

ZMIANY WYBRANYCH PARAMETRÓW BIOCHEMICZNYCH I FIZJOLOGICZNYCH ORGANIZMU PO EKSPOZYCJI DRGANIAMI NISKOCZĘSTOTLIWOŚCIOWYMI

Zbigniew DAMIJAN

Pracownia Akustyki Strukturalnej i Materiałów Inteligentnych,
Laboratorium Akustyki Strukturalnej i Inżynierii Biomedycznej
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30, fax: (012) 423-31-63, email: damijan@imir.agh.edu.pl

Streszczenie

Badania wpływu drgań niskoczęstotliwościowych odbyły się w Instytucie Biofizjologii Człowieka AWF w Krakowie. Eksperyment obejmował dziewiętnaście 20-minutowych ekspozycji drganiami (nazywanych dalej treningami), w kolejnych dniach roboczych o stałej porze dnia dla każdej osoby. W trakcie każdego treningu rejestrowano wytypowane parametry fizjologiczne przed i po treningu, prowadzono stały monitoring pulsu HR i saturacji SpO₂. Przed eksperymentem i po jego zakończeniu przeprowadzono badania biochemiczne.

Słowa kluczowe: drgania niskoczęstotliwościowe, ekspozycja drganiami, parametry biochemiczne i fizjologiczne

CHANGES OF SELECTED BIOCHEMICAL AND FIZJOLOGICAL UNDER LOW FREQUENCY VIBRATION

Summary

The effects of infrasound exposure were investigated at the Institute of Human Bio-physiology of the Academy of Physical Education in Kraków. The research program involved nineteen 20 min vibrations exposure sessions in the subsequent working days, at the same time of day for each participant. During each session selected physiological parameters were registered before and after the exposure, the heart beat rate HR and saturation levels SpO₂ were monitored on the constant basis. The research program was supported by the biochemical analysis before and after the experiments.

Keywords: low frequency vibration, exposure under vibration, biochemical and fizjological parameters

1. WSTĘP

Badania i doniesienia literaturowe wskazują, że 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 własności hydrodynamicznych 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 wydalenia produktów przemiany materii oraz stymulacji układu odpornościowego [1, 3, 7, 11].

Celem pracy były badania i analizy wpływu drgań niskoczęstotliwościowych na wybrane parametry biochemiczne (H⁺ - stężenie molowe jonów wodorowych, pCO₂ - prężność dwutlenku węgla we

krwi, HCO₃⁻ - druga składowa buforu wodorowęglanowego, pO₂ - prężność tlenu we krwi, tCO₂ - saturacja krwi dwutlenkiem węgla, O_{2sat} - saturacja krwi tlenem, NZ - suma stężeń anionów buforowych krwi, hemoglobina - Hb) oraz fizjologiczne (PS- ciśnienie skurczowe PR - ciśnienie rozkurczowe, T - temperatura ciała, PD - pałeczka Ditricha - czas reakcji).

Do wywołania cyklicznych zmian obciążeń kości zaproponowano zastosowanie drgań harmonicznym ogólnym (drgania mechaniczne przenoszone przez korpus człowieka poprzez nogi, miednicę, plecy) o częstotliwości biegu człowieka, jako najbardziej właściwej z fizjologicznego punktu widzenia. Założono, że drgania powinny być bezpieczne i nieuciążliwe.

Oczekiwano, że zmiany wytypowanych parametrów będą większe w warunkach ekspozycji bodźca, niż w sytuacji jego braku [2, 4 - 6, 8 - 10]. Uzasadnione było to założeniem, iż drgania będą stanowiły trening fizyczny dla organizmu człowieka. Ekspozycja drgań powinna wymuszać amortyzację przez układ mięśniowy i kostny, po-

wodować izometryczną pracę mięśni oraz działanie zmiennych sił na układ kostny człowieka.

