31, 113-119.
62. Jouanin J.-C., Dussault C., Tran D., Guezennec C.-Y. (2005): Aerobic flight effects on baroreflex sensitivity and sympathovagal balance in experienced pilots. *Aviation Space and Environmental Medicine* 76(12), 1151-1155.
63. Kalina R.M. (2001): Metodologiczne dylematy pomiaru i rozwijania sprawności fizycznej pilota wojskowego [w:] Mazurek K. (red.): Promocja zdrowia personelu latającego. *Polski Przegląd Medycyny Lotniczej* 2, 5, 77-93.
64. Karpowicz J. (2018): Metodyka przygotowania akademickich prac dyplomowych z elementami teorii poznania i metodologii nauk, LAW, Dęblin, 46-61.
65. Klukowski K. (1980): Zdrowotny trening wytrzymałościowy personelu latającego. Wydawnictwo Dowództwa Wojsk Lądowych, Poznań, 2006/80, 1-45.
66. Klukowski K. (1983): Zmiany zdolności wysiłkowej z wiekiem i ocena zdrowia pilotów. Rozprawa habilitacyjna, Warszawa, WIML.
67. Klukowski K., Kowalski W. (1989): Wymogi kondycyjne i higieniczne w poprawie tolerancji przyspieszeń. *Medycyna Lotnicza* 1(102), 19-29.
68. Klukowski K.S., Mazurek K.L. (2016): Medycyna lotnicza-wpływ przyspieszeń na układ sercowo-naczyniowy [w:] Braksator W., Mamcarz A. (red.): Kardiologia sportowa w praktyce klinicznej. Warszawa, 515-526.
69. Kłossowski M., Turski B. (1980): Rola treningu fizycznego w przygotowaniu zawodowym pilota. Monografie AWF, Poznań, 143, 69-75.
70. Kłossowski M., Jędrzys R.(1988): Kondycyjno-Sprawnościowe Przygotowanie do Lotów (KSPdL) jako istotny element szkolenia lotniczego. *Biuletyn Wyższej Oficerskiej Szkoły Lotniczej* 1(53), Dęblin, 43-47.
71. Kłossowski M., Klukowski K., Markiewicz L. (1993): Odrębność treningu wytrzymałościowego pilotów samolotów odrzutowych. *Medycyna Lotnicza* 118/119, 71-81.
72. Kłossowski M., Stelęgowski A., Jędrzys R., Klukowski K. (1994): Badania sprawności fizycznej kandydatów do Wyższej Szkoły Oficerskiej Szkoły Lotniczej. *Biuletyn Wyższej Oficerskiej Szkoły Lotniczej*, Dęblin, 17-24.

73. Kłossowski M., Klukowski K., Jonak R. (1997): Wydolność anaerobowa młodych pilotów-podchorążych WSOSP i kandydatów do lotnictwa wojskowego. *Polski Przegląd Medycyny Lotniczej* 3, 317-327.
74. Kobos Z., Jędrys R., Wochoński Z. (2011): Antropomotoryczne aspekty bezpieczeństwa realizacji zadań w lotnictwie. *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej* 186 A, 135-140.
75. Kobos Z., Jędrys R., Wochoński Z. (2017): Determinanty efektywności szkolenia studentów w uczelni lotniczej z perspektywy oceny stanu zdrowia i kształtowania sprawności psychofizycznej [w:] Kaiser A. (red.): *Praca i czas wolny w kontekście zdrowia funkcjonariuszy grup dyspozycyjnych*. Poznań, 13-27.
76. Kopka L., Kopka M., Zawadzka-Bartczak E., Kowalczyk K., Więckowski S. (2009): Powtarzalność manewrów przeciwprzeciążeniowych w testach wirówkowych (doniesienie wstępne). *Polski Przegląd Medycyny Lotniczej* 1, tom 15, 27-36.
77. Kowalczyk K. (2006): Zastosowanie wirówki przeciążeniowej do demonstracji dezorientacji przestrzennej. *Polski Przegląd Medycyny Lotniczej* 2, tom 12, 113-124.
78. Kowalczyk K., Kluch W., Mikuliszyn R., Gasik M. (2002): Spatial Disorientation Experiments and Training in Polish Air Force Institute of Aviation Medicine. Paper presented at the RTO HFM Symposium on „Spatial Disorientation in Military Vehicles: Causes, Consequences and Cures”, held in La Corufia, Spain, published in RTO-MP-086.
79. Kubickowa J. (1977): Laryngologia lotnicza. [w:] Barański S. (red.): *Medycyna lotnicza i kosmiczna*. Warszawa, PZWL, 219-246.
80. Kubickowa J., Wojtkowiak M., Jaśkowski A. (1990): Wydolność układu równowagi a tolerancja przyspieszeń. *Medycyna Lotnicza* 3-4, 6-10.
81. Kuński H., Klukowski K. (1996): Palenie tytoniu a aktywność ruchowa dla potrzeb zdrowotnych i zawodowych pilotów wojskowych. *Polski Przegląd Medycyny Lotniczej* 4, tom 2, 429-436.
82. Kuński H., Klukowski K. (1997): Trening kondycyjno-zdrowotny w systemie zachowań podtrzymujących zdolność do pracy. *Polski Przegląd Medycyny Lotniczej* 1(3), 59-63.
83. Lange B., Torp-Svendsen J., Tofl P. (2011): Neck pain among fighter pilots after the introduction of the JHMCS helmet and NVG in their environment. *Aviation Space and Environmental Medicine* 82(5), 559-563.

84. Levin B., Andersson J., Karlsson T. (2007): Memory performance during G exposure as assessed by a word recognition task. *Aviation Space and Environmental Medicine* 78(6), 587-592.
85. Lewkowicz R., Kowaleczko G. (2018): Metoda analizy wypadków lotniczych spowodowanych dezorientacją przestrzenną pilota. *Mechanika w Lotnictwie ML–XVIII*, 53-65.
86. Lewkowicz R., Kowaleczko G. (2019): Kinematic issues of a spatial disorientation simulator. *Mechanism and Machine Theory*, Volume 138, 169-181.
87. Lewkowicz R. (2020): Ocena bodźców ruchowych odpowiedzialnych za występowanie choroby symulatorowej. *Mechanika w Lotnictwie ML–XIX*, 153-164.
88. Lewkowicz R., Biernacki M. P. (2020): A survey of spatial disorientation incidence in Polish Military pilots. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 33(6), 791-810.
89. Lin R., Li B., Xu Y., Zhang L., Wang H., Wei X., Li Y., Yang J., Geng X., Yang L., Liu J., Xiong D., Jin Z. (2020): Analysis of the fighter pilots acceleration tolerance selection method and results. *Man-Machine-Environment System Engineering*, 841-846.
90. Lyons T.J., Marlowe B.L., Michaud V.J., McGowan D.J. (1997): Assessment of the anti-G straining maneuver (AGSM) skill performance and reinforcement program. *Aviation Space and Environmental Medicine* 68(4), 322-324.
91. Mikuliszyn R., Żebrowski M. (2002): Metody oceny i prognozowania tolerancji na przeciążenia [w:] Kowalski W. (red.): *Medycyna lotnicza wybrane zagadnienia*. DWLiOP, Poznań, 138-151.
92. Mikuliszyn R., Żebrowski M., Kowalczyk K. (2005): Centrifuge training program with "push-pull" elements. *Aviation Space and Environmental Medicine* 76(5), 493-495.
93. Morawski J. (1994): *Gospodarka informacją w układzie pilot-samolot*. Politechnika Rzeszowska, Warszawa.
94. Możański G. (1996): *Sprawność fizyczna pilotów* [w:] Kalina R.M. (red.): *Wychowanie fizyczne w edukacji obronnej społeczeństwa*. Polskie Towarzystwo Naukowe Kultury Fizycznej Sekcja Kultury Fizycznej w Wojsku, Warszawa, 80-93.
95. Myunghwan P., Cheolkyu K., Cheonyoung K., Hyeonju S. (2017): Factors Affecting the Recovery of Pilots +Gz Tolerance. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, vol.36 (5), 535-543.

