

**Sławomir POŚPIECH¹, Renata CZAPKOWICZ-POŚPIECH², Paweł BARUCHA³,
Jan BŁASZCZYK⁴**

¹Klinika Chirurgii Ogólnej, 5 Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką w Krakowie

²Centrum Medycyny Profilaktycznej Kraków, Poradnia Laryngologiczna

³NZOZ „Batory” Poradnia Chirurgiczno-Ortopedyczna Kraków

⁴Katedra Nauk Podstawowych, Zakład Fizjologii Człowieka i Biofizyki Uniwersytetu Medycznego w Łodzi

WPLYW DRGAŃ WIBRACYJNYCH O NISKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI NA WYBRANE PARAMETRY FIZJOLOGICZNE SPORTOWCÓW

Streszczenie: Praca przedstawia wpływ krótkotrwałych drgań ogólnych o częstotliwości 3.5 Hz na wybrane parametry fizjologiczne sportowców. W badaniu zastosowano platformę wibracyjną generującą drgania harmoniczne o częstotliwości biegu człowieka-3.5 Hz i wzrastającej amplitudzie od 4 do 5,5 mm. W pracy założono, że stanie na platformie w pozycji swobodnej bez wykonywania żadnych dodatkowych ćwiczeń stanowi dla organizmu człowieka trening fizyczny oraz że platforma wibracyjna jest urządzeniem, które odtwarza bodźce mechaniczne występujące w czasie biegu lub szybkiego marszu.

Słowa kluczowe: drgania wibracyjne niskoczęstotliwościowe, parametry fizjologiczne

1. WSTĘP

Drgania mechaniczne występują powszechnie w różnych dziedzinach aktywności ludzkiej, zwłaszcza zawodowej. Oddziaływaniu drgań podlegają w różnym stopniu wszyscy i stały się one poniekąd czynnikiem ekologicznym środowiska. Przekazywane do organizmu człowieka przez określoną część ciała będącą w bezpośrednim kontakcie z drgającym źródłem są silnym bodźcem fizycznym, który wpływa jednocześnie na wszystkie narządy człowieka [1,2]. Większość przeprowadzonych badań dotyczących wpływu drgań na człowieka dowodzi raczej negatywnych skutków ich oddziaływania, występujących głównie w przemyśle i komunikacji. Nie zawsze jednak drgania mechaniczne muszą być dla człowieka szkodliwe. Istnieją doniesienia o pozytywnym wpływie ekspozycji drgań na organizmy żywe. Bodziec wibracyjny może mieć wartość fizykalnego czynnika terapeutycznego, a uzależnione jest to od jego parametrów: amplitudy, częstotliwości, przyspieszenia oraz czasu oddziaływania [3].

Krótkotrwała mechaniczna stymulacja ludzkiego ciała bodźcami wibracyjnymi o małej amplitudzie i niewielkiej częstotliwości jest bezpiecznym sposobem aktywizacji czynności mięśni szkieletowych, zwiększając ich siłę i moc. Potwierdzają to badania opisujące wyniki ćwiczeń wykonywanych na specjalnie zaprojektowanych urządzeniach treningowych, w których stosowano miejscową stymulację drganiami oraz z efektów oddziaływania wibracji na całe ciało podczas wykonywania ćwiczeń na specjalnych platformach generujących drgania harmoniczne. Te oddziaływania wskazują na możliwość ich wykorzystania jako efektywnego środka w rehabilitacji oraz w treningu sportowym [4].

