

Barbara Harazin<sup>1</sup>  
Jarosław Kuprowski<sup>2</sup>  
Agnieszka Harazin-Lechowska<sup>1</sup>

## PORÓWNANIE U KOBIET PROGÓW CZUCIA WIBRACJI WYZNACZONYCH DWIEMA PSYCHOFIZYCZNYMI METODAMI POMIAROWYMI

COMPARISON OF VIBROTACTILE THRESHOLDS IN WOMEN OBTAINED WITH TWO PSYCHOPHYSICAL MEASUREMENT METHODS

<sup>1</sup> Z Zakładu Ochrony Zdrowia w Środowisku Pracy  
Wydziału Zdrowia Publicznego

Śląskiej Akademii Medycznej w Katowicach

<sup>2</sup> Z Centrum Diagnostyczno-Terapeutycznego MEDICUS w Lubinie

### STRESZCZENIE

**Wstęp.** Celem pracy było określenie różnic w wartościach progów czucia wibracji palców rąk wyznaczonych u zdrowych kobiet dwiema psychofizycznymi metodami: metodą zaproponowaną w normie ISO 13091-1 z 2001 r. oraz metodą dotychczas stosowaną w Polsce. **Materiał i metody.** W badaniach brały udział 22 kobiety o średniej wieku  $37,9 \pm 9,7$  lat. Progi czucia wibracji zmierzono dla trzech palców obu rąk, stosując częstotliwości: 4; 25; 31,5; 63; 125; 250; 400 i 500 Hz w metodzie ISO oraz odpowiednio 63; 125; 250; 400 i 500 Hz w metodzie krajowej. **Wyniki.** Średnie poziomy progów czucia wibracji uzyskane metodą ISO były znacznie wyższe w porównaniu do wartości wyznaczanych według obowiązujących krajowych wytycznych. **Wnioski.** Wyniki badań ukazały wpływ osobniczej temperatury skóry palców rąk na poziom progów czucia wibracji wyznaczonego metodą ISO. Med. Pr. 2004; 55 (4): 321–328

**SŁOWA KLUCZOWE:** czucie wibracji palców rąk, kobiety, psychofizyczne metody, temperatura skóry palców rąk

### ABSTRACT

**Background:** The aim of the study was to determine differences between vibrotactile thresholds values in healthy women obtained with two psychophysical methods: the method drafted in ISO standard ISO 13091-1:2001 and the method hitherto used in Poland. **Material and Methods:** Twenty two women (mean age,  $37.9 \pm 9.7$  years) participated in the study. Vibrotactile perception thresholds were measured in three fingers of both hands using the frequencies of: 4; 25; 31.5; 63; 125; 250; 400 and 500 Hz for the ISO method and respectively 63; 125; 250; 400 and 500 Hz for the Polish method. **Results:** The mean vibrotactile perception threshold values determined with ISO 13091-1 method were significantly higher than those determined with the method used in Poland. **Conclusions:** The effect of individual finger skin temperature on vibrotactile perception values was obtained by ISO method. Med Pr 2004; 55 (4): 321–328

**KEY WORDS:** vibrotactile perception in fingers, women, psychophysical methods, finger skin temperature

Adres I autora: Medyków 18, 40-752 Katowice, e-mail: bharazin@slam.katowice.pl

Nadesłano: 11.02.2004

Zatwierdzono: 16.06.2004

© 2004, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi

## WSTĘP

Ocena progów czucia wibracji palców rąk, zwana palestezjometrią, jest jedną z podstawowych metod wczesnego wykrywania obwodowych neuropatii kończyn górnych. Zaburzenia w obwodowym układzie nerwowym manifestują się zmianami podmiotowymi o charakterze drętwień i mrowień. Wyrażają się również upośledzeniem czucia dotyku i manualnej precyzji. Znajomość progowych wartości percepcji drgań służy do ilościowej oceny upośledzenia czucia dotyku bodźców mechanicznych (1,2).

Pogorszenie czucia dotyku może pojawiać się w wyniku niekorzystnego działania czynników endogennych, jak to ma miejsce między innymi w cukrzycy, akromegalii, dystalnej miopatii, stwardnieniu rozsianym i in. (3–6). Może być także wywołane działaniem niesprzyjających, zewnętrznych czynników środowiskowych, spotykanych często w miejscu

pracy. Szkodliwościami zawodowymi są chemiczne czynniki neurotoksyczne, miejscowe drgania i wstrząsy mechaniczne oraz nadmierne mechaniczne obciążenie kończyn górnych (7–11). Palestezjometria jest obligatoryjna w profilaktycznych badaniach wstępnych, okresowych i końcowych pracowników, kierowanych do pracy lub zatrudnionych w narażeniu na drgania mechaniczne, przekazywane na kończyny górne (12).

Stosowane w Polsce wytyczne, określające metodę pomiaru i interpretację wyników pomiaru czucia wibracji palców rąk, opracowane zostały na początku lat 70., na podstawie ówczesnej wiedzy o właściwościach mechanoreceptorów skóry palców rąk (13). Krajowe mierniki czucia wibracji zaprojektowano odpowiednio do przyjętych wytycznych metodycznych (14). Rodzaj parametrów drgań mechanicznych wytwarzanych przez sondy wibracyjne tych mierników oraz sposób podawania i rejestracji progowych wartości czucia wibracji znacznie odbiegają od zaleceń normy ISO 13091-1, opracowanej w 2001 r. przez zespół ekspertów Komitetu

\* Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr KBN 3 P05D 093 22 pt. „Określenie referencyjnych wartości progów czucia wibracji u zdrowych osób dla profilaktyki obwodowych neuropatii pochodzenia zawodowego”. Kierownik projektu: dr hab. med. B. Harazin.