96. Narożny W., Prusiński A. (2014): Diagnostyka zawrotów głowy i zaburzeń równowagi. Wydawnictwo Harmonia.
97. Netto K., Burnett A. (2006): Neck muscle activation and head postures in common high performance aerial combat maneuvers. *Aviation Space and Environmental Medicine* 77(10), 1049-55.
98. Netto K., Burnett A., Coleman J. (2007): Neck exercises compared to muscle activation during aerial combat maneuvers. *Aviation Space and Environmental Medicine* 78(5), 478-484.
99. Newman D.G. (1997): +Gz-induced neck injuries in Royal Australian Air Force fighter pilots. *Aviation Space and Environmental Medicine* 68(6), 520-524.
100. Newman D.G. (1997): Head positioning for high +Gz loads: an analysis of the techniques used by F/A-18 pilots. *Aviation Space and Environmental Medicine* 68(8), 732-735.
101. Newman D.G. (2007): An overview of spatial disorientation as a factor in aviation accidents and incidents. *Aviation Research and Analysis Report – B2007/0063*. Australian Transport Safety Bureau, Canberra City.
102. Newman D.G. (2015): High G Flight. Physiological Effects and Countermeasures. ASHGATE, Burlington, 86, 124.
103. Nicholson A.N. (2017): *The Neurosciences and the Practice of Aviation Medicine*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London.
104. O’Conor D.K., Dalal S., Ramachandran V., Shivers B., Shender B.S., Jones J.A. (2020): Crew-Friendly countermeasures against musculoskeletal injuries in aviation and spaceflight. *Frontiers in Physiology* 11, 837.
105. Operations G Awareness for Aircrew (2014): Air Force Pamphlet 11-419; 17 October 2014; Certified by: AF/A30, Brig Gen Tuck G.K.
106. Ortega H.J., Harm D.L. (2008): Space and Entry Motion Sickness [in:] Barratt M.R., Pool S.L. (red.): *Principles of Clinical Medicine for Space Flight*. Springer, New York, 211-222.
107. Parmet A.J., Ercoline W.R. (2008): Spatial orientation in flight [in:] Davis J.R., Johnson R., Stepanek J., Fogarty J.A. (red.): *Fundamentals of Aerospace Medicine*. Fourth ed., Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, Baltimore, 142-205.
108. Raddin J.H. (1987): A perspective on human performance as a limiting factor in aircraft performance. *Aviation Space and Environmental Medicine* 58(5), 393-394.

109. Rausch M., Weber F., Kühn S., Ledderhos C., Zinner Ch., Sperlich B. (2021): The effects of 12 weeks of functional strength training on muscle strength, volume and activity upon exposure to elevated Gz forces in high-performance aircraft personnel. *Military Medical Research* 23;8(1), 15.
110. Rawat N., Connor C.W., Jones J.A., Kozlowskaya I.B., Sullivan P. (2002): The correlation between aerobic fitness and motion sickness susceptibility. *Aviation Space and Environmental Medicine* 73(3), 216-218.
111. Richard O., Reinhart M.D. (2008): *Basic flight physiology*. Third Edition. McGraw Hill, 125-151.
112. Rine R.M., Szchubert M.C., Balkany T.J. (1999): Visual-vestibular habituation and balance training for motion sickness. *Physical Therapy* 79(10), 949-957.
113. Rintala H. (2017): Determining fighter pilot's G load: Pilot's fatigue index. *Journal of Science and Medicine in Sport*, Vol. 20, Supplement 2, S38.
114. Rintala H., Sovelius R., Rintala P., Huhtala H., Siitonen S., Kyröläinen H. (2017): MRI findings and physical performance as predictors of flight-induced musculoskeletal pain incidence among fighter pilots. *Biomedical Human Kinetics* 9, 133-139.
115. Rowell L.B. (1974): Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiological Reviews* 54(1), 75-159.
116. Sarol Z., Klukowski K., Kłossowski M. (1979): Rola Wojskowych Ośrodków Szkoleniowo-Kondycyjnych w regeneracji sił psychofizycznych pilotów. *Medycyna Lotnicza*, 64-65.
117. Shin S., Son S. (2021): Associations between ACE Genotypes, +8,5 Gz Tolerance, and Body Composition in F-15 Pilot Candidates. *Military Medicine* 22;usab430, doi: 10.1093/milmed/usab430.
118. Shubrooks S.J., Leverett S.D. (1973): Effect of the Valsalva maneuver on tolerance to +Gz acceleration. *Journal of Applied Physiology* 34, 4-8.
119. Silverthorn D.U. (2007): *Human physiology: an integrated approach*, 5th ed. Pearson.
120. Siitonen S. (2000): Effects of in-flight Gz acceleration on military aviators using modern Anti-G garments. *Rozprawa doktorska*, Kuopio.
121. Slungaard E., Pollock R.D., Stevenson A.T., Green N.D.C, Newham Di.J., Harridge S.D.R. (2019): Aircrew Conditioning Programme Impact on +Gz Tolerance. *Aerospace Medicine and Human Performance* 90(9), 764-773.

122. Sovelius R., Mäntylä M., Huhtala H., Oksa J., Valtonen R., Tiitola L., Leino T. (2020): Head movements and neck muscle activity during air combat maneuvering. *Aerospace Medicine and Human Performance* 1;91(1), 26-31.
123. Sovelius R., Oksa J., Rintala H., Huhtala H., Ylinen J., Siitonen S. (2006): Trampoline exercise vs. strength training to reduce neck strain in fighter pilots. *Aviation Space and Environmental Medicine* 77(1), 20-25.
124. Stechni P. (1959): W sprawie obserwacji stanu kondycji fizycznej personelu latającego. *Wojskowy Przegląd Lotniczy* 11, 20-23.
125. Stechni P. (1960): Kształtowanie lotniczo-kondycyjnych nawyków ruchowych. *Wojskowy Przegląd Lotniczy* 7, 18-23.
126. Stechni P. (1982): Doskonalenie szkolenia fizycznego podchorążych Wyższej Oficerskiej Szkoły Lotniczej. *Przegląd Wojsk Lotniczych i Wojsk Obrony Pogranicza Kraju* 7-8, 49-51.
127. Stechni P. (1982): Kondycyjne przygotowanie do lotów, jako przedmiot podstawowego szkolenia pilota Wyższej Oficerskiej Szkoły Lotniczej. *Biuletyn Wyższej Oficerskiej Szkoły Lotniczej* 1, 21-34.
128. Stechni P. (1982): Metody i formy stosowane do oceny treningu tolerancji ustroju na działanie przyspieszeń kątowych w Wyższej Oficerskiej Szkole Lotniczej. *Biuletyn Wyższej Oficerskiej Szkoły Lotniczej* 1, 35-47.
129. Stechni P., Jethon Z., Baczyński Z., Bilski J., Kłossowski M., Jędrzyś R., Kalisiak W., Machulski T., Rogala M., Maciejczyk P. (1982): Trening fizyczny w kształtowaniu tolerancji ustroju na działanie przyspieszeń kątowych. *Biuletyn Wyższej Oficerskiej Szkoły Lotniczej*, Dęblin.
130. Stott J.R. (2013): Orientation and disorientation in aviation. *Extreme Physiology Medicine* 2(1), 2.
131. Stott J.R. (2017): Spatial Orientation and Disorientation [in:] Nicholson A. N. (red.): *The Neurosciences and the Practice of Aviation Medicine*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, 55-91.
132. Stuart A., Ord K., Arnold S. (2010): *Kendall's Advanced Theory of Statistics, Classical Inference and the Linear Model (Volume 2A)*. 6th Edition, Wiley.
133. Szopa J., Mleczyński E., Żak S. (2000): *Podstawy antropomotoryki*. Wydawnictwo Naukowe PWN, wydanie 2, Warszawa.

134. Tachtsidis I., Elwell C.E., Leung T.S., Bleasdale-Barr K., Hunt K., Toms N., Smith M., Mathias Ch.J., Delpy D.T. (2005): Rate of change in cerebral oxygenation and blood pressure in response to passive changes in posture: a comparison between pure autonomic failure patients and controls, *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 566, 187-193.
135. Talar J.W. (1994): Ocena stanu czynnościowego kręgosłupa pilotów wojskowych ze szczególnym uwzględnieniem jego odcinka szyjnego. Rozprawa habilitacyjna, Warszawa, WIML.
136. Tchórzewski D., Bujas P., Jaworski J. (2013): Wpływ kierunku rotacji ciała zakłócającej pracę narządu przedsionkowego na poziom stabilności posturalnej w warunkach niestabilnego podłoża. *Medycyna Sportowa* 2, 89-97.
137. Tesch P.A., Hjort H., Balldin U.I. (1983): Effects of strength training on G tolerance. *Aviation Space and Environmental Medicine* 54(8), 691-695.
138. Thoolen S.J.J., Van den Oord M. (2015): Modern air combat developments and their influence on neck and back pain in F-16 pilots. *Aerospace Medicine and Human Performance* 86(11), 936-941.
139. Tribukait A., Bergsten E., Eiken O. (2013): Variability in perceived tilt during a roll plane canal-otolith conflict in a gondola centrifuge. *Aviation Space and Environmental Medicine* 84(11), 1131-1139.
140. Wagstaff A.S., Jahr K.I., Rodskier S. (2012): +Gz-induced spinal symptoms in fighter pilots: operational and individual associated factors. *Aviation Space and Environmental Medicine* 83(11), 1092-1096.
141. Welch B.L. (1951): On the comparison of several mean values: an alternative approach. *Biometrika* 38, 330-336.
142. Wiegmann D.A., Shappell S.A. (2003): A human error approach to aviation accident analysis. Ashgate, London 2003.
143. Więckowski S., Kowalczyk K., Wojtkowiak M. (2009): Badania granicy tolerancji przyspieszeń w wirówce przeciążeniowej u podchorążych WSOSP w latach 2007-2008 w porównaniu do lat 1994-2000. *Polski Przegląd Medycyny Lotniczej* 4, tom.15, 405-412.
144. Wochoński Z., Krawczyk P., Cur K. (2020): The assessment of the impact of a training process on the habituation of the vestibular-vegetative system, using a special rotational test as a condition of maintaining flight safety. *Occupational Medicine and Environmental Health* 33(4), 497-506.