Trening wibracyjny stosowany jest w sporcie głównie w celu podniesienia siły eksplozywnej, mocy, wytrzymałości, elastyczności i gibkości mięśni, głównie kończyn dolnych, a początek jego zastosowania przypada na lata 70 ubiegłego wieku, kiedy to rosyjscy naukowcy pod kierunkiem dr Nazarowa przeprowadzili prace dotyczące stymulującego wpływu wibracji na organizm człowieka [5, 6]. Drgania mogą wywoływać specyficzne reakcje treningowe charakterystyczne dla treningu dynamicznego. Powodują one szybkie zmiany obciążenia grawitacyjnego w wyniku dużych przyspieszeń przenoszonych rytmicznie na ciało. Sinusoidalny przebieg bodźca wibracyjnego determinuje rytmiczne, szybkie i krótkotrwałe zmiany długości zespołu mięsień-ścięgno. Podrażnia to z kolei receptory czuciowe, co moduluje aktywność mięśni zaangażowanych w tłumienie drgań [7]. Ćwiczenia w połączeniu z wibracjami całego ciała stają się coraz bardziej popularne, choć ich dodatkowe efekty w porównaniu do tradycyjnych ćwiczeń dynamicznych i siłowych są nadal dyskutowane i wzbudzają wiele kontrowersji, co wynika z różnych protokołów badań i projektów szkoleniowych. Wiele badań wskazuje, iż pod wpływem treningu wibracyjnego wzrasta siła eksplozywna mięśni kończyn dolnych wyrażona za pomocą skoku wzwyż. Wielu autorów zaleca również drgania jako alternatywę lub dodatek do tradycyjnej rozgrzewki zwłaszcza przed zawodami, które wymagają znacznej ilości siły [8, 9]. Jednocześnie autorzy prac zwracają uwagę na niedostatek wiedzy na temat mechanizmów fizjologicznych zachodzących podczas ekspozycji na drgania oraz że nieznanym jest do końca biologiczny mechanizm ich oddziaływania, a negatywne skutki długotrwałego stosowania drgań w treningu sportowym są nie do przewidzenia i wymagają dalszych badań. Pomimo że platformy wibracyjne są stosowane od 40 lat jako uzupełniająca metoda treningu sportowego, to nadal istnieją rozbieżności co do parametrów stosowanych drgań oraz ich bezpieczeństwa i spodziewanych korzyści, tym bardziej że generowane przyspieszenia często przekraczają dopuszczalne normy przeciążenia [10, 11]. Istnieje więc potrzeba ustalenia optymalnych parametrów wibracji i protokołów ćwiczeń, aby były one bezpieczne i przewidywalne co do osiągnięcia zamierzonych rezultatów.

Celem pracy była analiza wpływu drgań ogólnych o częstotliwości 3,5 Hz i zmiennej amplitudzie na wybrane parametry fizjologiczne u sportowców stojących na platformie wibracyjnej w swobodnej pozycji i niewykonujących w czasie badania żadnych ćwiczeń. Do wywołania cyklicznych zmian obciążeń zastosowano drgania harmoniczne o częstotliwości biegu człowieka: 3,5 Hz co odpowiada 210 kroków na minutę jako najbardziej właściwej z fizjologicznego punktu widzenia. Praca mięśni wykonywana w czasie badania była związana tylko i wyłącznie z amortyzacją drgań na platformie i założono, że stanowi dla osób badanych trening fizyczny, a platforma wibracyjna jest urządzeniem, które w pewien sposób odtwarza bodźce mechaniczne występujące w czasie biegu lub szybkiego marszu.

Zakładając, że przebywanie na platformie wibracyjnej stanowi dla organizmu trening, zmiany fizjologiczne zachodzące pod wpływem drgań powinny być podobne lub zbliżone do tych, jakie obserwujemy w czasie wysiłku fizycznego.

Poddano więc analizie zmiany parametrów fizjologicznych (ciśnienie skurczowe, ciśnienie rozkurczowe, tętno, temperatura, masa ciała, zawartość tkanki tłuszczowej) przed i po zakończeniu ekspozycji na platformach wibracyjnych, oraz postawiono pytanie: czy drgania wibracyjne o częstotliwości 3.5 Hz powodują zmiany wybranych parametrów fizjologicznych u osób uprawiających sport, oraz czy zmiany te są podobne do tych, jakie występują w czasie wysiłku fizycznego.