2. METODOLOGIA BADAŃ

Eksperyment przeprowadzono w Zakładzie Biofizjologii Człowieka Akademii Wychowania Fizycznego w Krakowie. Badania trwały od 14.05.2002 do 7.06.2002, łącznie 25 dni, w czasie których przeprowadzono 19 treningów. Czas wpływu pojedynczego treningu 1800 s brutto, w tym 1200 s ekspozycja drgań. Każda osoba wykonywała trening codziennie (oprócz sobót i niedziel), w ustalonym, stałym dla niej czasie. W ciągu dnia badanych było 13 osób. Każdego dnia badania rozpoczynały się o godzinie 8.00, kończyły o 16.00. W doświadczeniu wykorzystano platformę wibracyjną zaprojektowaną i wykonaną dla potrzeb eksperymentu.

Podstawę stanowiska stanowi stalowa płyta na której zamocowano poręcze, podest wibrujący i układ napędowy. Układ napędowy stanowi silnik BESEL o mocy 0,18 kW sterowany falownikiem Hitachi L100, połączony za pomocą sprzęgła z wałem napędowym i krzywką. Krzywka pozwala na zamianę ruchu obrotowego na posuwisto-zwrotny. Płynna regulacja częstotliwości odbywa się w zakresie 0 - 3,5Hz za pomocą falownika. Poręcze wykonano ze stalowych giętych rur (rysunek 1).

Kwalifikację uczestników (rys.4) przeprowadzono dzień przed rozpoczęciem eksperymentu. Następnego dnia rozpoczęto 19-dniowy trening. Po zakończonych treningach zarezerwowano jeden dzień na przeprowadzenie badań biochemicznych. Plan realizacji badań przedstawiono na rys. 2 i 3.

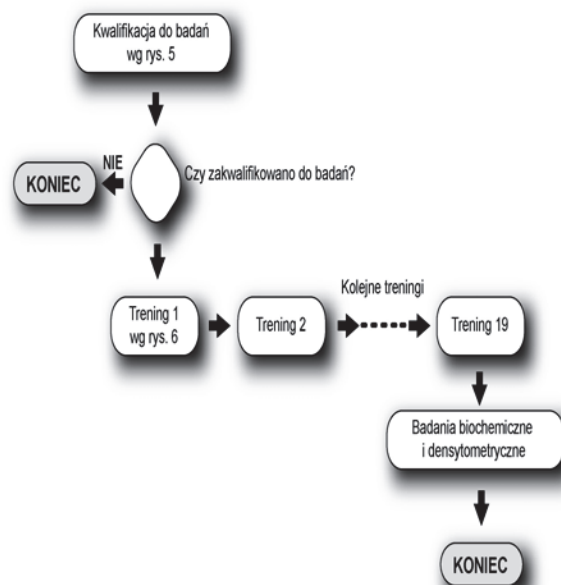
Osoby uczestniczące w badaniach zostały zapoznane z przebiegiem badań i wyraziły zgodę na uczestnictwo w eksperymencie. Po zakwalifikowaniu 13 osób zostały poddane wstępnym badaniom biochemicznym. Algorytm postępowania kwalifikacyjnego pokazano na rysunku 4.

Eksperyment polegał na wykonaniu opracowanych procedur. Obejmował on przygotowanie do treningu, badania właściwe oraz czynności końcowe. Do procedury przygotowawczej przystępowano po przeprowadzeniu wywiadu samopoczucia. Następnie mierzono temperaturę ciała oraz ciśnienie skurczowe i rozkurczowe.

Po wykonaniu testu sprawnościowego Ditricha osoba umieszczana była na platformie. Połączona była z systemem monitorowania akcji serca, pulsoksymetrii i tętna ELMED FX2000. Następnie sprawdzano czy sygnał jest prawidłowy. System sterowany był komputerowo umożliwiając stały monitoring i akwizycję uzyskanych danych.