145. Wojtkowiak M. (1977): Fizjologia przyspieszeń [w:] Barański S. (red.): Medycyna lotnicza i kosmiczna. Warszawa, PZWL, 97-102.
146. Wojtkowiak M. (1984): Ćwiczenia fizyczne zwiększające tolerancję przyspieszeń. Warszawa, WIML.
147. Wojtkowiak M. (1984): Mechanizmy fizjologiczne występujące podczas działania przyspieszeń w osi +Gz. Medycyna Lotnicza 2(83), 26-34.
148. Wojtkowiak M. (1989): Wybrane ćwiczenia fizyczne przygotowujące pilotów do wykonywania prób krążeniowo-oddechowych zwiększających tolerancję przyspieszenia. Postępy Astronautyki 22, 1 i 2, 83-94.
149. Wojtkowiak M. (1998): Trening w wirówce przeciążeniowej jako forma przygotowania pilotów do lotów na samolotach wysokomanewrowych. Polski Przegląd Medycyny Lotniczej 3-4, 287-299.
150. Wojtkowiak M. (2004): Aktualne metody badań i treningów pilotów w wirówkach przeciążeniowych. Polski Przegląd Medycyny Lotniczej 4, tom 10, 373-383.
151. Wojtkowiak M., Jasiński T., Domin A., Kowalczyk K. (2002): Analiza wyników badań granicy tolerancji na przyspieszenia w wirówce przeciążeniowej w latach 1994-2000. Polski Przegląd Medycyny Lotniczej 3, 8, 255-262.
152. Wolański T. (1999): Możliwości organizmu ludzkiego a środowisko. Medicina Sportiva 3(3), 161-175.
153. Wood C.D., Stewart J.J., Wood M.J., Struve F.A., Straumanis J.J., Mims M.E., Patrick G.Y. (1994): Habituation and motion sickness. Journal Clinical Pharmacology 34(6), 628-634.
154. Yamanaka Y., Honma K. (2006): Cardiovascular autonomic nervous response to postural change in 610 healthy Japanese subjects in relation to age. Autonomic Neuroscience: Basic & Clinical, 124(1-2), 125-131.
155. Zawadzka-Bartczak E., Kopka L. (2004): Patologiczne zwiększenie częstości skurczów serca podczas działania przyspieszeń +Gz a możliwości kompensacyjne układu krążenia. Polski Przegląd Medycyny Lotniczej 3, tom 10, 255-259.
156. Zawadzka-Bartczak E. (2005): Reakcja układu krążenia prowokowana stresem przeciążeniowym podczas realnych i symulowanych lotów. Rozprawa habilitacyjna, Warszawa, WIML.
157. Zawadzka-Bartczak E., Kopka L. (2011): Cardiac arrhythmias during aerobic flight and its simulation on a centrifuge. Aviation Space and Environmental Medicine 82(6), 599-603.

158. Zawadzka-Bartczak E., Kopka L., Kopka M. (2018): Prevalence of abnormal spinal findings in asymptomatic candidates for military pilots. *The Polish Journal of Aviation Medicine, Bioengineering and Psychology* 24(2), 5-10.
159. Zawadzka-Bartczak E., Kopka L., Kowalczyk K., Krej M. (2020): Development of a new method for assessing the heart rate increase during tests in human carrying centrifuge. *Polski Merkuriusz Lekarski* 48(288), 383-386.
160. Zawadzka-Bartczak E., Kopka L., Warczyńska A., Kopka M. (2020): Potrzeby diagnozowania a możliwości prognozowania w chorobach kręgosłupa u kandydatów do służby na samolotach wysokomanewrowych. *International Review of Medical Practice* 26(1), 36-41.
161. Zawadzki E., Kalina R.M., Cieślik K. (1996): Stan zdrowia i sprawności fizycznej podchorążych [w:] Kalina R.M. (red.): *Wychowanie fizyczne w edukacji obronnej społeczeństwa*. Polskie Towarzystwo Naukowe Kultury Fizycznej Sekcja Kultury Fizycznej w Wojsku, Warszawa, 69-79.

Akty prawne:

1. Standardization Agreement (STANAG) 2837 (1981): Edition 2. ADM, Recommended requirements for aircrew in high sustained „G”, Military Agency for Standardization, NATO, Brussels.
2. Instrukcja szkolenia z medycyny lotniczej dla pilotów samolotów wysokomanewrowych i śmigłowców (2008): (kurs z medycyny lotniczej), archiwum Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej, Warszawa 2008/2009.

Strony internetowe:

1. <https://www.flyaeroguard.com/?s=Pilot+Motion+Sickness%3A+Not+++a+Disorder.+Aero+Guard+Flight+Training+Center> [dostęp 30.12.21].
2. <http://www.asams.org/guidelines/Completed/NEW%20Motion%20Sickness.htm> [dostęp - 30.12.2021].
3. <https://www.etcaircrewtraining.com/spatial-disorientation-military-aviation.html> [dostęp: 20.11.2021].
4. http://www.wiml.waw.pl/pl/Symulator_Lotniczy_GYRO_IPT [dostęp: 28.11.2021].
5. <http://www.wiml.waw.pl/pl/Symulator> [dostęp: 28.11.2020].

STRESZCZENIE

Wpływ ukierunkowanego treningu fizycznego podchorążych Lotniczej Akademii Wojskowej na tolerancję przyspieszeń +Gz.

Cel pracy

W niniejszej pracy podjęto próbę eksperymentalnego potwierdzenia, że włączenie do procesu przygotowania kondycyjnego kandydata na pilota samolotów wysokomanewrowych „autorskiego treningu ukierunkowanego” realizowanego w Lotniczej Akademii Wojskowej w Dęblinie może wpłynąć na poprawę tolerancji ustroju pilota wojskowego na przyspieszenia +Gz oraz zwiększyć odporność na chorobę powietrzną poprzez ćwiczenia na LGPS.

Cel badań i pytania badawcze

Celem badań jest ocena udziału „autorskiego treningu ukierunkowanego” i jego ewentualny wpływ na poprawę tolerancji ustroju pilota wojskowego na przyspieszenia +Gz oraz wpływ ćwiczeń na LGPS na poprawę odporności na chorobę powietrzną w kontekście poprawy zdolności do wykonywania lotów (ang. *flight performance*).

Pytania badawcze

1. W jakim stopniu „autorski trening ukierunkowany” oraz ćwiczenia na LGPS są w stanie wpłynąć na poprawę zdolności pilotów-podchorążych do wykonywania lotów (ang. *flight performance*), uwzględniając tolerancję na przyspieszenia +Gz oraz odporność na chorobę powietrzną ?
2. O jaką wartość +Gz zmieni się (wzrośnie lub zmaleje) poziom tolerancji ustroju pilota-podchorążego samolotów wysokomanewrowych na przyspieszenia +Gz w rezultacie poddania go „autorskiemu treningowi ukierunkowanemu”?

Hipotezy badawcze

1. „Autorski trening ukierunkowany” kształtuje pożądane wskaźniki sprawności fizycznej (siła, szybkość, koordynacja napięć izometrycznych mięśni skorelowanych z forsownym wydechem), przygotowując do poprawnego wykonywania manewrów napinających (próba M-1, L-1), a uzupełniony ćwiczeniami na LGPS ma wpływ na korzystny poziom habituacji narządu przedśionkowego (zwiększenie odporności na chorobę powietrzną).
2. W wyniku zastosowania „autorskiego treningu ukierunkowanego” nastąpi poprawa tolerancji na przyspieszenia +Gz, co wpłynie na utrzymanie świadomości sytuacyjnej oraz sprawność działania pilota, szczególnie przy występowaniu wolno narastających przyspieszeń +Gz.

Material i metody

Badaniom poddano 21 podchorążych Lotniczej Akademii Wojskowej w Dęblinie. Wiek badanych zawierał się w przedziale od 20 do 25 lat. Badani zostali podzieleni na dwie grupy: grupa podchorążych realizująca „autorski trening ukierunkowany” (grupa I eksperymentalna n-9) oraz grupa podchorążych realizujących standardowy program z wychowania fizycznego w szkolnictwie wojskowym (grupa II kontrolna n-12). Badani podchorążowie stanowili jednorodny materiał porównawczy, bowiem obie grupy studiowały na kierunku pilot samolotu odrzutowego (PSO) i byli wyselekcjonowani przez Rejonową Wojskową Komisję Lotniczo-Lekarską (RWKLL) w Warszawie, gdzie otrzymali najwyższą kategorię zdrowia na samoloty wysokomanewrowe (Z-IA). Zgodę na przeprowadzenie projektu eksperymentu medycznego udzieliła Komisja Bioetyczna przy Wojskowej Izbie Lekarskiej na podstawie uchwały nr 177/20 z dnia 20.11.2020 r.

Organizacja i przebieg badań

Badania podchorążych zostały przeprowadzone dwukrotnie przed (badanie I) i po (badanie II) okresie realizacji 6-miesięcznego ukierunkowanego treningu fizycznego w obydwu grupach (kontrolnej, eksperymentalnej), które realizowały także standardowy trening na LGPS. Badania obu grup zostały przeprowadzone w dwóch etapach.