Technicznego TC 108/SC4 Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej ISO przy czynnym uczestnictwie również strony polskiej (15).

Celem pracy było określenie różnic w wartościach progów czucia wibracji palców rąk, wyznaczonych u zdrowych kobiet dwiema psychofizycznymi metodami: metodą zaproponowaną w normie ISO 13091-1 z 2001 r. oraz metodą stosowaną w Polsce od 1973 r. zgodnie z wytycznymi krajowymi.

## MATERIAŁ I METODY

### Badane osoby

W badaniach brały udział nieodpłatnie 22 kobiety, nienarażone na neurotoksyczne substancje ani na drgania mechaniczne na stanowiskach pracy. Badane osoby zostały zakwalifikowane do badań palestezjometrycznych na podstawie wywiadu internistycznego i neurologicznego oraz wybranych badań stanu przedmiotowego kończyn górnych. Reprezentowały one następujące zawody: pracownik naukowy, administracyjny, pielęgniarka, laborantka i pracownik fizyczny. Dane dotyczące wieku badanych, wskaźnika masowego ciała (BMI) oraz temperatury skóry palców rąk zawarto w tabeli 1.

Spośród badanych kobiet 10 osób miało chłodne ręce o temperaturze skóry palców nieprzekraczającej 29°C. W pozostałej grupie, tzn. u 12 osób z ciepłymi rękoma, średnia temperatura skóry palców wynosiła 31,0 ± 1,4°C. Grupy nie różniły się wskaźnikiem BMI, a osoby z obniżoną ciepłotą rąk były średnio starsze tylko o jeden rok.

**Tabela 1.** Charakterystyka badanych osób (n = 22)

**Table 1.** Characteristics of the subjects (n = 22)

Grupa Group	Wartość średnia i odchylenie standardowe Mean value and standard deviation		
	Wiek lata Age yrs	Wskaźnik BMI m/kg <sup>2</sup>	Temperatura skóry palców rąk Finger skin temperature °C
Wszyscy Total	37,9 ± 9,7	24,4 ± 2,9	29,3 ± 2,5
Osoby z zimnymi rękoma (n = 10) Subjects with cold hands (n = 10)	37,4 ± 8,1	24,2 ± 2,3	27,0 ± 1,8
Osoby z ciepłymi rękoma (n = 12) Subjects with warm hands (n = 12)	36,4 ± 11,7	24,1 ± 3,1	31,0 ± 1,4

### Aparatura pomiarowa

#### Układ pomiarowy 1 - UP1

Układ pomiarowy 1 (UP1) składał się z miernika czucia wibracji P8 krajowej firmy EMSON-MAT, skonstruowanego zgodnie z wymogami standardu ISO 13091-1, programu sterującego P8, komputera typu PC IBM i przycisku sygnalizacyjnego pacjenta. Boddźcem wibracyjnym była sonda drgająca, stanowiąca płasko zakończony walec o średnicy 5 mm,

wystająca nad górną powierzchnią obudowy miernika. Badany utrzymywał przedramię na obudowie miernika opierając dłoń na specjalnej podpórce, pozwalającej na kontakt opuszki dystalnego paliczka z sondą wibracyjną (16). Wymagana siła nacisku palca na sondę, wynosząca 0,1N, była kontrolowana przez badanego za pomocą dwóch diod umieszczonych na obudowie miernika. Zadaniem badanego było stosowanie takiego nacisku, by nie świeciła się żadna dioda. Próg czucia wibracji dla danej częstotliwości drgań wyznaczano automatycznie, stosując algorytm Békésy'ego, polegający na podawaniu ciągłego bodźca wibracyjnego o naprzemiennie wzrastającej i zmniejszającej się intensywności. Badany sygnalizował odpowiednio moment pojawiania się (próg wstępujący) lub zaniku (próg zstępujący) czucia wibracji. Program sterujący P8 obliczał średni próg czucia wibracji w dB (re.10<sup>6</sup>ms<sup>-2</sup>) z trzech wartości progu wstępującego i trzech wartości progu zstępującego.

#### Układ pomiarowy 2 - UP2

Układ pomiarowy 2 (UP2) składał się z miernika czucia wibracji MCW 2K, spełniającego wymogi wytycznych krajowych z 1973 r., sondy wibracyjnej z przeciwwagą i przycisku sygnalizacyjnego pacjenta (17,18). Sonda wibracyjna, w formie płasko zakończony walec o średnicy 10 mm, znajdowała się w okrągłym otworze sztywnej przezroczystej płyty ze szczeliną 3 mm między sondą a płytą. Badany opierał palec na sondzie i jej otoczeniu środkową częścią dystalnego paliczka. Stosowana siła nacisku palca, wynosząca 2 N, była kontrolowana przez badanego poprzez obserwację dwóch różnokolorowych ruchomych linii, umieszczonych w pobliżu sondy. Nacisk na sondę z przeciwwagą miał wymaganą wartość, jeżeli linie nachodziły na siebie. Próg czucia wibracji dla danej częstotliwości drgań wyznaczano, stosując metodę wstępującego bodźca, polegającą na ręcznym zwiększaniu intensywności wibracji przez badającego do momentu zasignalizowania odczucia wibracji przez badanego. Średnią

