

# Trening wibracyjny w rehabilitacji kardiologicznej

## Vibration training in cardiologic rehabilitation

Zbigniew Damijan

Katedra Mechaniki i Wibroakustyki, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. +48 (0) 12 617 31 12, e-mail: damijan@imir.agh.edu.pl

### Streszczenie

Celem pracy była analiza możliwości zastosowania treningu wibracyjnego o częstotliwości drgań 3,5 Hz i amplitudach w wysokości 4,0, 4,5, 5,0, 5,5 mm, zmienianych w kolejnych tygodniach o 0,5 mm – w rehabilitacji kardiologicznej. W badaniu uczestniczyły 24 osoby w wieku od 20 do 36 lat, które poddano 20-minutowej ekspozycji na drgania przez 19 kolejnych dni roboczych (tzw. trening wibracyjny). Mierzono ciśnienie skurczowe (CS), rozkurczowe (CR) tętno (Tętno), temperaturę w kanale usznym (Temp), masę ciała (MC) i tkankę tłuszczową (TT), cholesterol całkowity (Chol), cholesterol HDL (HDL).

W badaniach sprawności fizycznej zastosowano test szybkości biegowej i zwinności (bieg po kopercie – ozn. Koperta), badanie równowagi ogólnej (postawa równoważna na jednej nodze – ozn. Równowaga), ocenę szybkość ruchów ręki (Tajping), badano siłę eksplozywną (skok w dal z miejsca obunóż – ozn. Skok), siłę statyczną ręki (Dynamometr) oraz test gibkości (skłon dosiężny w przód – ozn. Skłon).

Na podstawie przeprowadzonych badań i wykonanych analiz wykazano istotny statystycznie spadek: ciśnienia skurczowego [mm Hg] ( $p = 0,000$ ) u 96% badanych, tętna [1/s] ( $p = 0,000$ ) u 92% badanych, tkanki tłuszczowej [%] ( $p = 0,002$ ) u 76 % badanych, masy ciała [kg] ( $p = 0,000$ ) u wszystkich osób, cholesterolu całkowitego [mmol/l] ( $p = 0,044$ ) u 76% próby, wzrost równowagi ogólnej [1/min] (ilość prób) ( $p = 0,001$  u 71%) badanych oraz tajpingu [s] z  $p = 0,000$  u 96% osób. Ponadto stwierdzono istotny statystycznie wzrost: temperatury [°C] ( $p = 0,000$ ) u 88% badanych oraz cholesterolu HDL [mmol/l] ( $p = 0,038$ ) u 76% badanych.

W badaniach sprawności fizycznej wykazano istotny statystycznie spadek wskaźnika Równowaga [1/min] (ilość prób) ( $p = 0,000$ ) u 71% badanych oraz wskaźnika Tajping [s] ( $p = 0,000$ ) u 96% badanych.

Uzyskane wyniki świadczą o pozytywnym wpływie niskoczęstotliwościowego treningu wibracyjnego na nadciśnienie, otyłość, zagrożenie miażdżycą oraz sprawność fizyczną. Otrzymane rezultaty wskazują, że trening wibracyjny może być stosowany w rehabilitacji kardiologicznej.

**Słowa kluczowe:** rehabilitacja kardiologiczna, trening wibracyjny

### Abstract

The aim of this work was the analysis of the vibration training in cardiologic rehabilitation with the frequency of 3.5 Hz and amplitudes 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 mm, modified within consecutive weeks of the training by 0.5 mm. 24 people aged from 20 to 36 took part in the study. They were subjected to 20-minute vibrations, within 19

consecutive working days. To evaluate the possibility of application of vibrations in cardiologic rehabilitation the following parameters were taken into consideration: systolic pressure (SC), diastolic pressure (CR), pulse (Tętno), temperature in the ear canal (Temp), body weight (MC) and body fat (TT), total cholesterol (Chol) and cholesterol HDL (HDL).

The following tests were applied: high speed running test, the test of dexterity (running on an envelope, named as "Koperta"), as well as general balance (one leg balance, named as "Równowaga"), the speed of hand movements (Tajping), explosive power (standing long jump, named as "Skok"), hand static power (Dynamometer) and the test of flexibility (attainable bend forward, named as „Bend”).