Etap pierwszy obejmował badania granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz określonym za pomocą programu liniowego narastania przyspieszeń (GOR) z wynikami oceny intensywności i monitorowania pomiaru częstości skurczów serca (HR MAX oraz Delta HR od 1,4–5,7 G) na wirówce przeciążeniowej przed (badanie I) i po (badanie II) realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego w obydwu grupach. Oba badania zostały wykonane w Wojskowym Instytucie Medycyny Lotniczej w Warszawie.

Etap drugi obejmował sprawdzenie skuteczności ukierunkowanego treningu fizycznego prowadzącego do poprawy tolerancji na przyspieszenia +Gz. W etapie tym zostały wykonane badania zdolności motorycznych (siła, zwinność, wytrzymałość, szybkość, moc), cech somatycznych (wiek, masa ciała, wysokość ciała) oraz habituacji układu przedsionkowo-wegetatywnego na loopingu odczopowanym. Badania zostały przeprowadzone dwukrotnie przed (badanie I) i po (badanie II) realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego w obydwu grupach. Oba badania zostały wykonane w Ośrodku Szkolenia Kondycyjnego Lotniczej Akademii Wojskowej w Dęblinie.

W obydwu grupach okres szkolenia fizycznego obejmował 45 jednostek treningowych dwugodzinnych (90 godzin lekcyjnych trwających po 45 min.) realizowanych w ciągu jednego semestru (3 x 90 min. w tygodniu). Ćwiczenia na LGPS trwały łącznie 15 godzin lekcyjnych. Badanym zostały zapewnione jednakowe warunki zakwaterowania oraz wyżywienia podczas okresu szkolenia.

Metodyka badań

Ocena tolerancji przyspieszeń +Gz wykonywana została na symulatorze lotniczym – wirówce przeciążeniowej firmy AMST-Systemtechnik GmbH 2011 r., będącym na wyposażeniu Zakładu Szkolenia i Treningu Lekarsko-Lotniczego (ZSTLL) Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej w Warszawie.

W badaniach rejestrowane są w sposób ciągły wartość przyspieszenia, EKG i wskaźniki fizjologiczne, które stosowane są rutynowo podczas każdego badania w programie liniowym. Obejmowały one pomiary: HR, częstość oddechów i amplitudę pulsacji naczyń tętniczych płotka usznego. Odpowiedzi na bodźce wzrokowe (rejestracja zmian obwodowego pola widzenia) i kontakt głosowy z prowadzącym badanie lekarzem lotniczym świadczyły o zachowaniu świadomości sytuacyjnej badanych podchorążych.

Ocena habituacji układu przedsionkowo-wegetatywnego wykonywana była na jednym z trzech Lotniczych Gimnastycznych Przyrządach Specjalnych – loopingu

odczopowanym, Test (Próba Jędrysa) był wykonywany w pozycji stojącej na huśtawce – loopingu odczopowanym będącym na wyposażeniu Ośrodka Szkolenia Kondycyjnego Lotniczej Akademii Wojskowej w Dęblinie. Przy pomocy współwiczącego badany obracany jest w podłużnej osi ciała z częstotliwością jeden obrót w czasie dwóch sekund. Próba zostaje przerwana z chwilą wystąpienia objawów choroby powietrznej.

Kryteria oceny polegają na wykonywaniu ww. czynności w określonym czasie:

- 600 sekund – bardzo dobrze;
- 480 sekund – dobrze;
- 360 sekund – dostatecznie.

Po wykonaniu badań kontrolnych (w grupie eksperymentalnej i kontrolnej) na wirówce przeciążeniowej w WIML oraz oceny habituacji układu przedsionkowo-wegetatywnego na loopingu odczopowanym w LAW została przeprowadzona ocena zdolności motorycznych, cech somatycznych oraz podstawowych parametrów fizjologicznych przed i po zastosowanym standardowym oraz ukierunkowanym treningu fizycznym.

Charakterystyka treningów grup

Grupa I (eksperymentalna) realizowała szczegółowy program treningowy według „autorskiego treningu ukierunkowanego”. Zajęcia prowadzone były metodą powtórzeniową i interwałową z uwzględnieniem metodycznych akcentów, takich jak: koordynacja wzrokowo-ruchowa, orientacja przestrzenna, układ równowagi procesu szkolenia pilota wojskowego.

Grupa II (kontrolna) realizowała w okresie szkolenia trening ogólnousprawniający, w którym uwzględniono tematykę gier zespołowych, atletyki terenowej, gimnastyki, gimnastyki przyrzadowej (LGPS), sportów walki oraz pływania. Podczas zajęć zostały zastosowane metody: powtórzeniowa i interwałowa. Schemat jednostki treningowej (90 min.) grupy kontrolnej wyglądał identycznie jak grupy eksperymentalnej, poza częścią główną, która była realizowana według standardowego programu szkolenia fizycznego.

Założeniem „autorskiego treningu ukierunkowanego” było systematyczne wykonywanie dwa razy w tygodniu ćwiczeń siłowych z użyciem własnej masy ciała. Program treningu składał się łącznie z 90 godzin lekcyjnych 45-minutowych prowadzonych w postaci trzech jednostek treningowych tygodniowo przez jeden semestr

(3 x 90 min.). Głównym celem tych ćwiczeń było nauczanie (usprawnianie) prawidłowego oddychania, zwiększanie tłoczni brzusznej i wytrzymałości mięśniowej jako przygotowanie pilotów samolotów wysokomanewrowych do wykonywania tzw. manewrów napinających (próba M-1, L-1). Ćwiczenia prowadzono w seriach, których liczba była uzależniona od postępów ćwiczących. W czasie wykonywania ćwiczeń zwracano uwagę na poprawne ułożenie ciała oraz prawidłowe, swobodne oddychanie.

Analiza statystyczna

Statystyczna analiza wyników badań została przeprowadzona z wykorzystaniem metod obejmujących statystyki opisowe, zależności korelacyjne, analizę wariancji oraz testy statystyczne dedykowane porównaniom prób zależnych. Analiza została podzielona na cztery etapy. Przyjęto przy tym poziom istotności równy 0,05. Dodatkowo, zastosowano analizę ANOVA umożliwiającą porównanie więcej niż dwóch prób. Przy każdej ze stosowanych metod weryfikacji podlegały jej założenia, m.in. o normalności rozkładu, niezależności czy równości wariancji w badanych próbach. W miarę możliwości przedstawione zostały również wizualizacje uzyskanych wyników, m.in. na wykresach bądź w postaci tabelarycznej. Obliczenia przeprowadzono z użyciem programu STATISTICA w wersji 13.3 oraz R - środowiska do obliczeń statystycznych i wizualizacji wyników.

Wyniki

Realizacja pierwszego etapu badań obejmowała analizę i porównanie granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz, (GTP), za pomocą programu liniowego narastania przyspieszeń (GOR), z wynikami oceny intensywności i monitorowania pomiaru częstości skurczów serca (HR MAX oraz Delta HR od 1,4–5,7 G) na wirówce przeciążeniowej, przed i po realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego w obydwu grupach. Uzyskane w przeprowadzonej analizie GTP wyniki wykazały, że osiągnięte wskaźniki poprawiły się w przypadku wszystkich podchorążych, przy czym wielkość poprawy oscylowała w zakresie od 1,3% do 19,3%. Średnia wielkość poprawy w grupie eksperymentalnej wynosiła 9,1%, natomiast w grupie kontrolnej zaledwie 2,8%. Zmiany te sugerowały wysoką sprawność czynnościową układu krążenia, ponieważ w analizowanym okresie zmieniono i zmodyfikowano środki i metody przygotowania fizycznego pilotów,

ukierunkowane na kształtowanie zdolności siłowych i szybkościowych, co wpłynęło na poprawę tolerancji przyspieszenia +Gz na wirówce przeciążeniowej. Wpływ na pozytywne zmiany miał z pewnością również intensywny trening ukierunkowany, który był prowadzony trzy razy w tygodniu na rozwój określonych zdolności motorycznych (siła, zwinność, wytrzymałość, szybkość, moc).

Drugi etap badań dotyczył oceny skuteczności „autorskiego treningu ukierunkowanego” (ATU) na poprawę tolerancji przyspieszeń +Gz. Badanie było przeprowadzone w grupie eksperymentalnej z wydzieloną grupą kontrolną w celu weryfikacji statystycznego progresu. Uzyskane wyniki potwierdziły korzystny wpływ ukierunkowanego treningu fizycznego na poprawę zdolności motorycznych. Podchorążowie uzyskali statystycznie istotnie lepsze wyniki (średnio) o co najmniej 2–3% (bieg na 16,5 m oraz bieg wahadłowym 10x10 m). Znacznie większy progres zanotowano w przypadku skoku w dal z miejsca (9%) oraz w próbie Jędrysa (11%). Analiza i porównanie wyników badań przed i po zakończeniu treningu wykazały na prawidłowy progres kształtowania cech motorycznych, który można było powiązać z zastosowanym programem ćwiczeń, w tym ćwiczeń siłowych, oddechowych i interwałowych. Największą poprawę stwierdzono w testach podciągania się na drążku wysokim (średnia poprawa 28%), skłonach tułowia (przeciętny progres 13%), co wskazywało na uzyskanie większej siły i wytrzymałości mięśni kończyn górnych, obręczy barkowej i mięśni brzucha po treningu. Wyniki te można łączyć ze stosowaniem ćwiczeń siłowych i izometrycznych na grupy mięśni, które wpływają na tolerancję przyspieszeń +Gz. Nieznaczną poprawę uzyskano w testach określających takie zdolności motoryczne jak szybkość, zwinność oraz moc. Wart podkreślenia jest również fakt, że w większości testów zanotowany progres był znacznie wyższy w grupie eksperymentalnej niż w grupie kontrolnej. W pozostałych testach, a przede wszystkim w tolerancji przyspieszenia +Gz na wirówce przeciążeniowej, wpływ „autorskiego treningu ukierunkowanego” na wynikowy progres był wyraźny, notując kilku-, a nawet kilkunastokrotne większe różnice. W przypadku wskaźników somatycznych (masa ciała oraz indeks BMI) różnice pomiędzy grupą eksperymentalną i kontrolną okazały się być nieistotne statystycznie.