Rys.1. Platforma wibracyjna

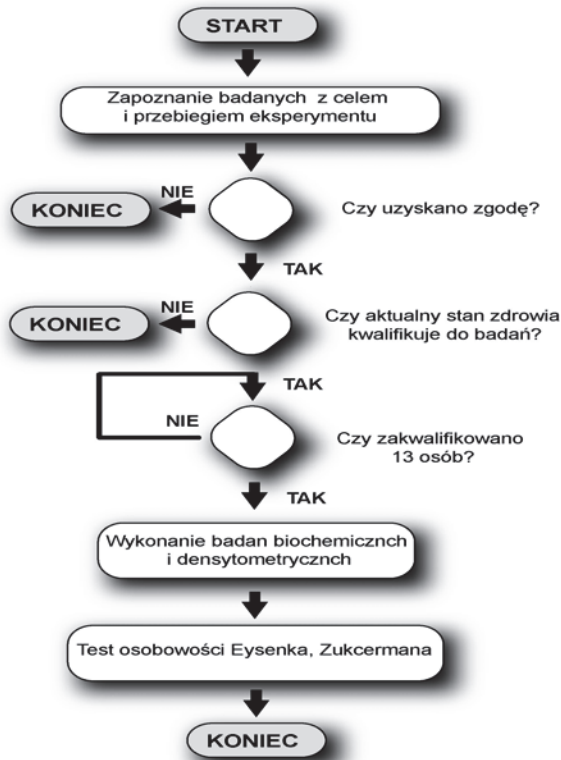


Rys. 2. Algorytm czasowy eksperymentu

Wyniki analiz zmiennych zależnych nie omawiane w niniejszym artykule będą przedstawione w późniejszych publikacjach. Schemat przebiegu treningu przedstawia rys.2.

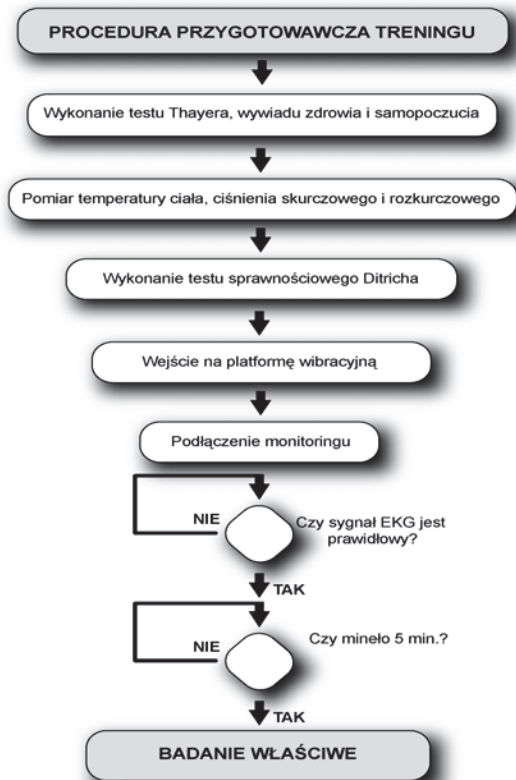


Rys. 3. Algorytm przeprowadzenia treningów



Rys. 4. Algorytm kwalifikacji do eksperymentu

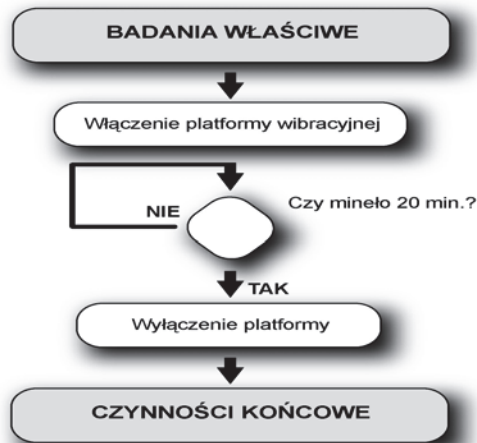
Procedura przygotowawcza treningu wykonywana była w przeciągu pięciu minut i obejmowała: przeprowadzenie wywiadu zdrowia i samopoczucia.