On the basis of the conducted tests and analysis, the statistically significant decrease of systolic pressure [mm Hg]  $p = 0,000$  at 96% of examined persons, pulse [1/s]  $p = 0,000$  at 92%, adipose tissue [%]  $p = 0,002$  at 76%, body weight [kg]  $p = 0,000$  at 100%, total cholesterol [mmol/l]  $p = 0,044$  at 76%, general balance [1/min] (the number of trials) with  $p = 0,001$  at 71% of examined persons and Tajping [s]  $p = 0,000$  at 96% of the examined persons revealed. The statistically significant increase of temperature [°C]  $p = 0,000$  at 88% and the cholesterol HDL [mmol/l]  $p = 0,038$  at 76% were stated.

The physical fitness tests revealed the statistically significant decrease of the "Balance" indicator [1/min] (number of trails) with  $p = 0,000$  at value of 71%, and the decrease of Tajping [s] z  $p = 0,000$  at 96%. The obtained results proved the positive influence of low-frequency vibration training on high blood pressure, obesity, arteriosclerosis, and physical fitness. The mentioned results show that vibration training can be applied in cardiologic rehabilitation.

**Key words:** cardiologic rehabilitation, vibration training

### Wprowadzenie

Choroby układu krążenia są głównym zagrożeniem zdrowia Polaków i najczęstszą przyczyną umieralności [1]. Dane z 2001 roku, opublikowane przez Europejskie Biuro Regionalne Światowej Organizacji Zdrowia wskazują, że poziom przedwczesnej umieralności z powodu chorób układu krążenia w Polsce jest około dwóch i pół raza wyższy niż w krajach Unii Europejskiej [2]. Liczba Polaków z rozpoznaną chorobą wieńcową jest szacowana na 1,5 do 2,5 miliona. Aktualne trendy epidemiologiczne w kraju wskazują na obniżenie granicy wieku wystąpienia pierwszego objawu choroby wieńcowej, np. bólu wieńcowego lub pierwszego ostrego zespołu wieńcowego. Choroba dotyka najczęściej osoby w średnim wieku, czynne zawodowo. Zwiększa to liczbę chorych wyłączonych z aktywnego życia rodzinnego i zawodowego. Realną szansę na przywrócenie sprawności psychofizycznej stwarza kompleksowa rehabilitacja kardiologiczna.

Drgania niskoczęstotliwościowe kojarzone są z negatywnym oddziaływaniem na organizm człowieka [3]. Bodziec uważany do tej pory za szkodliwy w długotrwałej ekspozycji zawodowej, zastosowany leczniczo w niewielkich, krótkotrwałych, powtarzalnych dawkach stymuluje, wzmacnia układ kostno-mięśniowy, zwiększa poziom testosteronu, hormonu wzrostu w surowicy krwi, przeciwdziałając sarkopenii i osteoporozie [4,5]. Wielu badaczy wskazuje na pobudzający wpływ wibracji na układ krążenia [6-9]. W rehabilitacji kardiologicznej od wielu lat stosuje się trening oporowy [10]. Część pacjentów z powodu znacznej otyłości, niskiej wydolności fizycznej bądź innych ograniczających schorzeń towarzyszących nie toleruje tego typu treningu [11]. Stąd też wynika konieczność wprowadzenia nowych form rehabilitacji. Analiza danych literaturowych pozwala na wnioskowanie, że drgania ogólne niskoczęstotliwościowe są ekwiwalentem wysiłku fizycznego pozbawionym niedogodności związanych z przeciążeniem narządu ruchu oraz krążenia. Rytmiczny skurcz i rozkurcz mięśni szkieletowych wymuszony przez urządzenie aplikujące drgania wywołuje reakcję całego narządu ruchu i powoduje uruchomienie korzystnych mechanizmów neurohumoralnych.

Udowodniono, że kompleksowa rehabilitacja kardiologiczna może zmniejszyć umieralność z przyczyn sercowo-naczyniowych i ogólną o około 20-25% oraz liczbę nagłych zgonów w czasie pierwszego roku po przebytych zawale mięśnia sercowego o około 35% [12].

Wielu badaczy informuje o pobudzającym wpływie wibracji na układ krążenia: naczynia krwionośne rozszerzają się, zwiększa się krążenie krwi, mięśnie zostają lepiej zaopatrzone w tlen i inne składniki odżywcze [6-8]. Takie zmiany pozwalają na zastosowanie treningu wibracyjnego u ludzi m.in. z zaburzeniami krążenia obwodowego oraz w leczeniu obrzęków.

Zastosowanie wibracji powoduje wzrost poboru tlenu. 3-minutowa aplikacja wibracji o częstotliwości 26 Hz i amplitudzie drgań 6 mm zwiększa pobór tlenu średnio o 4,5 ml/kg/min [8].