Wnioski

1. Zastosowanie „autorskiego treningu ukierunkowanego” u podchorążych LAW (rozwijanie określonych grup mięśniowych w połączeniu z ćwiczeniami oddechowymi oraz ćwiczeniami na LGPS) wpłynęło korzystnie na poprawę tolerancji na przyspieszenia +Gz oraz odporność ustroju na chorobę powietrzną.
2. W zakresie poziomu wybranych zdolności motorycznych stwierdzono poprawę siły i wytrzymałości mięśni kończyn górnych, obręczy barkowej i mięśni brzucha. Największą poprawę wykazano w testach podciągania na drążku wysokim oraz skłonach tułowia.
3. Przedstawione metody treningu fizycznego okazały się skuteczne u młodych pilotów w poprawie tolerancji na przyspieszenia +Gz na wirówce przeciążeniowej (program liniowy) oraz czasowego utrzymania świadomości sytuacyjnej na szczycie działania przyspieszeń.
4. Zastosowany program treningowy może być przydatny w profilaktyce choroby powietrznej, poprawie tolerancji na przyspieszenia +Gz oraz niwelowaniu zaburzeń świadomości sytuacyjnej podchorążych LAW. Ćwiczenia te powinny być zalecane jako stały element treningu uzupełniającego, w przyjętym systemie (programie) Kondycyjno-Sprawnościowego Przygotowania do Lotów.

Słowa kluczowe

Przyspieszenia +Gz, LGPS, wirówka przeciążeniowa, choroba powietrzna, AGSM, autorski trening ukierunkowany.

ABSTRACT

Effects of targeted physical training of Polish Air Force University cadets on +Gz acceleration tolerance.

Objectives

In the study describes an attempt made to provide experimental confirmation that extending the fitness preparation programme of a candidate for a high-maneuvring aircraft pilot by the "proprietary targeted training" implemented at the Polish Air Force University in Deblin can contribute to the military pilot's system tolerance to +Gz acceleration and improve his/her resilience to air sickness by exercising on Special Aviation Gymnastic Instruments (SAGI).

Research purpose and research questions

The purpose of this research is to evaluate the contribution of "proprietary targeted training" and its possible effect on improving the tolerance of a military pilot's system to +Gz acceleration as well as the advantageous effect of SAGI exercise on achieving better air sickness resistance from the viewpoint of improving flight capability (*flight performance*).

Research questions

1. To what extent can the "proprietary targeted training" and exercises on SAGI contribute to achieving a better ability of pilots-cadets to perform flights (*flight performance*), including their tolerance to +Gz accelerations and resistance to air sickness?
2. By what value of +Gz will the level of tolerance of a pilot-cadet flying a high-maneuvring aircraft to +Gz accelerations change (increase or decrease) as an effect of his/her being subjected to the "proprietary targeted training"?

Research hypotheses

1. The "proprietary targeted training" helps achieve the desired indices of physical fitness (strength, speed, coordination of isometric muscle tensions correlated with forced exhalation), necessary to prepare for correct execution of special manoeuvres (M-1, L-1 test), and if accompanied by exercises on SAGI, it has a positive impact on the favourable level of habituation of the vestibular organ (increasing resistance to air sickness).
2. The implementation of the "proprietary targeted training" can contribute to achieving an improvement in tolerance to +Gz accelerations, which will affect the maintenance of situational awareness and performance of the pilot, especially in the presence of slowly increasing +Gz accelerations.

Material and methods

Twenty-one cadets of the Polish Air Force University in Deblin were included in the study, with an age within the range of 20 to 25 years. The subjects were divided into two groups: a group of cadets carrying out the "proprietary targeted training" (experimental group I n-9) and a group of cadets following a standard program in physical training programme in the military education (control group II n-12). The cadets participating in the study constituted homogeneous comparative material, as both groups were studying to be a jet pilot and were selected by the Regional Military Aviation and Medical Commission in Warsaw, where they received the highest health category for high-maneuvring aircraft (Z-IA). Approval for the medical experiment project was granted by the Bioethics Committee at the Military Medical Board on the basis of resolution No. 177/20 dated 20.11.2020.

Organization and course of research

The studies of cadets were conducted twice, in the period preceding (study I) and following (study II) a 6-month targeted physical training in both groups (control group and experimental group), which also executed standard training on SAGI. Studies in both groups were conducted in two stages.

The first stage comprised testing the limit of tolerance to +Gz accelerations determined using the linear acceleration ramping (GOR) programme including results of intensity assessment and monitoring of heart rate measurements (HR MAX and Delta HR from 1.4-5.7 G) on the overload centrifuge before (study I) and after (study II) the implementation of targeted physical training in both groups. Both studies were performed at the Military Institute of Aviation Medicine in Warsaw.

Stage two involved testing the effectiveness of targeted physical training aimed at achieving improved tolerance to +Gz acceleration. In this stage performed were tests of motor abilities (strength, agility, endurance, speed, and strength), somatic characteristics (age, body weight, body height) and habituation of the vestibular-vegetative system on a unlocked looping. The study was conducted twice before (study I) and after (study II) the implementation of directed physical training in both groups. Both studies were performed at the Training Centre of the Polish Air Force University in Deblin.

In the both groups, the physical training period consisted of 45 two-hour training units (90 class hours of 45 minutes each) delivered over one semester (3 x 90 minutes per week). Exercises at the SAGI lasted for a total of 15 class hours. The cadets were provided with equal accommodation and food during the training period.

Research methodology

Tolerance to +Gz acceleration was assessed on the AMST-Systemtechnik GmbH 2011 airplane simulator-overload centrifuge, which is at the disposal of the Department of Medical and Aviation Training of the Military Institute of Aviation Medicine in Warsaw.

Acceleration, ECG and physiological indices that are used routinely during each study in a linear program are recorded continuously. These included measurements of HR, respiratory rate and amplitude of earlobe arterial pulsations. Responses to visual stimuli (recording changes in the peripheral visual field) and voice contact with the aviation physician conducting the examination were considered to prove that the tested cadets kept up their situational awareness.

Assessment of vestibular-vegetative system habituation was performed on one of the three SAGI instruments - unlocked looping. The test (the Jedrys trial) was performed in a standing position on swinging unlocked-looping, which is at disposal of the Training Centre of the Polish Air Force University in Deblin. With the assistance of a fellow exerciser, the test subject is rotated in the longitudinal axis of the body at a frequency of

one rotation per two seconds. The test is discontinued as soon as symptoms of air sickness appear.

The evaluation criteria consist in executing the above mentioned activities within the specified time:

- 600 seconds - very well;
- 480 seconds - well;
- 360 seconds - satisfactorily.

After performing control tests (in the experimental and control groups) on the overload centrifuge at the Military Institute of Aviation Medicine and assessing the vestibular-vegetative system habituation on the unlocked looping in the Polish Air Force University, an appraisal was carried out of motor abilities, somatic features and basic physiological parameters before and after standard and directed physical training.

Characteristics of group training

Group I (the experimental group) executed a detailed training program according to the "proprietary targeted training". Classes were conducted based on the repetition and interval methods allowing for such methodical elements as: eye-hand coordination, spatial orientation and balance system of the military pilot training process.

Group II (the control group) implemented during the training period a general fitness training that comprised elements of team games, field athletics, gymnastics, instrumental gymnastics (SAGI), combat sports and swimming. The classes involved the repetition and interval methods. The training unit scheme (comprising 90 mins.) of the control group was identical to that of the experimental group except for the main part that was carried out according to the standard physical training program.

The premise underlying the "proprietary targeted training" assumed systematic performance of strength training exercises using one's own body weight twice a week. The training program consisted of a total of 90 class hours of 45 minutes, conducted as three training units per week over one semester (3 x 90 minutes). The main purpose of these exercises was to teach (improve) proper breathing, improve abdominal and muscular endurance to prepare pilots of high-maneuvrability aircraft to perform the so-called special manoeuvres (M-1, L-1 test). Exercises were carried out in series, the number of

which depended on progress achieved by the cadets. Attention was paid to correct body alignment and proper easy breathing.

Statistical analysis

The statistical analysis of the research results has been carried out using methods that comprised descriptive statistics, correlational relationships, analysis of variance, and statistical tests dedicated to comparisons of dependent samples. The analysis was divided into four stages. The assumed significance level was 0.05. In addition, the ANOVA analysis was used to allow comparison of more than two samples. For each of the applied methods, its assumptions were verified, e.g. concerning the normality of distribution, independence or equality of variance in the tested samples. To the extent possible, the results were visualized on graphs or in a tabular form. The calculations were carried out using STATISTICA version 13.3 and R - the environment for statistical calculations and visualization of results.