Rys. 5. Procedura przygotowawcza

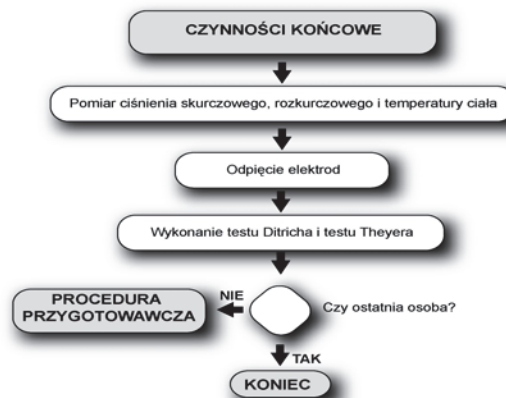
W trakcie przygotowania dokonywano również pomiaru temperatury ciała, ciśnienia skurczowego i rozkurczowego. Osoba badana wykonywała test sprawnościowy Ditricha, po czym wchodziła na platformę wibracyjną. Podpinano elektrody do ciągłej analizy sygnału EKG i saturacji tlenem. Algorytm czynności przygotowawczych przedstawiono na rysunku 5. Po wykonaniu czynności przygotowawczych treningu przechodzono do badań właściwych.

W badaniach właściwych uczestników poddano 20 minutowej ekspozycji drganiami. Osoba badana stała na platformie wibracyjnej bez obuwia, (aby wykluczyć tłumienie podszew obuwia). W sposób ciągły za pomocą kardiomonitora rejestrowano sygnał EKG, tętno i saturację krwi. Po wykonaniu czynności algorytmu badań właściwych wykonywano czynności końcowe. Algorytm badań właściwych przedstawiony został na rysunku 6.



Rys. 6. Algorytm badań właściwych

Czynności procedury końcowej obejmowały pomiar ciśnienia skurczowego, rozkurczowego, temperatury ciała, zdjęcie elektrod oraz wykonanie testu sprawnościowego Ditricha. Algorytm czynności końcowych przedstawiono na rysunku 7. Wykonanie algorytmu kończyło codzienny trening.



Rys. 7. Algorytm czynności końcowych



Rys. 8. Uczestnik eksperymentu w trakcie czynności końcowych

3. BADANIA BIOCHEMICZNE I FIZJOLOGICZNE

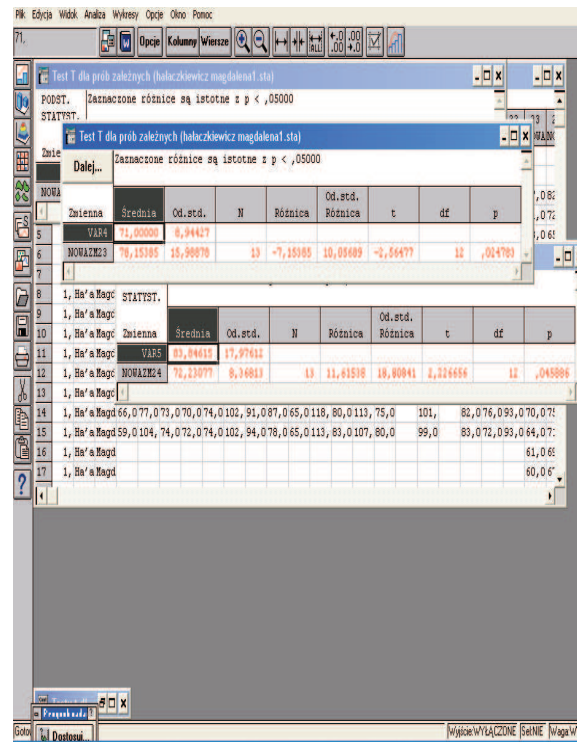
Przed oraz po zakończeniu treningu oznaczano w grupie badanej ciśnienie tętnicze krwi, czas reakcji (test Ditricha) oraz temperaturę ciała. Przed rozpoczęciem oraz po zakończeniu doświadczenia pobrano krew do następujących badań biochemicznych:

- oznaczenia stężenia hemoglobiny metodą Drabkina w krwi arterializowanej. Hemoglobinę badano używając spektrofotometru EPOL 20 z krwi żyłnej pobranej do probówki „na skrzep”;
- oznaczenia parametrów równowagi kwasowo-zasadowej na aparacie Corning 238 w krwi arterializowanej. Oznaczono stężenie molowe jonów H⁺ z dokładnością do 0,1 mmol/l, ciśnienie parcjale dwutlenku węgla pCO₂, tlenu pO₂, zawartość wodorowęglanu HCO₃⁻, niedobór lub nadmiar zasad buforujących NZ oraz całkowity dwutlenek węgla tCO₂. Celem było prześledzenie ewentualnych potreningowych zmian parametrów równowagi kwasowo-zasadowej.

Analiza statystyczna wyników polegała na wykonaniu czynności wg algorytmu wnioskowania statystycznego. Po zbadaniu rozkładu zmiennych zależnych wybrano test statystyczny. Ustalono poziom istotności testu na $\alpha < 0.05$. Na rysunku 9 przedstawiono przykład analizy statystycznej w środowisku Statistica 5.0.

Wyniki analiz statystycznych wpływu drgań nisko częstotliwościowych na wybrane parametry krwi obwodowej przedstawiono w tabeli 1 (równowaga kwasowo-zasadowa), hemoglobiny w tabeli 2. Zmiany wytypowanych parametrów fizjologicznych (ciśnienie skurczowe, rozkurczowe, temperatura, oraz czas reakcji) przedstawiono w tabeli 3,

w tabeli 4 przedstawiono wpływ drgań na saturację tlenem oraz tętno badanych.



Rys. 9. Przykładowa analiza wyników

Tab.1.

Analiza statystyczna zmiennych krwi obwodowej

Frakcja spadku zmiennej	Zmienna	Jed.	Średnia	Od. std.	Różnica	t	p
0,46	H ⁺ - przed	nmol/l	40,1	1,72	-0,046	-0,082	0,9352
	H ⁺ - po		40,1	1,30			
0,92	pCO ₂ - przed	mm Hg	43,0	3,39	3,153	5,588	0,0001
	pCO ₂ - po		39,8	2,67			
0,62	pO ₂ - przed	kPa	68,5	9,67	3,846	1,722	0,1106
	pO ₂ - po		64,6	3,68			
0,85	HCO ₃ ⁻ - przed	nmol/l	26,5	1,56	1,985	5,754	0,0000
	HCO ₃ ⁻ - po		24,5	1,08			
0,85	tCO ₂ - przed	nmol/l	27,8	1,67	2,100	5,835	0,0000
	tCO ₂ - po		25,7	1,15			
0,85	NZ - przed	nmol/l	1,9	1,36	1,931	5,317	0,0001
	NZ - po		0,02	0,95			
0,85	O _{2sat} - przed	%	93,7	2,11	,7769	1,633	0,1283
	O _{2sat} - po		92,9	1,12			

(legenda: H⁺- stężenie molowe jonów wodorowych, pCO₂-prężność dwutlenku węgla we krwi, HCO₃⁻- druga składowa buforu wodorowęglanowego, pO₂- prężność tlenu we krwi, tCO₂- saturacja krwi dwutlenkiem węgla, O_{2sat}- saturacja krwi tlenem, NZ- suma stężeń anionów buforowych krwi, frakcja- wskaźnik struktury zbiorowości. Stanowi ją stosunek liczebności części zbiorowości, która posiada interesującą nas cechę statystyczną, do liczebności całej badanej zbiorowości. Cecha statystyczna to właściwość którą posiadają i którą wyróżniają się jednostki wchodzące w skład zbiorowości statystycznej).