Rittweger badał zmiany częstości skurczów serca, ciśnienia tętniczego krwi, poboru tlenu, przepływu krwi w naczyniach krwionośnych stóp i łydek oraz odczucia ciężkości wysiłku po aplikacji wibracji [7]. Autor wskazuje, że aplikacja wibracji o częstotliwości 26 Hz i amplitudzie drgań 1,05 mm u 27 osób, które z dodatkowym obciążeniem na nadgarstkach (35-40% masy ciała) wykonywały przysiady aż do odczucia wyczerpania, spowodowała wzrost częstości skurczów serca z 98 do 128, poboru tlenu z 7,3 ml/kg/min do 21,3 ml/kg/min i zmianę ciśnienia tętniczego krwi z 114/68 do 132/52. Badanie dopplerowskie wykazało, że wibracje zwiększają prędkość przepływu krwi. Stwierdzono także intensywne przekrwienie kończyn dolnych po wibracjach.

O podobnych zmianach w obrębie kończyn dolnych donoszą też Kersch-Schindl i wsp. [9]. 9-minutowe wibracje o częstotliwości 26 Hz i amplitudzie ruchu 3 mm zwiększyły prędkość przepływu krwi w tętnicy podkolanowej z 6,5 cm/s do 13,0 cm/s. Nie odnotowano natomiast znaczących zmian tętna i ciśnienia tętniczego krwi.

Wśród dostępnych w bazie MEDLINE wyników badań nie znaleziono randomizowanych i kontrolowanych prac poświęconych zastosowaniu drgań ogólnych niskiej częstotliwości w rehabilitacji kardiologicznej, a opracowania badań podstawowych na ten temat pochodzą z lat 60. ub. wieku [13, 14].

Przeprowadzone badania własne [15-17] wykazują, że drgania ogólne niskiej częstotliwości zwiększają przekrwienie i metabolizm mięśni. Wzrasta podstawowa przemiana materii oraz ciepota ciała. Fala harmoniczna działająca wzdłuż osi długiej kości poprzez efekt piezoelektryczny przeciwdziała odwapnieniu. Kompresja i dekompresja stawów wymusza krążenie płynu stawowego i poprawia odżywienie chrząstek stawowych. Zabieg jest dobrze tolerowany i wywołuje pozytywne odczucia psychiczne. Badania własne wskazują, że tak łagodny bodziec jest treningiem fizycznym, powodującym korzystne zmiany fizjologiczne (m.in. spadek ciśnienia, redukcja masy ciała i tkanki tłuszczowej, obniżenie cholesterolu całkowitego). Biernie izometryczne ćwiczenia na platformie wibracyjnej prawdopodobnie mogą wzbogacić stosowany w rehabilitacji kardiologicznej trening fizyczny.

## Materiał i metoda

W badaniach uczestniczyło 24 studentów AGH. Badanie zrealizowano zgodnie z kryteriami oceny wiarygodności randomizowanych badań klinicznych (skala ocen Jadada, skala oksfordzka). Charakterystykę próby przedstawiono w tabeli 1.

Celem badań była analiza możliwości zastosowania treningu wibracyjnego o częstotliwości drgań 3,5 Hz i amplitudach w wysokości 4,0, 4,5, 5,0, i 5,5 mm, zmienianych w kolejnych tygodniach o 0,5 mm – w rehabilitacji kardiologicznej.

Uczestników eksperymentu poddano 20-minutowej ekspozycji na drgania przez 19 kolejnych dni roboczych. Badani stali na platformach wibracyjnych swobodnie, bez obuwia, każda osoba była trenowana o stałej porze dnia.

Na przeprowadzenie badania uzyskano zgodę Komisji Bioetyki Akademii Medycznej w Łodzi. Stosowany bodziec był bezpieczny (wg PN, EN i ISO). Badani byli objęci systemem ubezpieczeniowym.

Przesłanki, które skłoniły autora i zespół badawczy do podjęcia przedstawionych badań, wyszczególniono poniżej:

- Ruch pobudza wzrost mięśni, a także wzmacnia system odpornościowego. Istota działania wibracji ogólnej na organizm polega na przywracaniu stanu równowagi zaburzonych procesów energetycznych i regeneracji w niektórych stanach organizmu m. in. w rehabilitacji złamań kości, zaburzeniach gojenia się ran, w chorobach układu krążenia oraz niektórych zaburzeniach psychosomatycznych.
- Drgania mogą poprawiać przepływ krwi, ciśnienie parcjalne tlenu, wysycenie hemoglobiny tlenem i wykorzystanie tlenu przez tkanki. Działania te mogą wynikać m.in. z: rozszerzenia naczyń krwionośnych, poprawy przepływu krwi (szczególnie w zakresie mikrokrążenia), poprawy właściwości hydrodyna-