Results

The implementation of the first phase of research comprised an analysis and comparison of the +Gz acceleration tolerance (GTP), using a linear acceleration ramping (GOR) program, with the results of intensity assessment and monitoring of heart rate measurements (HR MAX and Delta HR from 1.4-5.7 G) on an overload centrifuge, before and after the implementation of directed physical training in both groups. The results obtained from the conducted GTP analysis have shown an improvement of all achieved indicators for all cadets, with the magnitude of improvement ranging between 1.3% and 19.3%. The average magnitude of improvement in the experimental group was 9.1%, while in the control group it was only 2.8%. These changes suggested a high functional efficiency of the cardiovascular system, as in the analysed period the means and methods of physical preparation of pilots were altered and modified, with the aim of developing strength and speed abilities, which helped improve the tolerance of acceleration +Gz on the overload centrifuge. The positive changes were clearly also made possible thanks to intensive directed training, performed three times a week to develop specific motor skills (strength, agility, endurance, speed and power).

The second phase of the study was dedicated to assessing the effectiveness of the "proprietary targeted training" in improving the +Gz acceleration tolerance. The study was conducted in the experimental group that comprised also a set out control group to verify statistical progression. The obtained results confirmed the beneficial effect of directed physical training on improving motor skills. The cadets achieved statistically significantly better results (on average) by at least 2-3% (16.5 m run and 10x10 m shuttle run). A significantly greater progress has been recorded in the long jump from standing position (9%) and in the Jedrys trial (11%). An study and comparison of pre- and post-training test results pointed to a correct progress in motor features that could be associated with the adopted exercise program, including strength, breathing, and interval training. The greatest improvement was ascertained in the pull-ups on a high bar (average improvement of 28%), trunk bends (average progress of 13%) being an indication that greater strength and endurance of upper limb muscles has been achieved, shoulder girdle and abdominal muscles after training. These results can be associated with the adoption of strength and isometric exercises on muscle groups that affect the tolerance of +Gz accelerations. A slight improvement was acquired in tests used to determine such motor skills as speed, agility and strength. It is also worth mentioning that in most of the tests the progress was significantly more pronounced in the experimental group than in the control group. In the remaining tests, especially in tests of tolerance to +Gz acceleration performed on the overload centrifuge, the influence of the "proprietary targeted training" on the resultant progress was noticeable, with differences of a few to even more than tenfold. In the case of somatic indices (body mass and BMI index), the differences between the experimental and control groups turned out to be statistically insignificant.

Conclusions

1. The application of "proprietary targeted training" in cadets of the Polish Air Force University (aimed at developing specific muscle groups in combination with breathing exercises and exercises on the SAGI) was found to have a beneficial effect on improving tolerance to +Gz acceleration and body resistance to air sickness.
2. As far as the level of selected motor abilities is concerned, an improvement has been ascertained in the strength and endurance of upper limb muscles, shoulder girdle and abdominal muscles. The greatest improvement was found in the tests of pull-ups on a high bar and trunk bends.

3. The presented physical training methods have proven to be effective in young pilots as they allowed improving tolerance to +Gz accelerations on an overload centrifuge (linear program) and temporarily maintaining situational awareness at the peak of acceleration activity.
4. The applied training programme may be useful in preventing air sickness, improving tolerance to +Gz acceleration and reducing situational awareness disorders in cadets of the Polish Air Force University. These exercises should be recommended as a permanent element to supplementary training, in the adopted system (programme) of Fitness-Physical Conditioning Preparation for Flight Duties.

Keywords

Accelerations +Gz, SAGI, overload centrifuge, air sickness, AGSM, proprietary targeted training.

WYKAZ TABEL I RYCIN

Wykaz tabel

Tabela 1. Standardowy program szkolenia fizycznego grupy kontrolnej	45
Tabela 2. Wartość wskaźników somatycznych dla grupy eksperymentalnej.....	49
Tabela 3. Wartość wskaźników somatycznych dla grupy kontrolnej	49
Tabela 4. Statystyki opisowe dla wskaźników somatycznych	50
Tabela 5. Wyniki testów statystycznych (wartość p) weryfikujących podobieństwo badanych przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego pod względem wybranych wskaźników somatycznych	51
Tabela 6. Wartość wskaźników motorycznych dla grupy eksperymentalnej.....	53
Tabela 7. Wartość wskaźników motorycznych dla grupy kontrolnej	54
Tabela 8. Statystyki opisowe dla wskaźników motorycznych	55
Tabela 9. Wyniki testów statystycznych (wartość p) weryfikujących podobieństwo badanych przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego pod względem wskaźników motorycznych	58
Tabela 10. Wyniki próby Jędrysa oraz granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz dla grupy eksperymentalnej.....	60
Tabela 11. Wyniki próby Jędrysa oraz granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz dla grupy kontrolnej.....	61
Tabela 12. Statystyki opisowe dla wyników próby Jędrysa oraz granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz.....	64
Tabela 13. Wyniki testów statystycznych (wartości p) weryfikujących podobieństwo badanych przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego pod względem wskaźników motorycznych	65
Tabela 14. Wyniki testów statystycznych (wartości p) weryfikujących podobieństwo badanych z grupy eksperymentalnej przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego pod względem wskaźników somatycznych, motorycznych oraz związanych z badaniem granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz.....	69
Tabela 15. Wyniki testów statystycznych (wartości p) weryfikujących podobieństwo badanych z grupy kontrolnej przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego pod względem wskaźników somatycznych, motorycznych oraz związanych z badaniem granicy tolerancji na przyspieszenia +Gz	70

Tabela 16. Wyniki testów statystycznych weryfikujących różnice w poprawie wskaźników w grupie eksperymentalnej i kontrolnej	76
---	----

Wykaz rycin

Ryc. 1. Kierunki oddziaływania przyspieszeń na organizm pilota.....	11
Ryc. 2. Działanie przyspieszeń w osi podłużnej ciała na organizm pilota.....	12
Ryc. 3. Wartości przyspieszeń ograniczające wykonywanie ruchów dowolnych	13
Ryc. 4. Skutki oddziaływania przyspieszeń dośrodkowych na organizm pilota.....	14
Ryc. 5. Funkcje poszczególnych receptorów narządu przedsionkowego	18
Ryc. 6. Pozycja głowy pilota podczas manewrów w walce powietrznej ACM	21
Ryc. 7. Symulator Anti-G Straining Maneuver (napinający manewr przeciwp przeciążeniowy) „Deptak”, konstrukcja Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej.....	27
Ryc. 8. Wirówka przeciążeniowa w WIML	30
Ryc. 9. Looping	33
Ryc.10. Koło reńskie	34
Ryc.11. Żyroskop	35
Ryc. 12. Gondola wirówki przeciążeniowej w WIML.....	41
Ryc. 13. Program działania przyspieszeń – program liniowy	41
Ryc. 14. Ocena habituacji narządu przedsionkowego w loopingu odczopowanym.....	43
Ryc. 15. Porównanie wyników testów motorycznych przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego (dla całej grupy badanych).....	57
Ryc. 16. Zestawienie histogramów wyników testu jak największej liczby podciągnięć na drążku przed (histogram powyżej osi 0X) i po (histogram poniżej osi 0X) okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego (dla całej grupy badanych).....	59
Ryc. 17. Zestawienie histogramów wyników testu jak największej liczby skłonów tułowia przez 2 minuty przed (histogram powyżej osi 0X) i po (histogram poniżej osi 0X) okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego (dla całej grupy badanych)	59
Ryc. 18. Zestawienie wyników testów na wirówce przeciążeniowej przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego (dla całej grupy badanych)	63
Ryc. 19. Porównanie wyników testów na wirówce przeciążeniowej przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego (dla całej grupy badanych)	66

Ryc. 20. Macierz korelacji (Pearsona lub punktowo-dwuseryjnej) wybranych wskaźników wykorzystanych w badaniu. Uwzględnione zostały tylko istotne statystycznie zależności	73
Ryc. 21. Porównanie zmian wskaźników przed i po okresie realizacji ukierunkowanego treningu fizycznego w grupie eksperymentalnej i kontrolnej	79

ANEKS

**„Autorski trening ukierunkowany”
– opis szczegółowy**

Tabela Z 1.1. Ogólny program autorskiego treningu ukierunkowanego

Liczba godzin	Temat	Metody
30	Atletyka terenowa z pokonywaniem specjalnych torów przeszkód	Powtórzeniowa Interwałowa
15	Gimnastyka (ćwiczenia ogólnej sprawności)	
15	Gimnastyka przyrządowa (LGPS)	
15	Ćwiczenia siłowe z elementami obwodów ćwiczebnych	
15	Gry zespołowe	

Zródło: opracowanie własne.

Tabela Z 1.2. Szczegółowy program autorskiego treningu ukierunkowanego z podziałem na trzy jednostki treningowe (3 x 90 min.)