Na podstawie analizy wyników przedstawionych w tabeli 1 można stwierdzić, że ekspozycja drgań niskoczęstotliwościowych na organizm człowieka wywołuje istotnie statystycznie zmiany (na poziomie istotności $p < 0,01$) dla: prężności dwutlenku węgla we krwi (pCO_2), drugiej składowej buforu wodorowęglowego (HCO_3), saturacji krwi dwutlenkiem węgla (tCO_2), oraz sumy stężeń anionów we krwi. Ekspozycja drganiami nie powoduje zmian stężenia molowego jonów wodorowych, prężności dwutlenku węgla we krwi oraz saturacji krwi tlenem. Wyniki analiz statystycznych wpływu ekspozycji drgań niskoczęstotliwościowych na zmiany poziomu hemoglobiny we krwi przedstawiono w tab.2.

Tab.2. Badania istotności zmian poziomu hemoglobiny

Frakcja wzrostu zmiennej	Zmienna	Jedn.	Średnia	Od. std.	Różnica	t	p
0,85	Hb - przed	g/dl	12,6	2,25	-2,900	-4,79	0,0004
	Hb - po		15,5	2,80			

(legenda: Hb- hemoglobina).

Ekspozycja drgań na organizm człowieka powoduje statystycznie istotne wzrost poziomu hemoglobiny na poziomie istotności $p < 0,01$.

Rezultaty badań fizjologicznych przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Badania istotności zmian ciśnienia skurczowego, rozkurczowego, temperatury oraz czasu reakcji

Frakcja spadku zmiennej	Zmienna	Jedn.	Średnia	Trend Zmiany	Od. std.	Różnica	t	p
0,77	PS_PRZED	mmHg	113,8	s	6,53	1,735	2,34	0,037
	PS_PO		112,0		7,18			
0,23	PR_PRZED	mmHg	67,6	w	5,51	-0,635	-0,690	0,503
	PR_PO		68,2		5,79			
0,54	T_PRZED	°C	34,9	w	5,91	-1,63	-0,993	0,340
	T_PO		36,6		0,12			
0,46	PD_PRZED	s	16,3	w	1,79	-0,090	-0,408	0,689
	PD_PO		16,4		1,89			

(legenda: PS-ciśnienie skurczowe, PR- ciśnienie rozkurczowe, T- temperatura ciała, PD- pałeczka Ditricha - czas reakcji).

U 77% badanych można zaobserwować statystyczne istotny spadek ciśnienia skurczowego.

Tabela 4 przedstawia wyniki badań istotności zmian saturacji krwi tlenem oraz tętna.

Tab. 4. Badania istotności zmian saturacji tlenem oraz tętna

Frakcja wzrostu zmiennej	Zmienna	Jedn.	Średnia	Od. std.	Różnica	t	p
0,07	SpO ₂ - przed	%	96,7	0,98	0,095	0,41	0,686
	SpO ₂ - po		96,6	0,39			
0,69	HR - przed	1/s	91,5	9,59	-1,690	-2,39	0,033
	HR - po		93,27	8,64			

(legenda: SpO₂-saturacja tlenem, HR-tętno).

Na podstawie analizy danych można stwierdzić, że ekspozycja drganiami powoduje u 69% badanych istotny statystycznie wzrost tętna.

3. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i wykonanych analiz statystycznych można stwierdzić:

W badaniach krwi obwodowej (równowaga kwasowo-zasadowa) następuje:

- zmniejszenie poziomu dwutlenku węgla pCO_2 z wartości $43,00 \pm 3,391$ do wartości $39,84 \pm 2,672$ mm Hg u 92% badanych,
- spadek poziomu drugiej składowej buforu wodorowęglanowego z wartości $26,51 \pm 1,566$ do $24,53 \pm 1,085$ mmol/l dla 85% badanych,
- obniżenie poziomu sumy stężeń anionów buforowych krwi z $1,95 \pm 1,363$ do $0,02 \pm 0,959$ u 85% badanych,
- spadek poziomu saturacji krwi dwutlenkiem węgla z $27,89 \pm 1,672$ do $25,79 \pm 1,152$ dla 85% badanych.