Tabela 1 Charakterystyka próby

OSOBY ZDROWE – STUDENCI AGH							
Cecha	Zakres		Średnia	Mediana	SD**	95% CI**	
	min.	maks.					
Wiek [lata]	20,00	36,00	22,95	22,00	3,18	21,60	24,31
Wzrost [m]	1,58	2,03	1,80	1,80	0,10	1,76	1,84
Masa [kg]	51,00	95,00	77,83	83,00	11,93	73,06	82,61
BMI [-]	18,93	31,02	23,97	23,55	3,00	22,77	25,17

SD – odchylenie standardowe (standard deviation); 95% CI – 95% przedział ufności (confidence interna)

micznych krwi (w efekcie zmniejszenie ryzyka zakrzepowego). Poprzez zmianę tych parametrów może dochodzić do normalizacji potencjału błonowego na powierzchni komórki, wzrostu przemiany materii, usprawnienia i wzmocnienia sił obronnych organizmu. Za pośrednictwem różnorodnych mechanizmów sterujących może dochodzić do nasilenia syntezy białek, ułatwienia wydalania produktów przemiany materii oraz stymulacji układu odpornościowego.

- W rehabilitacji kardiologicznej od wielu lat stosuje się trening oporowy. Większość chorych po przezwyciężeniu psychologicznych i fizjologicznych następstw dotychczasowego siedzącego trybu życia chętnie trenuje, osiągając dobre wyniki. Jest jednak część pacjentów, którzy z powodu lęku przed nawrotem choroby, znacznej otyłości, niskiej wydolności fizycznej oraz układu krążenia bądź innych ograniczających schorzeń towarzyszących, nie tolerują treningu oporowego. Istnieją przesłanki, by przypuszczać, że oddziaływanie drgań ogólnych niskiej częstotliwości jest ekwiwalentem wysiłku fizycznego pozbawionym niedogodności związanych z przeciążeniem narządu ruchu, a w konsekwencji krążenia. Rytmiczny skurcz i rozkurcz mięśni szkieletowych, wymuszony przez urządzenie aplikujące drgania, wywołuje adaptację całego narządu ruchu i powoduje uruchomienie korzystnych mechanizmów neurohumoralnych.

W badaniach postawiono następującą tezę badawczą: drgania ogólne niskiej częstotliwości są substytutem treningu fizycznego i mogą być stosowane w rehabilitacji kardiologicznej. W celu weryfikacji postawionej hipotezy zadano następujące pytania:

- czy zastosowanie drgań powoduje poprawę parametrów hemodynamicznych,
- czy występuje zwolnienie rytmu serca i korzystne zmiany HRV (*heart rate variability*),
- czy występują inne korzystne zmiany jak:
  - obniżenie ciśnienia,
  - redukcja otyłości trzewnej,
  - korzystne zmiany gospodarki lipidowej,
  - korzystny wpływ na hemostazę,
  - korzystna modyfikacja równowagi współczulno-przywspółczulnej,
  - poprawa wydolności narządu ruchu,
  - wzrost wydolności fizycznej.

W celu dokonania oceny wpływu drgań niskiej częstotliwości na organizm człowieka wykonane zostały badania wybranych parametrów fizjologicznych, takich jak: ciśnienie skurczowe (CS), rozkurczowe (CR) tętno (Tętno); temperatura ciała w kanale usznym (Temp); masa ciała (MC) i zawartość tkanki tłuszczowej (TT); parametry biochemiczne: profil lipidowy, cholesterol całkowity (Chol), cholesterol HDL (HDL, trójglicerydy (TG)), wybrane hormony, rozkład temperatur na ciele człowieka (termowizja). Przeprowadzono ciągły monitoring EKG (holter), badania densytometryczne oraz psychologiczne (m.in. test Thayera). W badaniach sprawności fizycznej zaproponowano test szybkości biegowej i zwinności (bieg po kopercie – ozn. Koperta), równowagę ogólną (postawa równoważna na

jednej nodze – ozn. Równowaga), szybkość ruchów ręki (ozn. Taping), siłę eksplozywną (skok w dal z miejsca obunóż – ozn. Skok), siłę statyczną ręki (ozn. Dynamometr) oraz test gibkości (skłon dosiężny w przód – ozn. Skłon),

W pracy przedstawiono wpływ drgań na wybrane parametry fizjologiczne, profil lipidowy surowicy krwi oraz sprawność fizyczną. Pozostałe wyniki otrzymane w tych badaniach zostaną zaprezentowane w późniejszych doniesieniach.