Zajęcia	Czas	Temat	Wskazówki metodyczne
Pierwsza jednostka treningowa (90 min.)			
1–2	2 x 45 min.	Atletyka terenowa z pokonywaniem specjalnych torów przeszkód	Pokonywanie płotków lekkoatletycznych, ćwiczenia z piłkami lekarskimi, ćwiczenia siłowe z użyciem własnej masy ciała
Druga jednostka treningowa (90 min.)			
3–4	2 x 45 min.	Gimnastyka (ćwiczenia ogólnej sprawności)	Ćwiczenia rozciągające, ćwiczenia stabilizujące, ćwiczenia wolnoobrotowe
		Gimnastyka przyrządowa (LGPS)	Nauka i doskonalenie ćwiczeń indywidualnych i zespołowych na LGPS
Trzecia jednostka treningowa (90 min.)			
5–6	2 x 45 min.	Ćwiczenia siłowe z elementami obwodów ćwiczebnych	Obwody ćwiczebne, ćwiczenia siłowe z użyciem własnej masy ciała
		Gry zespołowe	Piłka siatkowa, piłka koszykowa

Zródło: opracowanie własne.

Tabela Z 1.3. Szczegółowy schemat jednostki treningowej (90 min.) realizowany w grupie eksperymentalnej

Część zajęć	Czas	Wskazówki metodyczne
Wstępna	20 min.	
1. Ćwiczenia porządkowe 2. Ćwiczenia kształtujące (wolnoobrotowe) 3. Podział ćwiczących na grupy		
Główna	60 min.	
<u>1. Pierwsza jednostka treningowa</u> obejmująca: atletykę terenową z pokonywaniem specjalnych torów przeszkód <u>2. Druga jednostka treningowa</u> obejmująca: gimnastykę oraz gimnastykę przyrządową (LGPS) <u>3. Trzecia jednostka treningowa</u> obejmująca: ćwiczenia siłowe z elementami obwodów ćwiczebnych oraz gry zespołowe		Wybór jednej z 3 jednostek treningowych zawartych w tabeli Z 1.2 realizowanych raz w tygodniu
Końcowa	10 min.	
1. Ćwiczenia oddechowe * 2. Omówienie zajęć		

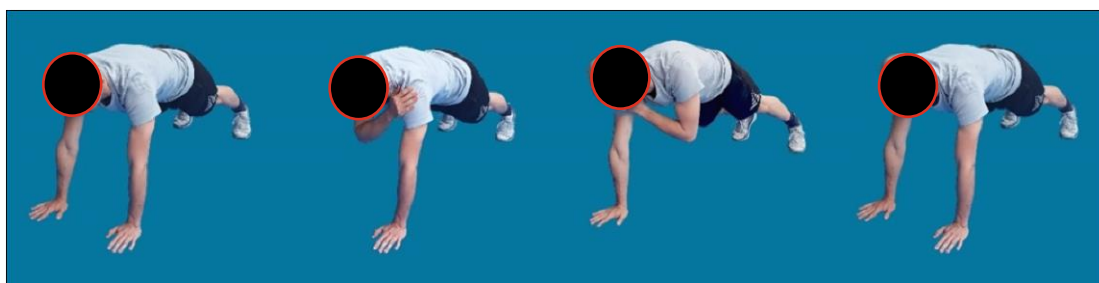
Źródło: opracowanie własne.

* Celem ćwiczeń oddechowych w części końcowej tabeli Z 1.3 jest w szczególności oddziaływanie na główny mięsień oddechowy, jakim jest przepona. Przepona oddziela jamę klatki piersiowej od jamy brzusznej. Praca przepony powoduje zmianę kształtu oraz objętości klatki piersiowej, co umożliwia wdychanie i wydychanie powietrza. Skurcz włókien mięśniowych powoduje obniżenie przepony i zmniejszenie ciśnienia w jamie klatki piersiowej, co umożliwia wdech. Wydech zaś następuje wskutek uniesienia przepony ku górze, czyli skurczu mięśni brzucha przy jednoczesnym rozkurczu przepony. Ruchy przepony są niezależne od woli człowieka, ale mogą być modyfikowane pośrednio przez ćwiczenia stosowane u pilotów jako skuteczne metody umożliwiające wytrzymanie przez nich dużych wartości przyspieszeń. Do ćwiczeń należy zaliczyć fizjologiczne próby krążeniowo-oddechowe (próba M-1 i L-1). Poprawne wykonywanie tych prób zwiększa tolerancję na przyspieszenia o około 1,5–2,5 G. Szczegółowy opis prób krążeniowo-oddechowych przedstawiono w podrozdziale niniejszej pracy pt. „Manewry przeciwprzeciążeniowe”.

Ćwiczenia siłowe z użyciem własnej masy ciała

1. Podpór przodem z na przemian stronną pracą rąk (ang. *shoulder taps*).

Ćwiczący wykonuje podpór przodem (pozycja wysoka jak do pompek, kończyny górne ułożone na szerokość barków, kończyny dolne złączone lub w lekkim rozkroku maksymalnie na szerokość barków, sylwetka wyprostowana, tzn. barki, biodra i kostki stóp stanowią linię prostą). Następnie w podporze na zmianę dotyka się raz lewą dłonią kończyny górnej prawego barku i odwrotnie. Dozwolony jest lekki balans ciała.

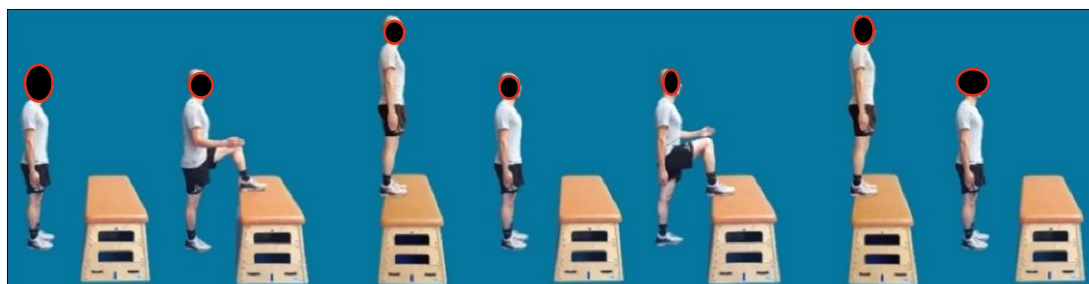


Ryc. Z 2.1. Technika wykonania podporu przodem z na przemian stronną pracą rąk

Źródło: opracowanie własne.

2. Wchodzenie na skrzynię.

Ćwiczący staje przed skrzynią o wysokości od 40 do 50 cm i wykonuje wejścia raz lewą kończyną dolną, zejście (powrót do pozycji wyjściowej), raz prawą kończyną dolną do pełnego wyprostowania kończyn na szczycie skrzyni. Obie kończyny górne powinny pracować wzdłuż tułowia (lewa kończyna górna pracuje w przód, gdy wchodzimy prawą kończyną dolną na skrzynię i odwrotnie), grzbiet wyprostowany.

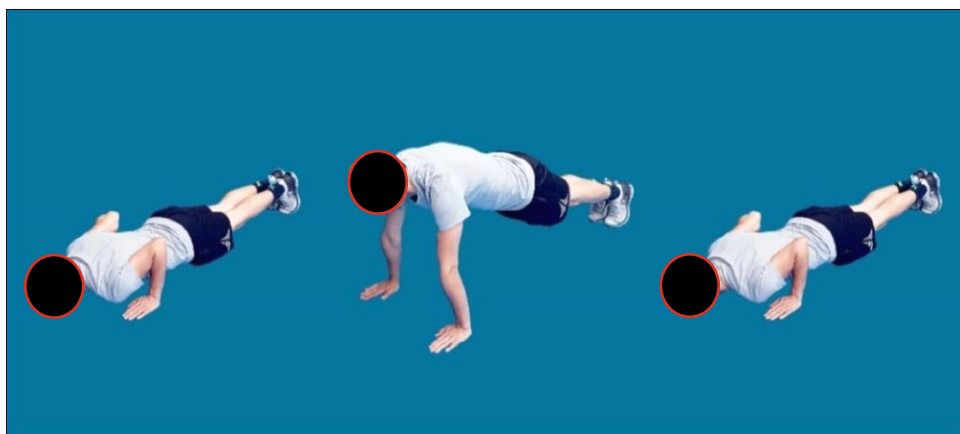


Ryc. Z 2.2. Technika wykonania wchodzenia na skrzynię

Źródło: opracowanie własne.

3. Pompki z leżenia na brzuchu.

Ćwiczący leży na brzuchu, kończyny górne ugięte w stawach łokciowych, rozstawione szerzej niż na szerokość bioder. Ćwiczący jednostajnym odepchnięciem od podłogi podnosi wyprostowane ciało w górę, prostując kończyny górne w stawach łokciowych. W trakcie odepchnięcia ćwiczący wykonuje wydech, a następnie wraca do pozycji wyjściowej, opuszczając ciało w dół. W trakcie opuszczania wdech i bez zatrzymania przechodzi do kolejnego powtórzenia.