**Tabela 2.** Opis dwóch układów pomiarowych

**Table 2.** Description of the two measuring systems

	Układ UP1 System UP1	Układ UP1 System UP1
Częstotliwość (Hz) Frequency (Hz)	4; 25; 31,5; 63; 125; 250; 400; 500	63; 125; 250; 400; 500
Średnica sondy (mm) Diameter probe (mm)	5	10
Szczelina między sondą a otoczeniem (mm) Probe-surround gap (mm)	brak No surround	3
Siła nacisku na sondę (N) Contact force (N)	0,1	2
Wyzwalanie wibracji Stimulation	automatyczne Automatic	ręczne Manual
Psychofizyczny algorytm wyznaczania progu Psychophysical algorithm Parameter drgań Vibration parameter	metoda Békésy'ego Von Békésy algorithm	metoda wstępująca Ascending threshold
Poziom progu czucia wibracji dB (re 10 <sup>6</sup> ms <sup>-2</sup> ) Vibrotactile threshold level	przyspieszenie Acceleration	prędkość Velocity
		dB (re 5·10 <sup>-8</sup> ms <sup>-1</sup> )

wartość progu czucia wibracji obliczano z trzech odczytów w dB (re:  $5 \cdot 10^{-8} \text{ms}^{-1}$ ) dokonanych z ekranu miernika. Parametry dwóch układów pomiarowych przedstawiono w tabeli 2.

#### Procedura pomiarowa

Właściwy pomiar był poprzedzony ćwiczeniami, których celem było zapoznanie badanych z dwiema metodami wyznaczania progowych wartości czucia wibracji oraz przebiegiem badania.

Progi czucia wibracji określano kolejno dla wskazującego (II), środkowego (III) i serdecznego (IV) palca obu rąk. Najpierw wykonywano pomiary za pomocą układu UP1 dla częstotliwości: 4 Hz, 25 Hz, 31,5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 400 Hz i 500 Hz. Następnie kontynuowano pomiary za pomocą układu UP2 dla częstotliwości: 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 400 Hz i 500 Hz. Zalecane częstotliwości wibracji przez normę ISO 13091-1 znajdują się w przedziale 4–125 Hz. W celu porównania dwóch metod pomiarowych oraz praktycznego wykorzystania uzyskanych zależności między progami czucia wibracji rozszerzono zakres częstotliwości w układzie pomiarowym UP1 do 500 Hz. Miernik czucia wibracji MCW 2K stosowany w układzie UP2 wytwarzał drgania tylko w zakresie 63–500 Hz.

Badane osoby stosowały ochronniki słuchu w celu wyeliminowania zakłóceń w odbiorze bodźca wibracyjnego, powodowanych hałasem generowanym przez mierniki czucia wibracji przy częstotliwościach powyżej 250 Hz.

Przed i po wyznaczeniu progów czucia wibracji mierzo no każdej badanej osobie temperaturę skóry na dystalnych paliczkach palców obu rąk bezdotykowym, elektronicznym termometrem. W pomieszczeniach, w których prowadzono badania, utrzymywano temperaturę powietrza w granicach od 21°C do 25°C.

W celu porównania poziomów progów czucia wibracji w dB, uzyskanych dwiema metodami pomiarowymi, w których stosowano różne parametry ruchu drgającego (przyspieszenie lub prędkość drgań) i odpowiadające im różne wartości odniesienia ( $a_0 = 10^6 \text{ms}^{-2}$  lub  $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ms}^{-1}$ ), przyjęto w niniejszej pracy jeden parametr ruchu, tj. przyspieszenie drgań, obecnie powszechnie stosowany w piśmiennictwie i zalecany w normatywie ISO 13091-1.

#### Analiza statystyczna

Analizę statystyczną danych wykonano z użyciem pakietu statystycznego Statistica 6. Statsoft Polska.

Do oceny istotności różnic między średnimi progami czucia wibracji, wyznaczonymi za pomocą układu pomiarowego UP1 i układu pomiarowego UP2 przy pięciu wspólnych częstotliwościach drgań (63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 400 Hz i 500 Hz), zastosowano test kolejności par Wilcozona i test t Studenta dla prób zależnych. Średnią wartość progów czucia wibracji wyznaczano przy danej częstotliwości, biorąc pod uwagę liczbę sześciu pomiarów wykonanych u każdej osoby i liczbę osób. Siłę zależności między wartościami progów czucia wibracji zmierzonych układem pomiarowym UP1

i układem UP2 określono za pomocą współczynników korelacji liniowej Pearsona oraz współczynników korelacji kolejności (rang) Spearmana. Istotność statystyczną korelacji wyznaczono za pomocą testu istotności t-Studenta.

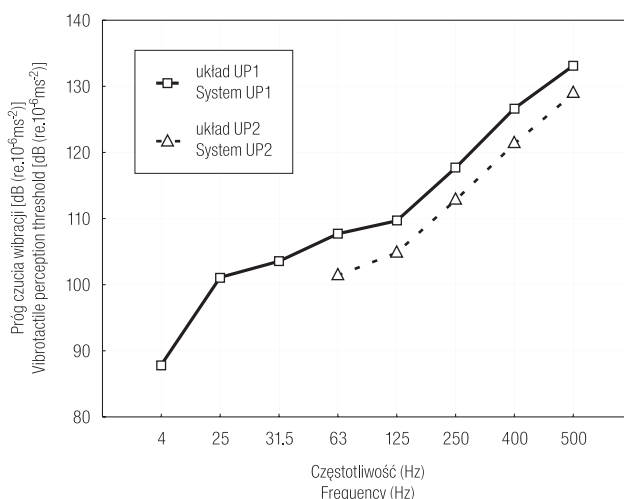
Analizę jednorodności wariancji oraz test nieparametryczny U Manna-Whitneya, dla określenia różnic między dwoma grupami osób o zróżnicowanej temperaturze skóry palców rąk, wykorzystano do oceny wpływu ciepłoty rąk na próg czucia wibracji przy poszczególnych częstotliwościach drgań, stosowanych w układzie pomiarowym UP1 (4 Hz, 25 Hz, 31,5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 400 Hz i 500 Hz) oraz w układzie pomiarowym UP2 (63 Hz, 125 Hz i 250 Hz, 400 Hz i 500 Hz).