W badaniach biochemicznych hemoglobiny stwierdzono znaczny wzrost z poziomu $12,66 \pm 2,256$ do $15,56 \pm 2,806$ g/dl u 85% grupy.

Analiza statystyczna badań fizjologicznych wykazuje istotne zmiany:

- spadek ciśnienia skurczowego z wartości $113,81 \pm 6,533$ do $112,07 \pm 7,189$ mm Hg dla 77% badanych,
- dla 69% badanych wystąpił wzrost tętna z wartości $91,58 \pm 9,594$ do $93,27 \pm 8,646$ 1/s.

Przeprowadzone analizy parametrów równowagi kwasowo-zasadowej i kierunki ich zmian świadczą że ekspozycja drgań niskoczęstotliwościowych na organizm człowieka stanowi trening fizyczny.

Wzrost poziomu hemoglobiny u 85% badanych wskazuje, że prawdopodobnym może być stosowanie drgań niskich częstotliwości w rehabilitacji anemii.

Przedstawione badania i analizy statystyczne należy traktować jako pilotażowe które wymagają dalszych systematycznych badań. Badania wykonano w ramach Projektu Badawczego nr 3 T11E 006 26, oraz były częściowo sponsorowane przez Fundację Kościuszkowską, Amerykańskie Centrum na rzecz Kultury Polskiej, z funduszu zapewnionego przez Fundację Alfreda Jurzykowskiego.

LITERATURA:

- [1] Belkin A., Efremov A., Poteriaeva E., Effects of vibration on contents of micronuclein polychromatophilic erythrocytes of the rat bone marrow, PMID: 11530633 [PubMed - indexed for MEDLINE].
- [2] Będziński R., Biomechanika inżynierska, PWN, Warszawa, 2000.
- [3] Chen L., Han Z., Yang X., Experimental study of fracture healing promotion with mechanical vibration in rabbits, PMID: 4564212 [PubMed - indexed for MEDLINE].
- [4] Damijan Z., Rumiński M., Wpływ drgań niskoczęstotliwościowych na parametry wytrzymałościowe kości szczurów, Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej, Z1-M/2004, s. 35-43, 2004.
- [5] Damijan Z., Changes of selected biochemical parameters blood and strength bones of rats under low frequency vibration, Molecular and Quantum Acoustics, Volume 25, Gliwice, s. 69-78, 2004.
- [6] Damijan Z., Kasprzak C., Panuszka R., Influence of low-frequency vibration on changes of biochemical parameters of living rats, The Journal of the Acoustical Society of America, 115, p. 2443, 2004.
- [7] Engel Z., Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. PWN, Warszawa, 1993.
- [8] Pawlikowski M., Niedźwiedzki T., Mineralogia kości, PAN, Kraków 2002
- [9] Wolf J., Gesetz der Transformation der Knochen, Berlin, Verlag von August Hirschwald, 1892.
- [10] Wolf S., Augat P., Eckert-Hubner K., Laule A., Krischak G., Ciaes L., Effects of high-frequency, low-magnitude mechanical stimulus on bone healing, PMID: 11302314 [PubMed - indexed for MEDLINE].
- [11] Żukowski P., Hałas i wibracje w aspekcie zdrowia człowieka. FOSZE, Rzeszów, 1996.



Dr inż. Zbigniew Damijan
ur. 9.06.1957r. W 1982 ukończył WAT, Wydział Cybernetyki. Od 2000 - adiunkt WIMiR AGH. Wykształcenie - mechanik, cybernetyk, elektronik, specjalność automatyzacja systemów kierowania i zarządzania. Zainteresowania naukowe: diagnostyka biomedyczna, cyfrowe przetwarzanie sygnałów, bionika, cybernetyka, psychoakustyka, biometria. Inne zainteresowania: modelarstwo, turystyka, sport.