Podczas przeprowadzonych badań eksperymentalnych codziennie mierzono sześć parametrów fizjologicznych. Pomiary te wykonywano dwukrotnie – przed rozpoczęciem treningu i po jego zakończeniu. Badania biochemiczne zostały wykonane w Pracowni Analityki Medycznej w Zespole Opieki Zdrowotnej dla Szkół Wyższych w Krakowie.

Pomiar ciśnienia krwi (fot. 1) był wykonywany w pozycji siedzącej, po co najmniej 3-minutowym odpoczynku. Ramię i ręka, na których dokonywany był pomiar, były wolne od uciskających ubrań (koszul, swetrów itp.), swobodnie oparte o podłoże. Mankiet do pomiaru ciśnienia tętniczego krwi znajdował się na wysokości serca, powyżej stawu łokciowego. Do pomiaru temperatury ciała w kanale usznym zastosowano termometr elektroniczny Gentle Temp 510 (rys. 2).

Do pomiaru masy oraz zawartości tkanki tłuszczowej w organizmie zastosowano urządzenie firmy TANITA (fot. 3). Służy ono do pomiaru masy ciała oraz procentowej zawartości tkanki tłuszczowej w ustroju. Urządzenie wykorzystuje technikę BIA (*Bioelectrical Impedance Analysis*), polegającą na wyznaczaniu impedancji elektrycznej. Zawartość tkanki tłuszczowej wyznaczana jest na podstawie danych o wysokości ciała, płci i wieku.

Otyłość, której istotą jest nadmiar tkanki tłuszczowej, wiąże się z nadciśnieniem, chorobami serca, cukrzycą itp. Zawartość tkanki tłuszczowej, która przekroczy 30% u mężczyzn i 35% u kobiet, świadczy o otyłości. Również zbyt niski poziom tłuszczu nie jest wbrew potocznym sądom korzystny dla ustroju. Tkanka tłuszczowa odgrywa ważną rolę: chroni organy wewnętrzne, pomaga w regulacji ciepłoty ciała, stanowi materiał energetyczny.

## Wyniki

Analizę statystyczną przeprowadzono w środowisku STATISTICA, wersja 7.1 firmy StatSoft, licencja dla Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W analizach przyjęto poziom istotności  $p = 0,05$  (wartość standardowa przyjmowana w naukach biologicznych). Rodzaj rozkładu badano testami Kołmogorowa-Smirnowa z poprawką Lillieforsa oraz W. Shapiro-Wilka (standardowe testy badania rozkładu normalnego). Gdy analizowana zmienna miała rozkład normalny, w analizach wewnątrzgrupowych prawdopodobieństwo testowe istotności różnic wyznaczono testem



Fot. 1 Pomiar ciśnienia ciśnieniomierzem Microlife BP 3BA0



Fot. 3. Urządzenie do pomiaru masy ciała oraz zawartości tkanki tłuszczowej

t dla grup zależnych. W analizach między grupami stosowano test t dla dwóch grup niezależnych. W przypadku gdy analizowane zmienne nie miały rozkładu normalnego, stosowano test Wilcoxon, Browna-Forsythe'a lub Manna-Whitneya. Hipoteza zerowa dla każdej zmiennej brzmiała następująco: drgania niskiej częstotliwości nie powodują zmian analizowanej zmiennej. Istotne statystycznie wyniki zostały przedstawione w tabeli 2.

## Wnioski i dyskusja

Na podstawie przeprowadzonych analiz można wysunąć następujące wnioski:

- **wzrost poniższych wartości zmiennych zależnych jest istotny statystycznie:**
  - temperatura [°C] z  $35,7 \pm 0,3$  do  $35,9 \pm 0,4$  z  $p = 0,000$  u 88% próby,
  - cholesterol HDL [mmol/l] z  $1,26 \pm 0,30$  do  $1,33 \pm 0,27$  z  $p = 0,038$  u 76% badanych,