2. METODYKA BADANIA.

Grupa badana liczyła 26 zdrowych, młodych osób w wieku od 20 do 36 lat, w tym 6 kobiet oraz 20 mężczyzn. Osoby te to studenci Akademii Wychowania Fizycznego i Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie uprawiający różne dyscypliny sportu (szermierka, koszykówka, aerobik sportowy).

Tabela 1 Charakterystyka badanej grupy

Cecha	n	zakres		średnia arytmetyczna
		min	max	
Wiek [lata]	26	20,00	36	22,95
Wzrost [m]		1,58	2,03	1,8
Masa [kg]		51,00	95,00	77,83
BMI		18,93	31,02	23,97

Kwalifikacja uczestników odbyła się miesiąc przed planowanym rozpoczęciem badań i obejmowała badanie internistyczne i ortopedyczne mające na celu ewentualne wykluczenie osób, u których stwierdzono choroby mogące dyskwalifikować je od uczestnictwa w badaniu (przebyte urazy, infekcje, zażywanie leków). Każda osoba została zapoznana z warunkami przebiegu badania i wyraziła świadomą zgodę na uczestnictwo, podpisując kwestionariusz dobrowolnego uczestnictwa oraz została poinformowana, że w każdym momencie bez podania przyczyny, może zrezygnować z udziału w badaniu. Po rozmowie kwalifikacyjnej każdemu uczestnikowi wyznaczano stałą godzinę treningu. W trakcie badania tryb ich życia nie uległ zmianie. Prowadzili oni treningi jak dotychczas, studiowali i uczestniczyli w życiu codziennym. Nie stosowali używek ani specjalnych diet.

W pracy wykorzystano dwie platformy wibracyjne zaprojektowane i wyprodukowane dla potrzeb eksperymentu w Instytucie Techniki Medycznej w Zabrze przy współpracy Laboratorium Akustyki Strukturalnej i Inżynierii Biomedycznej AGH w Krakowie. Platformy umożliwiały wzbudzenie drgań ogólnych, pionowych o częstotliwości 3,5 Hz i o zmiennej amplitudzie drgań. Składały się one z następujących części: wibratora kinematycznego, podstawy, podestu wprawianego w drgania, na którym stoi osoba poddana stymulacji dysypatorów energii zapewniających właściwy rozkład mocy silnika, oraz wspornika, na którym zamocowano uchwyt. Wibrator kinematyczny generował drgania sinusoidalne, pionowe o ściśle określonej, niezależnej od masy obiektu poddawanego wibracji amplitudzie i częstotliwości. Badania analizy dźwięku wykonane przy pomocy przenośnego cyfrowego analizatora dźwięku i drgań SVAN 912A wykazało, iż platformy nie stanowią zagrożenia akustycznego dla osób badanych i otoczenia.

Badania przeprowadzono w Studium Wychowania Fizycznego na Akademii Górniczo - Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Badania trwały od 03 kwietnia 2005 do 29 kwietnia 2005 roku, łącznie 19 dni treningu. Każda osoba wykonywała trening codziennie (oprócz sobót i niedziel) w ustalonym, stałym dla niej czasie. Badane osoby zostały poddane w trakcie każdego dnia dwudziestominutowej ekspozycji ogólnych drgań harmonicznym na platformie wibracyjnej o częstotliwości 3,5 Hz. i przyspieszeniu 0,2 g. Częstotliwość 3,5 Hz dobrano tak, aby odpowiadała częstotliwości biegu człowieka (ok. 210 kroków na minutę). Częstotliwość drgań i przyspieszenie były stałe w trakcie trwania całego badania. Amplituda drgań natomiast była zwiększana co tydzień o 0,5 mm i wynosiła kolejno: 4.0 mm w pierwszym tygodniu, 4.5 mm w drugi tygodniu, 5.0 mm w trzecim tygodniu i 5.5 mm w czwartym, ostatnim tygodniu badania. Każdego dnia badania rozpoczynały się o godzinie 8.00, a kończyły o 16:30. Czas ekspozycji badanych osób na platformie wibracyjnej wynosił 20 minut dziennie, co daje 360 minut ekspozycji w trakcie całego badania. Podczas badania

osoba stała na platformie w stroju sportowym bez obuwia, aby wykluczyć tłumienie podeszew obuwia. Osoby wykonujące badanie zostały przeszkolone w obsłudze platform wibracyjnych i pozostałej aparatury pomiarowej.