#### WYNIKI

Porównanie średnich wartości progów czucia wibracji, uzyskanych za pomocą dwóch układów pomiarowych, zilustrowano na ryc. 1. Poziomy progów czucia wibracji zmierzone układem UP1 były istotnie wyższe w porównaniu do średnich progów wyznaczonych układem UP2 przy wszystkich wspólnych częstotliwościach drgań (tab. 3).

W tabeli 4 przedstawiono związki korelacyjne między wynikami czucia wibracji uzyskanymi dwiema metodami pomiarowymi. W obu przypadkach ujawniono wysoką istotność statystyczną korelacji między dwiema metodami pomiarowymi.

Porównanie progów czucia wibracji między osobami z ciepłymi rękoma i z zimnymi rękoma, zmierzone układem pomiarowym UP1 oraz UP2, przedstawiono odpowiednio w tabelach 5 i 6. Stwierdzono znacznie większe wartości progów czucia wibracji, wyznaczonych układem pomiarowym UP1, u kobiet z chłodnymi rękoma w porównaniu do badanych



**Ryc. 1.** Porównanie średnich poziomów czucia wibracji palców rąk wyznaczone metodą ISO (układ UP1) i metodą według wytycznych krajowych (układ UP2).

**Fig. 1.** Comparison of mean levels of vibrotactile perception thresholds at fingertips obtained with ISO method (system UP1) and with the method used in Poland (system UP2).

**Tabela 3.** Porównanie progów czucia wibracji u kobiet (n = 22 osoby) wyznaczonych za pomocą układu pomiarowego UP1 i układu pomiarowego UP2. Test kolejności par Wilcoxona i test t-Studenta dla prób zależnych

**Table 3.** Comparison of vibrotactile perception thresholds in women (n = 22 subjects) obtained with both systems, UP1 and UP2. Wilcoxon two-sample test and Student's t-test for paired data

Częstotliwość Hz Frequency Hz	Średnie progi czucia wibracji i odchylenia standardowe (dB re.10 <sup>6</sup> ms <sup>2</sup> ) Mean values of vibrotactile perception thresholds and standard deviation (dB re.10 <sup>6</sup> ms <sup>2</sup> )		Test Wilcoxona Wilcoxon test		Test t-Studenta Student's t-test	
	układ UP1 System UP1 n = 132	układ UP2 System UP2 n = 132	Z	p	t	p
	4	87,1 ± 5,1	-	-	-	-
25	101,4 ± 5,6	-	-	-	-	-
31,5	103,5 ± 5,7	-	-	-	-	-
63	107,7 ± 7,7	101,5 ± 5,7	8,10	<0,0001	10,33	<0,0001
125	109,7 ± 8,9	105,0 ± 5,1	5,85	<0,0001	1634	<0,0001
250	117,7 ± 12,7	112,9 ± 5,1	5,14	<0,0001	4,82	<0,0001
400	126,7 ± 13,8	121,3 ± 7,7	4,95	<0,0001	5,07	<0,0001
500	133,1 ± 13,1	129,0 ± 9,4	4,65	<0,0001	4,18	<0,0001

n - liczba palców.  
n - number of fingers.

Z - standaryzowany rozkład normalny.  
Z - standard normal distribution.

t - statystyka Studenta.  
t - Student's t-distribution.

p - poziom istotności.  
p - significance level.

**Tabela 4.** Wyniki analizy korelacyjnej progów czucia wibracji wyznaczonych za pomocą układu UP1 i UP2 (n = 132)

**Table 4.** Results of the correlation analysis of vibration perception thresholds obtained with a systems, UP1 and UP2 (n = 132)

Częstotliwość Hz Frequency Hz	Porównanie metod pomiarowych z zastosowaniem układu UP1 i UP2 Comparison of measurement methods with systems UP1 and UP2			
	współczynnik korelacji liniowej Pearsona Pearson line correlation coefficient		współczynnik korelacji rang Spearmana Spearman rank correlation coefficient	
	r	p	r <sub>s</sub>	p
63	0,50	0,00000	0,44	0,00000
125	0,36	0,00000	0,30	0,00000
250	0,44	0,00000	0,43	0,00000
400	0,49	0,00000	0,52	0,00000
500	0,53	0,00000	0,60	0,00000

Skróty jak w tab. 3

Abbreviations explained as in Table 3.

**Tabela 5.** Porównanie progów czucia wibracji kobiet z chłodnymi (n = 10 osób) i ciepłymi (n = 12 osób) rękoma wyznaczonych za pomocą układu pomiarowego UP1

**Table 5.** Comparison of vibrotactile perception thresholds in women with warm (n = 10 subjects) and with cold hands (n = 12 subjects) obtained with system UP1

Częstotliwość Frequency Hz	Średnie wartości progów czucia wibracji i odchylenia standardowe Mean values of vibrotactile perception thresholds and standard deviation dB re.10 <sup>6</sup> ms <sup>2</sup>		Test jednorodności wariancji Test of homogeneity variances		Test U Manna-Whitneya Mann-Whitney U-test	
	ręce chłodne Cold hands n = 60	ręce ciepłe Warm hands n = 72	F	p	Z	p
	4	87,4 ± 4,6	86,6 ± 4,3	1,122	0,706	0,91
25	101,2 ± 3,8	99,1 ± 5,4	1,969	<b>0,021</b>	2,11	<b>0,035</b>
31,5	104,5 ± 4,0	101,0 ± 5,9	2,247	<b>0,006</b>	3,30	<b>0,001</b>
63	108,0 ± 5,0	105,6 ± 7,5	2,291	<b>0,005</b>	1,87	0,096
125	111,6 ± 7,8	106,1 ± 7,9	1,032	0,904	2,93	<b>0,003</b>
250	121,9 ± 10,9	112,4 ± 9,5	1,321	0,357	3,88	<b>0,0001</b>
400	131,8 ± 12,4	122,2 ± 11,0	1,256	0,450	3,28	<b>0,001</b>
500	138,2 ± 10,2	127,8 ± 12,3	1,443	0,207	3,69	<b>0,0002</b>

n - liczba palców.  
n - number of fingers.