- **spadek poniższych wartości zmiennych zależnych jest istotny statystycznie:**

- ciśnienie skurczowe [mm Hg] z  $124,82 \pm 10,54$  do  $120,82 \pm 11,07$  z  $p = 0,000$  u 96% badanych,
- tętno [1/s] z  $72,75 \pm 7,37$  do  $68,99 \pm 6,12$  z  $p = 0,000$  u 92% badanych,
- tkanka tłuszczowa [%] z  $20,6 \pm 5,97$  do  $20,5 \pm 5,96$  z  $p = 0,002$  u 76% badanych,
- masa ciała [kg] z  $79,18 \pm 10,73$  do  $79,11 \pm 10,71$  z  $p = 0,000$  u 100%,
- cholesterol całkowity [mmol/l] z  $4,53 \pm 0,75$  do  $4,30 \pm 0,66$  z  $p = 0,044$  u 76% badanych,
- równowaga [1/min] (ilość prób) z  $7,04 \pm 2,68$  do  $4,96 \pm 3,38$  z  $p = 0,001$  u 71% badanych,
- tajping [s] z  $11,33 \pm 1,22$  do  $9,81 \pm 1,01$  z  $p = 0,000$  u 96% badanych,
- **nieistotny statystycznie** (ale ze znaczną frakcją zmian) jest wzrost długości skoku [cm] u 67% próby,

Tabela 2 Analiza zmian parametrów fizjologicznych, profilu lipidowego krwi oraz sprawności fizycznej

Zmienna zależna	Średnia	SD±	Różnica	-95% CI	+95% CI	p	Frakcja zmian	
CS_p [mmHg]	124,816	10,540	3,992	120,466	129,167	0,000	96%	S
CS_k [mmHg]	120,824	11,072		116,254	125,395			
CR_p [mmHg]	73,467	6,144	0,966	70,931	76,004	0,058	56%	S
CR_k [mmHg]	72,501	6,138		69,967	75,035			
Tętno_p [1/min]	72,753	7,368	3,765	69,711	75,794	0,000	92%	S
Tętno_k [1/min]	68,987	6,119		66,461	71,153			
Temp_p [OC]	35,684	0,333	-0,213	35,547	35,822	0,000	88%	W
Temp_k [OC]	35,897	0,413		35,727	36,068			
Masa_p [kg]	79,183	10,731	0,070	74,753	83,612	0,000	100%	S
Masa_k [kg]	79,113	10,713		74,691	83,535			
TT_p [%]	20,598	5,968	0,097	18,135	23,061	0,002	76%	S
TT_k [%]	20,501	5,961		18,040	22,962			
Chol_p [mmol/l]	4,534	0,750	0,235	4,224	4,843	0,044	76%	S
Chol_k [mmol/l]	4,299	0,664		4,025	4,573			
HDL_p [mmol/l]	1,264	0,303	-0,273	1,139	1,389	0,038	76%	W
HDL_k [mmol/l]	1,327	0,273		1,215	1,440			
TG_p [mmol/l]	1,149	0,607	0,169	0,898	1,399	-	60%	S
TG_k [mmol/l]	0,980	0,287		0,861	1,099			
Koperta_p [s]	25,448	1,043	0,343	24,997	25,899	0,073	61%	S
Koperta_k [s]	25,105	1,104		24,628	25,583			
Skok_p [cm]	227,000	28,742	-3,208	214,863	239,137	-	67%	W
Skok_k [cm]	230,208	29,092		217,924	242,493			
Równ_p [1/min]	7,042	2,678	2,083	5,911	8,173	0,001	71%	S
Równ_k [1/min]	4,958	3,381		3,531	6,386			
Tajping_p [s]	11,333	1,216	1,529	10,820	11,847	0,000	96%	S
Tajping_k [s]	9,805	1,007		9,379	10,230			

SD – odchylenie standardowe (standard deviation); 95% CI – 95% przedział ufności (confidence interval); p – prawdopodobieństwo testowe (p – value), S – spadek wartości, W – wzrost

- **nieistotny statystycznie** (ale ciekawo) jest spadek ciśnienia rozkurczowego [mm Hg] z  $73,47 \pm 6,14$  do  $72,50 \pm 6,14$  z  $p = 0,053$  (?) u 56% próby, triglicerydy [mmol/l] u 60% próby oraz koperta [s] z  $25,45 \pm 1,04$  do  $25,16 \pm 1,11$  z  $p = 0,073$  (?) u 61% badanych.

Cięśnienie skurczowe zależy od rozszerzenia naczyń obwodowych i/lub zmniejszenia ich oporu. Ciśnienie rozkurczowe jest miarą obciążenia serca w rozkurczu. Jego zmniejszenie odbywa się kosztem zmniejszenia napięcia (relaksacji) mięśnia sercowego. W badanej grupie obniżenie obu tych parametrów stanowi adaptację do bodźca i wyraz zwiększenia możliwości efektywnego wzrostu objętości wyrzutowej krwi.