Realizujący badanie posiadał na jego przeprowadzenie zgodę Komisji Bioetyki Uniwersytetu Medycznego w Łodzi – Nr RNN/211/05/KB. Stosowany bodziec wibracyjny był bezpieczny, zgodny z wytycznymi dotyczącymi bezpieczeństwa testów i doświadczeń z udziałem ludzi eksponowanych na ogólne drgania mechaniczne i powtarzalne wstrząsy, które opisano w normie ISO 2631-1: 1997 i PN- EN ISO 13090-1: 2002.

W każdym dniu badań bezpośrednio przed wejściem na platformę wibracyjną i bezpośrednio po zejściu z platformy przeprowadzono pomiary sześciu parametrów fizjologicznych (ciśnienie skurczowe, ciśnienie rozkurczowe, tętno, temperatura, masa ciała i zawartość tkanki tłuszczowej). Ciśnienie tętnicze skurczowe i rozkurczowe oraz tętno były rejestrowane za pomocą elektronicznego ciśnieniomierza OMRON 773 działającego w oparciu o metodę oscylometryczną rejestracji wartości ciśnienia i tętna. Metoda ta polega na pomiarze drgań powstających w czasie spuszczenia powietrza z mankietu zamocowanego na ramieniu i automatycznym obliczaniu wartości ciśnienia i tętna. Pomiar temperatury odbywał się w kanale usznym przy użyciu elektronicznego termometru GENTLE TEMP-510. Mierzy on energię promieniowania podczerwonego, jaką emituje błona bębenkowa ucha i otaczająca ją tkanka. Energia ta jest skupiana na soczewkach i przetwarzana w wartość temperatury. Jako czujnik termoelektryczny wykorzystuje się elektrodę krzemianową. Dzięki temu możliwy jest bezdotykowy pomiar temperatury błony bębenkowej w kanale usznym. Każdy pomiar wymaga założenia jednorazowych wkładek na czujnik pomiarowy. Aparat jest dokładny, bezpieczny i nie wymaga żadnych kwalifikacji. Do pomiaru masy ciała oraz zawartości tkanki tłuszczowej wykorzystano wagę TANITA. Ocenia ona skład ciała wykorzystując technikę bioelektrycznej analizy oporności (BIA-bioelectrical impedance analysis). Opiera się ona na różnicy w przewodzeniu prądu elektrycznego przez różne tkanki organizmu, które ze względu na różną zawartość wody posiadają różną impedancję. Urządzenie wysyła słaby bezpieczny prąd, który przepływa swobodnie przez uwodnione tkanki beztłuszczowe, lecz natrafia na trudności, gdy przechodzi przez tkankę tłuszczową. Powstający opór określany jako bioelektryczna analiza oporności pozwala na dokładne wyliczenie w procentach udziału tkanki tłuszczowej w organizmie. Przed przystąpieniem do pomiaru należy wprowadzić następujące dane: wzrost, płeć, określenie grupy wiekowej (dorosły, dziecko). Badany staje na urządzeniu bez butów i skarpetek w lekkim ubraniu. Za każdym razem po badaniu wykonywana była dezynfekcja urządzenia.