Z - standaryzowany rozkład normalny.  
Z - standard normal distribution.

F - statystyka F Senedecora.  
F - F statistics.

p - poziom istotności.  
p - significance level.

**Tabela 6.** Porównanie progów czucia wibracji kobiet z chłodnymi (n = 10 osób) i ciepłymi (n = 12 osób) rękoma wyznaczonych za pomocą układu pomiarowego UP2

**Table 6.** Comparison of vibrotactile perception thresholds in women with warm (n = 10 subjects) and with cold hands (n = 12 subjects) obtained with system UP2

Częstotliwość Frequency Hz	Średnie wartości progów czucia wibracji i odchylenia standardowe Mean values of vibrotactile perception thresholds and standard deviation dB re.10 <sup>6</sup> ms <sup>2</sup>		Test jednorodności wariancji Test of homogeneity variances		Test U Manna-Whitneya Mann-Whitney U- test	
	ręce chłodne Cold hands n = 60	ręce ciepłe Warm hands n = 72	F	p	Z	p
63	101,1 ± 5,1	101,6 ± 6,8	1,714	0,065	0,04	0,967
125	103,0 ± 3,3	103,4 ± 3,6	1,226	0,481	0,21	0,830
250	112,5 ± 5,4	111,6 ± 4,7	1,326	0,350	0,71	0,480
400	121,2 ± 9,1	122,6 ± 8,4	1,183	0,579	1,20	0,231
500	129,7 ± 10,1	130,8 ± 10,9	1,145	0,636	1,10	0,269

Skróty jak w tabeli 5.  
Abbreviations explained as in Table 5.

**Tabela 7.** Różnice w poziomach progów czucia wibracji, wynikające tylko ze stosowania różnych parametrów ruchu (prędkości lub przyspieszenia) i przyjętych wartości odniesienia

**Table 7.** Differences between vibrotactile perception levels resulting from application of only different vibration parameters (velocity or acceleration) and used reference values

	Częstotliwość Frequency Hz								
	4	25	31,5	63	125	250	400	500	
Różnica w dB między poziomem prędkości L <sub>v</sub> a poziomem przyspieszenia L <sub>a</sub> Difference in dB between velocity level L <sub>v</sub> and acceleration level L <sub>a</sub>	-2	-18	-20	-26	-32	-38	-42	-44	

z chłodnymi rękoma w zakresie wyższych częstotliwości, tj. począwszy od 25 Hz. Nie ujawniono wpływu ciepłoty rąk na czucie wibracji wyznaczone zestawem pomiarowym UP2 w całym zakresie stosowanych częstotliwości.

W tabeli 7 podano obliczone różnice między poziomami progów czucia wibracji wynikające ze stosowania w porównywanych metodach dwóch różnych parametrów ruchu i przyjętych dla nich wartości odniesienia.

**OMÓWIENIE**

Psychofizyczne pomiary czucia wibracji palców rąk stosowane są od dawna w badaniach klinicznych, doświadczalnych i profilaktycznych, jako nieinwazyjne metody ilościowej oceny obwodowego układu nerwowego kończyn górnych.

Wykorzystanie do celów profilaktycznych wyników pomiarów czucia wibracji u pracowników ekspozowanych na szkodliwość zawodowe wymaga ujednoczenia metod pomiarowych, zasad interpretacji i oceny wyników. Zadanie to zostało podjęte w 1995 r. przez ekspertów grupy roboczej WG8 Komitetu Technicznego TC 108/SC4 Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej ISO i zaowocowało opracowaniem normy ISO 13091-1:2001, określającej ilościowy sposób pomiaru progów czucia wibracji palców rąk (15,19).

Biorąc pod uwagę istotną potrzebę weryfikacji krajowych wytycznych w dziedzinie metod diagnostycznych zespołu wibracyjnego skonstruowano krajowy miernik czucia wibracji P8, spełniający wymogi metodyczne normy ISO 13091-1:2001 (16). W konstrukcji tego miernika wykorzystano jedną z dwóch możliwości sposobu kontaktu opuszki palca z sondą wibracyjną, a mianowicie przyjęto wersję sondy wibracyjnej bez otoczenia. Opuszka palca opiera się wyłącznie na powierzchni sondy.

Stosowane w Polsce mierniki czucia wibracji typu MCW, zaprojektowane według wytycznych krajowych z 1973 r. do oceny wyników palestezjometrycznych (17), różnią się parametrem ruchu drgającego, a także odbiegają parametrami technicznymi od wymagań zawartych w normatywie ISO 13091-1:2001 (tab. 2). Progi czucia wibracji wyrażone w dB, bez podania parametru ruchu i wartości odniesienia, mogą różnić się wielokrotnie od wyników uzyskanych miernikami spełniającymi w przybliżeniu wymogi normatywu ISO. Bowiem z samego faktu stosowania różnych parametrów ruchu, tj. prędkości drgań lub przyspieszenia drgań, różnice te mogą osiągać znaczne wartości.