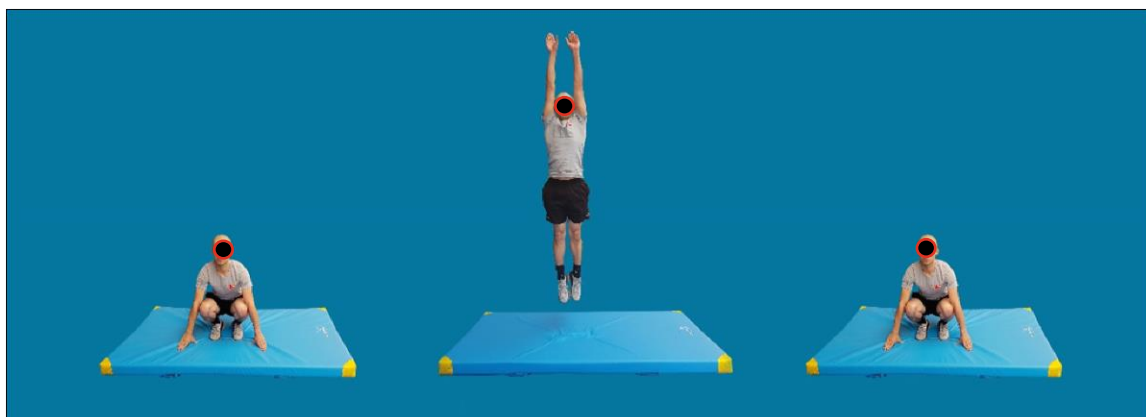


Ryc. Z 2.3. Technika wykonania pompki z leżenia na brzuchu

Źródło: opracowanie własne.

4. Podskoki obunóż w górę na materacu.

Ćwiczący wykonuje przysiad podparty na materacu w rozkroku na szerokość bioder. Wzrok skierowany przed siebie, podbródek lekko uniesiony. Przed rozpoczęciem ćwiczenia wykonuje się głęboki wdech, a następnie szybkim ruchem ramionami do przodu, wytwarzając siłę pędu, wyskakuje się mocno pionowo w górę, kończyny górne wyprostowane wyrzuca się nad głowę. Po dotarciu do najwyższego punktu ćwiczący lądując, wraca do pozycji wyjściowej. Po wylądowaniu i przyjęciu pozycji wyjściowej natychmiast przechodzi do następnego powtórzenia.

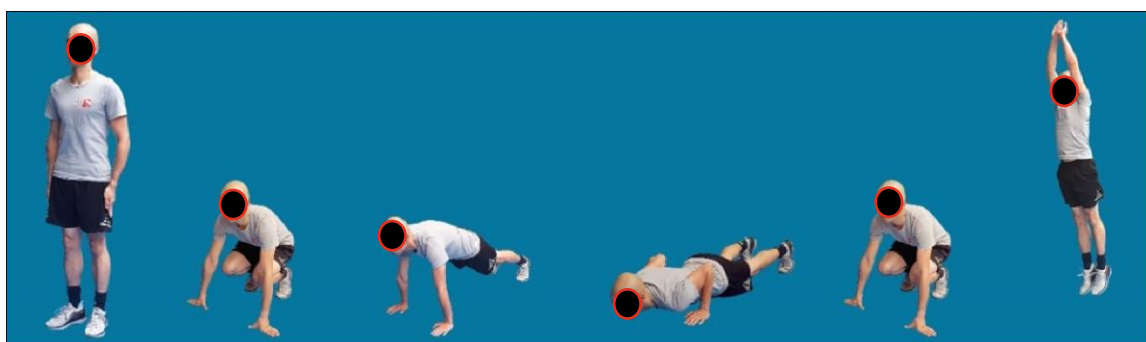


Ryc. Z 2.4. Technika wykonania podskoków obunóż w górę na materacu

Źródło: opracowanie własne.

5. Krokodylki (ang. *burpees*).

Padnij, powstań, wyskocz w górę. Ćwiczący wykonuje serie kilku ruchów, w sekwencji: przysiad, podpór przodem, pompka i wyskok w górę. Ćwiczenie wykonuje się płynnie, jedno po drugim, nie dając czasu na wypoczynek.



Ryc. Z 2.5. Technika wykonania krokodylków

Źródło: opracowanie własne.

LOTNICZA AKADEMIA WOJSKOWA
KANCELARIA JAWNA

Nr.
Wpłynęło: 2020-11-26
Zal. Stron



WOJSKOWA IZBA LEKARSKA

KOMISJA BIOETYCZNA

ul. Edwarda Jelinka 48, 01-646 Warszawa

NIP 113-19-36-487, REGON 006231150

www.wojskowa-il.org.pl e-mail: wojsko@hipokrates.org

Konto: PKO BP S.A. IX O/Warszawa Nr 50 1020 1097 0000 7802 0001 6741

L. dz. .KB 6/20

Warszawa, dnia 20.11.2020r.

UCHWAŁA Nr 177/20

Komisji Bioetycznej przy Wojskowej Izbie Lekarskiej z dnia 20.11.2020 r.

W sprawie wyrażenia opinii o projekcie eksperymentu medycznego zgłoszonego przez :

Autor/Kierownik projektu badawczego: **kpt mgr Michał Breszka** - główny badacz,
Lotnicza Akademia Wojskowa w Dęblinie

Kierownik jednostki organizacyjnej zgłaszającej projekt:

Dr hab. Ryszard Jasiński prof. AWF Zakład Biologii Człowieka , Wydział Fizjoterapii
Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu,

Nr protokołu: 6/20

Tytuł eksperymentu medycznego: „ Wpływ ukierunkowanego treningu fizycznego
podchorążych Lotniczej Akademii Wojskowej na tolerancję przyspieszeń +Gz”.

Członkowie zespołu badawczego:

- gen. bryg (r) dr pil. Ryszard Hać – LAW w Dęblinie- szkolenie lotnicze podchorążych,
- płk (r) dr med. Krzysztof Kowalczyk – WIML w Warszawie – badania na wirówce przeciążeniowej,

Jednostki organizacyjne, w których będzie realizowany projekt:

- Ośrodek Szkolenia Kondycyjnego Lotniczej Akademii Wojskowej w Dęblinie;
- Zakład Szkolenia i Treningu Lotniczo – Lekarskiego WIML w Warszawie;
- Zakład Biologii Człowieka w AWF Wrocław.

Komisja działająca na podstawie art. 29 ust. 2 ustawy z dnia 5 grudnia 1996 r. o zawodach lekarza i lekarza dentysty (Dz. U. z 2002 r. Nr 21, poz. 204 z późn. zm.) i § 6 ust. 5 rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 11 maja 1999 r. w sprawie szczegółowych zasad powoływania i finansowania oraz trybu działania komisji bioetycznych (Dz. U. Nr 47, poz. 480) rozpatrzyła projekt powyższego eksperymentu medycznego.

Komisja Bioetyczna przy Wojskowej Izbie Lekarskiej zapoznała się z ww. projektem eksperymentu medycznego – **szczegółowo opisanym w załączniku Nr 1 do niniejszej**

Przewodniczący Komisji Bioetycznej
Wojskowej

prof. dr hab. n. med. Eugeniusz Izzak

uchwały (zgodnie z zapisem § 4 ust.3 ww. rozporządzenia) - przeanalizowała wniosek, wysłuchała opinii recenzenta o przedstawionym projekcie i po uwzględnieniu wymogów wynikających z Konwencji o Ochronie Praw Człowieka i Godności Istoty Ludzkiej w kontekście zastosowań Biologii i Medycyny – Konwencja Biomedyczna z dnia 19. 10. 1996r. ETS No. 164 (ratyfikowana przez Polskę w 1999 r.) - w wyniku przeprowadzonej dyskusji oraz tajnego głosowania, *po rozważeniu kryteriów etycznych oraz celowości i wykonalności projektu*, podjęła uchwałę

o pozytywnym zaopiniowaniu projektu eksperymentu medycznego

Zastrzeżenia dodatkowe: brak

Komisja Bioetyczna przy Wojskowej Izbie Lekarskiej w ocenie badania klinicznego stosuje Zasady Międzynarodowej Konferencji do spraw Harmonizacji i Dobrej Praktyki Badań Klinicznych (ICH GCP).

Komisja wybrała ze swojego składu 4 członków, którzy zapoznali się z projektem eksperymentu medycznego i w głosowaniu tajnym podjęli niniejszą uchwałę. Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

UWAGA. Uchwała obowiązuje przez cały okres trwania badania pod warunkiem przekazywania Komisji informacji o wszelkich zmianach w prowadzonym eksperymencie oraz o objawach niepożądanych związanych z prowadzonym badaniem. Komisja zastrzega sobie prawo do zmiany badań lub ich wstrzymania. Każde badanie musi być poprzedzone wyjaśnieniem przez lekarza pacjentowi zakresu badań klinicznych i wymaga podpisu przez pacjenta i lekarza protokołu świadomej zgody.

Pouczenie. Od niniejszej uchwały podmiotowi zamierzającemu przeprowadzić eksperyment medyczny (kierownikowi ZOZ-u uczestniczącemu w eksperymencie, właściwej Komisji Bioetycznej) przysługuje odwołanie do Odwoławczej Komisji Bioetycznej przy Ministrze Zdrowia, za pośrednictwem Komisji Bioetycznej WIL, w terminie 14 dni od dnia otrzymania uchwały.

Sekretarz

Mgr Aleksandra Wojtak

Przewodniczący

prof. dr hab. n. med. Eugeniusz Dziuk