Rys 1. Pomiar masy i zawartości tkanki tłuszczowej wagą TANITA

trzymane wyniki badań poddano statystycznym analizom numerycznym z wykorzystaniem pakietu komputerowego STATISTICA™ PL. wersja 7.1 firmy Stat-Soft licencjonowanego dla Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Przy opracowywaniu statystycznym na początku badano rozrzut danych pierwotnych w celu usunięcia błędów pomiarowych oraz błędów przypadkowych powstałych w trakcie tworzenia macierzy. Następnie dla wszystkich zmiennych wyznaczono statystyki opisowe (średnia arytmetyczna, minimum, maksimum, odchylenie standardowe) oraz przeprowadzono badanie normalności rozkładu zmiennych przy pomocy testu Lillieforsa, oraz Shapiro-Wilka. Wszystkie zmienne posiadały rozkład normalny i zgodnie z algorytmem wyboru istotności różnic w ich analizach zastosowano test t. Przy opracowaniu wyników przyjęto poziom istotności (prawdopodobieństwa testowego) $p = 0,05$.

3. WYNIKI BADAŃ.

- 1. Spadek wartości ciśnienia skurczowego-CS [mmHg]** z wartości: $124,81 \pm 10,53$ do wartości: $120,82 \pm 11,07$ przy poziomie istotności $p < 0,00001$ [tab1].
- 2. Spadek częstości tętna-TE [1/min.]** z wartości: $72,75 \pm 7,36$ do wartości: $68,98 \pm 6,11$ przy poziomie istotności $p < 0,00001$ [tab1].
- 3. Wzrost temperatury ciała-T [$^{\circ}$ C]** z wartości: $35,68 \pm 0,33$ do wartości: $35,89 \pm 0,41$ przy poziomie istotności $p < 0,00001$ [tab1].
- 4. Spadek masy ciała-MC [kg]** z wartości: $79,18 \pm 10,73$ do wartości: $79,11 \pm 10,71$ przy poziomie istotności $p < 0,00001$ [tab1].
- 5. Spadek zawartości tkanki tłuszczowej-TT [%]** z wartości: $20,59 \pm 5,967$ do wartości: $20,50 \pm 5,961$ przy poziomie istotności $p < 0,00172$ [tab1].
- 6. Analiza wartości ciśnienia rozkurczowego-CR** w badanej grupie nie wykazała istotnych statystycznie różnic [tab1].

Tabela 1. Tabela wyników

Zmienna	Średnia arytmetyczna	Min.	Maks.	Odchylenie standardowe	Poziom istotności (p)
CS [mmHg]-p	124,81	106,73	145,83	10,53	p < 0,00001
CS [mmHg]-k	120,82	104,36	141,31	11,07	
TE [1/min]-p	72,75	59,31	93,26	7,36	p < 0,00001
TE [1/min]-k	68,98	58,57	83,94	6,11	
T [$^{\circ}$ C]-p	35,68	35,00	36,40	0,33	p < 0,00001
T [$^{\circ}$ C]-k	35,89	35,01	36,55	0,41	
MC [kg]-p	79,18	56,47	94,90	10,73	p < 0,00001
MC [kg]-k	79,11	56,40	94,82	10,71	
TT [%]-p	20,59	11,26	31,57	5,967	p < 0,00172
TT [%]-k	20,50	11,36	31,26	5,961	
CR [mmHg]-p	73,46	61,00	88,15	6,14	p < 0,05318
CR [mmHg]-k	72,50	60,47	86,36	6,13	