Poziomy prędkości wibracji w dB, określane względem przyjętej w Polsce wartości odniesienia wynoszącej v<sub>0</sub> = 5·10<sup>-8</sup>m/s, są niższe przy danej częstotliwości od poziomów

przyspieszenia wibracji w dB, obliczanych względem przyjętej powszechnie wartości odniesienia  $a_0 = 10^{-6} \text{m/s}^2$ . Różnica między poziomami wibracji wynika z zależności funkcyjnej między amplitudą prędkości „v” i amplitudą przyspieszenia „a” danego sygnału wibracyjnego. Dla drgań sinusoidalnych stosowanych w miernikach czucia wibracji związek między amplitudami tych dwóch parametrów ruchu ma postać:

$$a = 2\pi f \cdot v \quad [1]$$

gdzie:

f - częstotliwość w Hz.

Poziomy prędkości  $L_v$  i poziomy przyspieszeń  $L_a$  wyznacza się względem wyżej podanych wartości odniesienia  $v_0$  i  $a_0$  z następujących zależności:

$$L_v = 20 \log v/v_0 \text{ (dB)} \quad [2]$$

$$L_a = 20 \log a/a_0 \text{ (dB)} \quad [3]$$

Po odpowiednich obliczeniach różnice w dB między poziomem prędkości a poziomem przyspieszenia wynoszą od 2 do 44 dB w zakresie częstotliwości od 4 Hz do 500 Hz (tab. 7).

Średnie różnice w progach czucia wibracji wyznaczone doświadczalnie, a wynikające tylko z zastosowania różnych parametrów technicznych w dwóch porównywanych układach pomiarowych, wynosiły w niniejszych badaniach 5,0 dB, tj. od 4,1 dB przy częstotliwości 500 Hz do 6,2 dB przy częstotliwości 63 Hz (tab. 3, ryc. 1). Średnie różnice w wartościach progowych czucia wibracji zmierzone w innych badaniach u 38 mężczyzn za pomocą tych samych dwóch układów pomiarowych wynosiły 4,4 dB (20). Natomiast Zamysłowska-Szmytke i wsp., stosując podobne dwa układy pomiarowe, uzyskali mniejsze średnie różnice między poziomami progów czucia wibracji wyznaczonych u 9 kobiet i 6 mężczyzn. Różnice te bowiem wynosiły odpowiednio: 0,9 dB przy 125 Hz, 3,6 dB przy 250 Hz oraz 3,1 dB przy 400 Hz (21). Z porównania pomiarów czucia wibracji uzyskanych przez Whitehouse i wsp. wynika, że progi czucia są wyższe w przypadku stosowania sondy z otoczeniem w zakresie częstotliwości 16–31,5 Hz i odpowiednio niższe powyżej częstotliwości 125 Hz w porównaniu do wartości progów czucia zmierzonych z użyciem sondy bez otoczenia (22). Podobne zależności uzyskali Maeda i Griffin (23), porównując progi czucia wibracji u 9 osób, wyznaczone dwoma palestżometrami różniącymi się średnicą sondy wibracyjnej i jej otoczeniem. Autorzy ujawnili średnie różnice między poziomami progów czucia wibracji wynoszące odpowiednio: 4,7 dB przy 63 Hz, 3,5 dB przy 125 Hz i 0,9 dB przy 250 Hz. Maeda i wsp. powtórzyli badania przy częstotliwości 125 Hz z udziałem 9 mężczyzn i 1 kobiety uzyskując średnią różnicę w poziomach progów czucia wibracji wynoszącą 4,3 dB (24). Tak więc wyznaczając na przykład wartości referencyjne progów czucia wibracji należy określić sposób kontaktu opuszki palca z sondą wibracyjną miernika czucia wibracji.

O wartości progowej czucia wibracji może decydować także sposób wyzwalania okołoprogowych intensywności wibracji. Zamysłowska-Szmytke i wsp. wykazali, że stosując

metodę wstępującą uzyskuje się niższe wartości progów czucia wibracji w porównaniu do metody Bekesy’ego, wyznaczone za pomocą miernika czucia wibracji P8 (25). Jednakże, Maeda i Griffin stwierdzili, że jeżeli szybkość zmiany bodźca wibracyjnego nie przekracza 2,5 dB/s, wtedy sposób podawania wibracji nie odgrywa istotnej roli (26).

Wymiary sondy również w istotny sposób wpływają na przebieg krzywej progów czucia wibracji. Dla sondy o średnicy 1 mm wartości progów czucia były mniejsze przy częstotliwości bodźca 8 Hz i 16 Hz oraz odpowiednio większe przy częstotliwościach powyżej 125 Hz w porównaniu do progów czucia wibracji uzyskanych z zastosowaniem sondy o średnicy 6 mm (27).

Współczynniki korelacji między progami czucia wibracji uzyskanymi w niniejszej pracy dwiema metodami pomiarowymi nie przekraczały wartości 0,6. Podobny stopień korelacji między dwiema metodami uzyskała Venemark wraz z wsp. (28) oraz Harazin i wsp. (20).