Wysokie tętno jest niezależnym czynnikiem ryzyka nagłego zgonu sercowego. W przyrodzie obserwuje się odwrotnie proporcjonalną korelację pomiędzy częstością uderzeń serca a długością życia.

Reasumując, stwierdzono, że trening wibracyjny wpływa relaksująco na układ sercowo-naczyniowy. Jednakże nie wiadomo, czy poprzez działanie ośrodkowe (układ przywspółczulny) czy obwodowe (receptory ciśnieniowe, objętościowe, przekrwienie mięśni).

Drgania ogólne są amortyzowane przez układ mięśniowy i kostny. Rytmiczny skurcz i rozkurcz mięśni, wpływ na chrząstki stawowe, mikronapężenia beleczek kostnych, kurczenie i rozkurczanie się włókien kolagenowych skóry i powięzi – wszystko to musi powodować powstawanie ciepła.

Można zaryzykować twierdzenie, że dochodzi do zamiany energii kinetycznej na ciepłą poprzez uaktywnienie sił tarcia. W procesie tym uczestniczy w jakiś sposób również tkanka tłuszczowa, o czym świadczy spadek jej zawartości. Należy przypuszczać, że trening wibracyjny uaktywnia silny mechanizm spalania tkanki tłuszczowej o podłożu nerwo-hormonalnym, o czym świadczy m.in. wzrost hormonu wzrostu.

Obniżenie poziomu cholesterolu do wartości fizjologicznych jest korzystne dla organizmu. Obniżenie może być efektem lipolitycznego działania wibracji, zwłaszcza że towarzyszy temu zmniejszenie ilości podskórnej tkanki tłuszczowej. Podobny efekt obserwuje się przy stosowaniu wysiłku fizycznego, co jest podstawą prewencji chorób układu sercowo-naczyniowego. Wzrost cholesterolu HDL jest natomiast korzystny. Nieistotny statystycznie spadek poziomu trójglicerydów u 60% badanych jest pożądanym w aspekcie zapobiegania miażdżycy, gdyż stanowi niezależny czynnik ryzyka.

Uzyskane wyniki świadczą także o pozytywnym wpływie niskoczęstotliwościowego treningu wibracyjnego na równowagę statyczną, koordynację mięśniowo-nerwową, wytrzymałość i zwinność oraz siłę eksplozywną mięśni tonicznych oraz fazowych.

W związku z zachęcającymi wynikami opisanych badań autor proponuje stosowanie niskoczęstotliwościowego treningu wibracyjnego w rehabilitacji kardiologicznej.

Można założyć, że pacjenci z otyłością uniemożliwiającą wykonywanie ćwiczeń odniosą korzyść z zastosowania treningu wibracyjnego niskiej częstotliwości. Pacjenci z niewydolnością krążenia w klasie II/III NYHA (a być może w klasie III) mogą poprawić swoją wydolność fizyczną po kilkunastu 20-minutowych seansach na platformie wibracyjnej. Wyniki badań własnych wykazują, że następuje obniżenie tętna i średniego ciśnienia tętniczego krwi, co może wskazywać na możliwość zastosowania tej formy rehabilitacji u pacjentów z niską rezerwą wieńcową (klasa III CCS). Z powyższych względów, może to być metoda z wyboru u pacjentów z wszczepionym stymulatorem serca, zagrożonych groźną powysiłkową arytmia lub nadmierną reakcją presyjną w ciężkim nadciśnieniu tętniczym [11]. ■

Podziękowania: Badania wykonano w ramach badań własnych nr 10.10.130.631 oraz statutowych nr 11.11.130.119.