p - pomiar początkowy k - pomiar końcowy

4. DYSKUSJA

Analiza częstości tętna wykazała jego spadek. Z literatury wiadomo, że podczas wysiłków fizycznych częstość skurczów serca zwiększa się natychmiast po jego rozpoczęciu i narasta, aż do poziomu odpowiadającego intensywności wysiłku. Wzrost częstości skurczów serca w czasie wysiłku stanowi element zintegrowanej reakcji układu sercowo-naczyniowego na obciążenie pracą mięśniową mająca na celu zwiększenie objętości minutowej i wzrost przepływu krwi przez pracujące mięśnie. Większość prac badających wpływ drgań na organizm ludzki opisuje wzrost częstości skurczów serca po ekspozycji na drgania podobnie jak w czasie wysiłku fizycznego. W pracach tych jednak poddawano ekspozycji na drgania ludzi starszych, chorych i mało aktywnych fizycznie, a częstotliwości zastosowanych drgań mieściły się w zakresie od 20 do 40 Hz. Ponadto przebywanie na platformie drganiowej kojarzone było często z jednoczesnym wykonywaniem ćwiczeń fizycznych oporowych lub dynamicznych. W przedstawionej pracy spadek częstości tętna mógł wynikać zarówno z doboru uczestników badania, którzy charakteryzowali się dużą wydolnością fizyczną, jak i z zastosowanych parametrów wibracji. Ludzi wytrenowanych w spoczynku cechuje bradykardia na ogół tym większa, im większa jest ich wydolność fizyczna. Podczas wysiłków fizycznych częstość tętna ludzi wytrenowanych jest również mniejsza. Jest to najbardziej charakterystyczna zmiana reakcji układu krążenia na wysiłek fizyczny rozwijająca się pod wpływem treningu. Osoby poddane działaniu wibracji były wytrenowane dlatego bodziec wibracyjny, jaki zastosowano, nie stanowił dla nich bodźca treningowego i nie wywołał aktywacji współczulnego układu nerwowego i wzrostu częstości skurczów serca. Obciążenie mięśni pracą w czasie amortyzacji drgań było niewielkie i zwiększone zapotrzebowanie mięśni na tlen zostało pokryte zwiększonym pochłanianiem tlenu przez mięśnie lub też zwiększenie objętości minutowej serca nastąpiło tylko w wyniku zwiększenia objętości wyrzutowej bez przyśpieszenia częstości jego skurczów. Częstotliwość 3,5 Hz, jaką zastosowano, nie stanowiła również dla uczestników bodźca stresowego, ponieważ odpowiadała częstotliwości biegu człowieka, do którego organizm jest przyzwyczajony, działała ona relaksująco, zmniejszając napięcie układu autonomicznego [12,13].

Spadek wartości ciśnienia tętniczego mógł wynikać ze zmniejszenia obwodowego oporu naczyniowego co z kolei, było spowodowane zwiększeniem przepływu krwi przez mięśnie czynnie zaangażowane w amortyzację drgań. Około 30% całkowitego obwodowego oporu naczyniowego zależy od oporu naczyń w mięśniach szkieletowych dlatego w czasie dynamicznego wysiłku fizycznego np. biegu lub marszu, obserwujemy często spadek ciśnienia tętniczego. Dotyczy to wysiłków lekkich, w których obciążenie mięśni jest niewielkie. Nie dochodzi wtedy do pobudzenia receptorów metabolicznych (ergoreceptorów) w mięśniach szkieletowych, które, pobudzane produktami przemiany materii mięśni, odruchowo zwiększają aktywność współczulną w czasie wysiłku fizycznego, doprowadzając do wzrostu częstości skurczów serca, objętości wyrzutowej i w rezultacie wzrostu ciśnienia. W czasie stania na platformie obciążenie mięśni pracą było niewielkie, nie dochodziło do dużego nagromadzenia produktów przemiany mięśni i pobudzenia ergoreceptorów oraz aktywacji układu współczulnego. Odpowiedź hemodynamiczna układu krążenia w postaci wzrostu objętości minutowej, jaką obserwujemy w czasie wysiłku była niewielka, jednocześnie wzrost przepływu krwi przez mięśnie spowodował spadek obwodowego oporu naczyniowego. Niewielki wzrost objętości minutowej oraz spadek oporu naczyniowego dał w rezultacie spadek ciśnienia. Dodatkowo osoby wytrenowane mają bardziej gęstą sieć naczyń włosowatych w mięśniach (trening fizyczny poprzez zwiększanie zapotrzebowania na tlen kurczących się mięśni pobudza angiogenezę prowadząc do proliferacji naczyń mikrokrążenia) co dodatkowo zmniejsza obwodowy opór naczyniowy w czasie wysiłku [12,14].