Praktyczne wykorzystanie uzyskanych wyników pozwala na wstępne wyliczenie poprawki, uwzględniającej łączną różnicę między progami czucia wibracji, tj. różnicę wynikającą z zastosowania odmiennych parametrów ruchu i ze sposobu wyznaczania wartości progowej. Według wytycznych krajowych w ocenie czucia wibracji należy uwzględnić średnią arytmetyczną progów czucia wibracji wyznaczonych dla trzech palców, tj. II, III i IV, jedynie w zakresie 250 Hz, 400 Hz i 500 Hz. Średni próg czucia wibracji przy tych częstotliwościach, wyznaczony sposobem zaproponowanym w normie ISO 13091-1:2001, wynosił w niniejszych badaniach 125,8 dB (re.  $10^{-6} \text{ms}^{-2}$ ), natomiast średni próg czucia wyznaczony u tych samych osób według wytycznych krajowych, opartych na pomiarach prędkości drgań, wynosił odpowiednio 79,7 dB (re.  $5 \cdot 10^{-8} \text{ms}^{-1}$ ). Zatem średnia różnica w poziomach progów czucia wibracji między tymi dwiema metodami wyniosła 46,1 dB. O taki poziom należałoby obniżyć średni próg czucia wibracji kobiet wyznaczony metodą ISO 13091-1:2001, aby sprostać obowiązującym w Polsce wymogom oceny czucia wibracji. Natomiast w przypadku przyjęcia w przyszłości zaleceń metodycznych normatywu ISO 13091-1:2001, dotychczasowe wyniki progów czucia wibracji uzyskane za pomocą miernika MCW 2K należałoby zwiększyć o wyznaczoną wyżej poprawkę. Nieco niższa wartość poprawki, wynosząca 45,5 dB, została określona w badaniach z udziałem 38 mężczyzn, przeprowadzonych za pomocą tych samych dwóch układów pomiarowych (20).

W Polsce używane są również mierniki czucia wibracji zagranicznych producentów, w których wyznaczane metodą Bekesy’ego progowe wartości czucia wibracji oparte są na pomiarach przyspieszenia drgań. Do czasu przyjęcia zaleceń normy ISO, co do sposobu wyznaczania progów czucia wibracji i zakresu stosowanych częstotliwości, mógłby być wykorzystany podobny sposób wyznaczania poprawki, pozwalający na ujednoczoną interpretację wyników pomiarowych, jak przedstawiono w niniejszej pracy.

Jednym z czynników decydujących o wartości progowej czucia wibracji jest temperatura skóry palców rąk. W pro-

wadzonych dotychczas badaniach nad wpływem temperatury skóry palców na poziom progu czucia podgrzewano i chłodzono ręce wolontariuszy wodą lub powietrzem, aż do uzyskania zakładanych w doświadczeniach wartości temperatur. Percepcja wibracji pogarszała się wraz z obniżaniem temperatury rąk. Pogorszenie czucia wibracji było większe przy częstotliwościach drgań powyżej 125 Hz w porównaniu do częstotliwości niższych (29–31). Badania wpływu temperatury na próg czucia wibracji miały m.in. na celu określenie granicznej, dolnej wartości temperatury skóry, poniżej której można spodziewać się pogorszenia czucia wibracji. W normie ISO 13091-1 przyjęto jako graniczną temperaturę skóry palców wartość 27°C, nie podając jednakże wskazówek, jak postępować z osobami o osobniczej temperaturze niższej od tej wskazanej. Osobom z chłodnymi rękami, o temperaturze poniżej 27°C, w niektórych doświadczeniach podgrzewano ręce, inni autorzy nie przywiązywali wagi do tego problemu (25,26). Ponieważ wywołana doświadczalnie zmiana temperatury skóry palców rąk między 20°C a 30°C nie wykazywała znaczącego wpływu na czucie wibracji, więc prawdopodobnie z tej przyczyny nie podejmowano badania nad wpływem osobniczej temperatury na czucie wibracji. W wytycznych krajowych zaleca się podgrzewanie rąk do uzyskania temperatury skóry palców powyżej 28–30°C (17,18). Jednakże podgrzewanie rąk u osób zdrowych z homoitermiczną termoregulacją obwodową nie jest zgodne z naturą osobniczego typu fizjologicznego ciepłoty rąk (32). Wyjaśnienia wymaga więc fakt wpływu osobniczej temperatury skóry palców rąk na odbiór bodźca wibracyjnego. W badaniach wykonanych w niniejszej pracy stwierdzono wpływ osobniczej temperatury skóry palców rąk kobiet na wartości progów czucia wibracji począwszy już od częstotliwości 25 Hz. Pogorszenie czucia wibracji występowało, gdy średnia temperatura palców była niższa niż 29°C. Jednakże istotny wpływ osobniczej temperatury skóry palców rąk na czucie wibracji został wykazany tylko podczas wyznaczania progów czucia wibracji metodą ISO 13091-1 (tab. 5 i 6). Podobne efekty stwierdzono podczas badania powtarzalności wyników pomiarów czucia wibracji u kobiet uzyskanych za pomocą miernika P8 oraz MCW 2K (33). Wydaje się więc zasadne rozważenie weryfikacji zalecenia zawartego w normie metodycznej ISO 13091-1 co do wymogów wyznaczania progów czucia wibracji tylko u osób, u których temperatura skóry palców rąk przekracza 27°C.

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Średnie poziomy progów czucia wibracji uzyskane metodą ISO były znamienne wyższe w porównaniu do wartości wyznaczanych według obowiązujących krajowych wytycznych.

2. Badania pozwoliły na określenie poprawki, w dB, wynikającej z odmiennego sposobu wyznaczania progowych wartości czucia wibracji w porównywanych metodach pomiarowych.