## Literatura

1. *The European Health Report*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, WHO Regional Publications, European Series, no. 97, 2002.
2. B. Wojtyniak, P. Goryński, W. Seroka: *Stan zdrowia ludności Polski na podstawie danych o umieralności. Przedwczesna umieralność w Polsce na tle sytuacji w Unii Europejskiej*, [w:] Sytuacja zdrowotna ludności Polski, B. Wojtyniak, P. Goryński (red.), Państwowy Zakład Higieny – Zakład Statystyki Medycznej, Warszawa, 2003, s. 47-55.
3. Z. Engel: *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*, PWN Warszawa, 1993.
4. M. Cardinale, J. Rittweger: *Vibration exercise makes your muscles and bones stronger: fact or fiction?* *Menopause Int.*, vol. 12, 2006, s. 12-18.
5. M. Cardinale, M.H. Pope: *The effects of whole body vibration on humans: dangerous or advantageous?* *Acta Physiol. Hung.*, vol. 90(3), 2003, s. 195-206.
6. J. Rittweger, K. Just, K. Kautzsch, P. Reeg, D. Felsenberg: *Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole-body vibration exercise: a randomized controlled trial*, *Spine*, vol. 27(17), 2002, s. 1829-1834.
7. J. Rittweger, G. Selle, D. Felsenberg: *Acute Physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man*, *Clin. Physiol.*, vol. 20(2), 2000, s. 134-142.
8. J. Rittweger, H. Schiessl, D. Felsenberg: *Oxygen uptake during whole-body vibration exercise: comparison with squatting as a slow voluntary movement*, *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 86, 2001, s. 169-173.
9. K. Kersch-Schindl, S. Grampp, C. Henk i in.: *Whole-body vibration exercise leads to alteration in muscle blood volume*, *Clin. Physiol.*, vol. 21(3), 2006, s. 377-382.
10. D.E. Verrill, P.M. Ribisl: *Resistive exercise training in cardiac rehabilitation*, *Sports Med.*, vol. 21(5), 1996, s. 347-383.
11. S. Rudnicki, P. Dylewicz, A. Jegier, K. Mazurek: *Kompleksowa rehabilitacja kardiologiczna*, Stanowisko Komisji ds. Opracowania Standardów Rehabilitacji Kardiologicznej Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego, <http://www.scr-ustron.com.pl>.
12. *Raport o stanie rehabilitacji kardiologicznej w Polsce na podstawie bazy danych utworzonej w ramach realizacji programu rozwoju rehabilitacji kardiologicznej w Polsce*, Grupa Robocza w dziedzinie Rehabilitacji Kardiologicznej Narodowego Programu Profilaktyki i Leczenia Chorób Układu Sercowo-Naczyniowego POLKARD 2003-2005, Gdańsk, Łódź, Poznań, Tarnowskie Góry, Ustroń, Warszawa, sierpień 2004. (<http://www.mz.gov.pl/wwwmz/x?mr=b3&ms=0&ml=pl&mi=0&mx=0&mt=&my=247&ma=03864>).
13. J.G. Clark, J.D. Williams, W.B. Hood, R.H. Murray: *Initial cardiovascular response to low frequency whole body vibration in humans and animals*, *Aerosp. Med.*, vol. 38(5), 1967, s. 464-467.
14. W.B. Hood, R.H. Murray, C.W. Urschel, J.A. Bowers, J.G. Clark: *Cardiopulmonary effects of whole-body vibration in man*, *J. Appl. Physiol.*, vol. 21(6), 1966, s. 1725-1731.
15. Z. Damijan: *Zmiany wybranych parametrów biochemicznych i fizjologicznych organizmu po ekspozycji drganiami niskoczęstotliwościowymi*, *Diagnostyka*, vol. 33, 2005, s. 29-34.
16. Z. Damijan: *The impact low-frequency vibration „training” on selected physiological parameters of human*, *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 16(3B), 2007, s. 77-81.
17. Z. Damijan: *Wpływ zabiegów sanatoryjnych na poziom serotoniny, hormon wzrostu, spoczynkową czynność serca oraz subiektywną ocenę nastroju*, *Acta Bio-Optica et Informatica Medica – Inżynieria Biomedyczna*, vol. 14, 2008, s. 292-294.
18. A. Romańska: *Wpływ wibracji niskoczęstotliwościowych na dokładność pracy operatora maszyny roboczej, praca doktorska*, AGH, 2001.
19. S. Torvinen, H. Sievänen, T.A. Järvinen, M. Pasanen, S. Kontulainen, P. Kannus: *Effect of 4-mm vertical whole body vibration on muscle performance and body balance a randomized cross-over study*, *Int J Sports Med.*, vol. 23(5), 2002, s. 374-379.
20. J. Wolf: *Gesetz der Transformation der Knochen*, Berlin, Verlag von August Hirschwald, 1892.
21. S. Wolf, P. Augat, K. Eckert-Hubner, A. Laule, G. Krischak, L. Claes: *Effects of high-frequency, low-magnitude mechanical stimulus on bone healing*, *Clinical orthopaedics and related research*, no. 385, 2001, s. 192-198.
22. P. Żukowski: *Hałas i wibracje w aspekcie zdrowia człowieka*, FOSZ, Rzeszów 1996.

otrzymano / received: 26.05.2009 r.  
zaakceptowano / accepted: 12.09.2009 r