Innym mechanizmem obniżającym ciśnienie mógł być wpływ drgań na układ baroreceptorów i mechanoreceptorów sercowo-płucnych. Układ ten jest głównym mechanizmem regulującym aktywność współczulną układu sercowo-naczyniowego o charakterze odruchowym. Bodźcem dla baroreceptorów nie jest samo ciśnienie, lecz jego efekt w postaci rozciągnięcia ściany naczynia. Dlatego baroreceptory można pobudzić podobnie jak wszystkie mechanoreceptory jakimkolwiek innym bodźcem mechanicznym np. wibracjami [16]. Podsumowując trening drganiowy wpływał relaksująco na układ sercowo-naczyniowy, powodując spadek ciśnienia skurczowego i tętna. Nie wiadomo czy odbywało się to poprzez działanie ośrodkowe (układ autonomiczny) czy działanie obwodowe (spadek oporu naczyniowego, wpływ na receptory ciśnieniowe, receptory objętościowe). Układ krążenia może być traktowany jako system ciśnieniowo-odbiorczy. Zewnętrzna stymulacja mechaniczna w postaci drgań może być wykrywana przez mechanotransdukcję w komórkach śródbłonna i indukować zmiany hemodynamiczne w postaci zmian prędkości przepływu krwi i ciśnienia [15].

Wzrost temperatury po ekspozycji na platformie drganiowej wynikał natomiast z pracy mięśni zaangażowanych w amortyzację drgań. Mięśnie oprócz układu napędowego odgrywają nie mniej ważną rolę aktywnych tłumików. Skurcz ekscentryczny mięśnia jest wykorzystywany do absorbowania i rozpraszania nadmiaru energii. Doskonałe lepko-sprężyste właściwości mięśni powodują, że są one w stanie pochłonąć i rozproszyć znaczne ilości energii kinetycznej, z której znaczna część jest zamieniana na ciepło. Fizyczne tłumienie drgań przez układ kostno-stawowy i mięśniowy polega na zamianie energii kinetycznej na ciepłą. Autorzy badający wpływ treningu wibracyjnego na termoregulację podkreślają, że podnosi on temperaturę mięśni szybciej niż tradycyjne formy treningu. Jednocześnie wskazują na możliwość wzrostu temperatury pod wpływem drgań bez czynnego zaangażowania mięśni i pobudzenia układu współczulnego. Taka bierna rozgrzewka (pasywne rozgrzanie mięśni) uaktywnia procesy termoregulacyjne bez zużywania substratów energetycznych. Jednocześnie amortyzacja drgań przez układ kostno-stawowy powoduje zamianę energii kinetycznej na ciepłą w wyniku sił tarcia [14,16].

Drgania zwiększają podstawową przemianę materii, co prowadzi do spadku masy ciała i zawartości tkanki tłuszczowej. Czy wynika to tylko z pracy mięśni zaangażowanych w amortyzację drgań, czy też wibracje uruchamiają inne mechanizmy nerwowo-hormonalne nasilające lipolizę trudno to stwierdzić. Być może ma to związek z efektem lipolitycznym hormonu wzrostu, którego stężenie we krwi zwiększa się po ekspozycji na drgania, aktywacją białek rozprzegających procesy utleniania i fosforylacji lub aktywacją jałowych cykli substratowych Newsholma [16].

5. WNIOSKI

1. Drgania wibracyjne o częstotliwości 3.5 Hz nie stanowią dla sportowców bodźca treningowego i nie powodują wzrostu tętna i ciśnienia tętniczego. Działają one relaksująco na wytrenowany organizm, zmniejszając napięcie układu autonomicznego, co przejawia się spadkiem tętna i ciśnienia tętniczego. Przebywanie na platformie wibracyjnej może stanowić dla sportowców formę regeneracji i odpoczynku po treningu.

2. Wibracje zwiększają przepływ krwi poprzez spadek obwodowego oporu naczyniowego wynikający ze zwiększenia przepływu krwi przez pracujące mięśnie czynnie zaangażowane w amortyzację drgań.

3. Wibracje o częstotliwości 3.5 Hz powodują zwiększenie wydatku energetycznego, co przejawia się wzrostem temperatury oraz zmniejszeniem wagi ciała i zawartości tkanki tłuszczowej.

LITERATURA

- [1] Engel Z.: Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem, PWN, Warszawa, 2001, s.4-9.
- [2] Jurczak M.E.: Wpływ wibracji na ustrój. PZWL, Warszawa, 1974, s. 11-17, 41-68.
- [3] Cardinale M., Wakeling J.: Whole body vibration exercise: are vibrations good for you. *British Journal of Sports Medicine*, vol. 39(9), 2005, p.585-589
- [4] Delecluse C., Roelants M., Verschueren S.: Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 35, 2003, p. 1033-1041.
- [5] Halota B.: Podstawy treningu wibracyjnego: Uniwersytet Trzeciego Wieku sprzymierzeńcem integracji społecznej w Europie, Kraków, 2008.
- [6] Issurin V.B., Tenenbaum G.: Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes, *Journal of Sports Sciences*, vol. 17, 1999, p. 177-182.
- [7] Uchryński A.: Badania wpływu drgań ogólnych niskiej częstotliwości na wybrane parametry funkcjonalne organizmu człowieka. Rozprawa doktorska AGH-Kraków 2010, s.7-26.
- [8] Rittweger J.: Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be, *European Journal of Applied Physiology*, vol. 108(5), 2010, p. 877-904.
- [9] Torvinen S., Kannus P., Sievanen H. i wsp.: Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study, *Clinical Physiology & Functional Imaging*, vol. 22(2), 2002, p. 145-152.
- [10] Cardinale M., Rittweger J.: Vibration exercise makes your muscles and bones stronger fact or fiction? *The journal of the British Menopause Society*, vol. 12(1), 2006, p. 12-8.
- [11] Jacobs P.L., Burns P.: Acute enhancement of lower-extremity dynamic strength flexibility with whole-body vibration. *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 2(1), 2009, p. 51-57.
- [12] Kozłowski S., Nazar K.: Wprowadzenie do fizjologii klinicznej, wyd. PZWL, Warszawa, 1999.
- [13] Sanudo B., Cesar-Castillo M., Tejero S. i wsp.: Cardiac autonomic response during recovery from a maximal exercise using whole body vibration. *Complement Therapies in Medicine*, vol. 21(4), 2013, p. 294-9.
- [14] Czarkowska-Pączek B., Przybylski J.: Zarys fizjologii wysiłku fizycznego. Elsevier Urban & Partner. Wrocław, 2010.
- [15] Hsiu H., Jan M.Y, Wang WK, Wang YY: Effects of whole-body mechanical stimulation At double the heart rate on the blood pressure waveform in rats. *Physiological Measurement*, vol. 27(2), 2006, p. 131-44.
- [16] Ganong W.F.: Fizjologia. Wyd. PZWL, Warszawa, 2007.

THE EFFECT OF LOW FREQUENCY VIBRATION ON SELECTED PHYSIOLOGICAL PARAMETERS IN ATHLETES

Abstract: The study is focused on the effect of a short-term general 3.5 Hz frequency vibration on physiological parameters in athletes. The study used a vibration platform designed for the requirements of the experiment, generating harmonic vibration with the frequency of a human run-3.5 Hz, and the amplitude increased from 4 to 5 millimeters. The study assumed that free standing on the platform with no other physical exercises is an exercise for the human organism and that a vibration platform is a device that reproduces mechanical stimuli associated with running or a vigorous march.