3. Osobnicza temperatura skóry palców rąk odgrywa istotną rolę w wysokości progu czucia wibracji.

## PIŚMIENNICTWO

1. Grunert B.K., Wertsch J.J., Matloub H.S., McCallum-Burke S.: Reliability of sensory threshold measurement using a digital vibrogram. *J. Occup. Med.* 1990; 32: 100–102.
2. Lundström R., Strömberg T, Lundborg G.: Vibrotactile perception threshold measurement for diagnosis of sensory neuropathy: Description of a reference population. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 1992; 64: 201–207.
3. Claus D., Mustafa C., Vogel W., Hertz M., Neundorfer B.: Assessment of diabetic neuropathy: definition of norm and discrimination of abnormal nerve dysfunction. *Muscle Nerve* 1993; 16: 757–768.
4. Jamal G.A., Kerr D.J., McLellan A.R., Weir A.I., Davies D.L.: Generalised peripheral dysfunction on acromegaly: a study by conventional and novel neurophysiological techniques. *J. Neurol. Neurosurg. Psych.* 1987; 50: 886–894.
5. Borg K., Borg J., Lindblom U.: Sensory Involvement in distal myopathy (Welander). *J. Neurol. Sci.* 1987; 80: 323–332.
6. Halonen P., Panelius M., Halonen J.P., Lang H.: Vibratory perception threshold in patient with mild multiple sclerosis. *Acta Neurol. Scand.* 1986; 74: 63–65.
7. Lundström R.: Neurological diagnosis – aspects of quantitative sensory testing methodology in relation to hand-arm vibration syndrome. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 2002; 75: 68–77.
8. Lindsell C.J., Griffin M.J.: Normative data for vascular and neurological of the hand-arm vibration syndrome. In: *Arch. Occup. Environ. Health* 2002; 75: 43–54.
9. Aatola S., Färkkilä M., Pyykkö I., Korhonen O., Starck J.: Measuring method for vibration perception threshold of fingers and its application to vibration exposed workers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 1990; 62: 239–242.
10. Ahrend K.D., Dupuis H.: Zur Diagnostik neurologischer Symptome des Vibrationsbedingten Vasospastischen Syndroms. Erfahrungen mit der Pallästhesiometrie. *Arbeitsmed. Socialmed. Umweltmed.* 1995; 7: 301–306.
11. White K.M., Congleton J.J., Huchingson R.D., Koppa R.J., Pendleton O.J.: Vibrometry testing for carpal tunnel syndrome: a longitudinal study of daily variations. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 1994; 74: 25–28.
12. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników w zakresie profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie Pracy. *DzU* 1996, nr 69, poz. 332.
13. Mikołajczyk H.: Podstawy fizjologiczne i metody badania czucia wibracji. I. Mechanoreceptory. *Med. Pr.* 1975; 26 (6): 506–514.
14. Mikołajczyk H.: Podstawy fizjologiczne i metody badania czucia wibracji. II. Przyrządy i sposoby badania czucia wibracji. *Med. Pr.* 1975; 27 (1): 53–58.
15. International Standard ISO 13091-1: Mechanical vibration – Vibrotactile perception threshold for the assessment of nerve dysfunction: Part 1 – Test methods for measurement at the fingertips. International Organization for Standardization, Geneva 2001, ss. 1–21.

16. Harazin B.: Pomiary progów czucia wibracji palców rąk. Kryteria metodyczne. Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego, Sosnowiec 2000.
17. Langauer-Lewowicka H., Grzesik J., Gwoździewicz J., Iżycki J., Knapik D., Koradecka D. i wsp.: Wskazówki metodyczne dotyczące rozpoznania zapobiegania i leczenia zespołu wibracyjnego wywołanego działaniem drgań mechanicznych przekazywanych na ręce. Wytyczne Ministerstwa Zdrowia i Opieki Społecznej, Warszawa 1973, ss. 1–24.
18. Langauer-Lewowicka H., Harazin B., Stachura A.: Rozpoznanie zmian chorobowych wywołanych przez drgania mechaniczne. Wskazówki metodyczne. Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego, Sosnowiec 1998.
19. Brammer A.J., Piercy J.E.: Rationale for measuring vibrotactile perception at the fingertips as proposed for standardisation in ISO CD 13091-1. National Institute for Working Life, Stockholm. Arbetslisrapport 2000; 4: 125–132.
20. Harazin B., Kuprowski J., Harazin A., Stolorz G.: Porównanie progów czucia wibracji u mężczyzn wyznaczonych dwiema metodami. Pol. Przegl. Med. Lotn. 2003; 9 (3): 297–306.
21. Zamysłowska-Szmytke E., Śliwińska-Kowalska M., Dudarewicz A., Gajda A.: Standaryzacja nowej metodyki badania czucia wibracji. Med. Pr. 2001; 52 (5): 315–320.
22. Whitehouse D.J., Lundström R., Griffin M.J.: Comparison of vibrotactile and thermal thresholds with two different measurement systems. Proceedings of the 9th International Conference on Hand-Arm Vibration, 5–9 czerwca 2001, Nancy, France. Institut National de Recherche et de Sécurité, Nancy, 2001, ss. 35–36.
23. Maeda S., Griffin M.J.: A comparison of vibrotactile thresholds on the the finger obtained with different equipment. Ergonomics 1994; 37: 1391–1406.
24. Maeda S, Morioka M, Yonekawa Y, Kanada K, Takahashi Y.: A comparison of vibrotactile thresholds on the finger obtained with ISO type equipment and Japanese equipment. Ind. Health 1997; 35: 343–352.
25. Zamysłowska-Szmytke E., Śliwińska-Kowalska M., Szymczak W., Dudarewicz A.: Ocena wpływu czynników osobniczych na pomiar progów czucia wibracji – wyznaczenie norm dla osób zdrowych. Med. Pr. 2002; 53 (5): 397–403.
26. Maeda S., Griffin M.J.: A comparison of vibrotactile thresholds on the finger obtained with different measuring algorithms. Proceedings of the Stockholm Workshop 94 on Hand-arm vibration syndrome: Diagnostics and Quantitative relationships to exposure. NIOH, Solna, Sweden. Arbete och Hälsa 1995; 5: 85–95.
27. Whitehouse D.J.: The effect of probe size on vibrotactile thresholds at the fingertip and forearm. Proceedings of the 37th UK Conference on Human Response to Vibration, 19–20 września 2002, Loughborough, UK. Loughborough University, UK, 2002, ss. 336–347.
28. Wenemark M., Lundström R., Hagberg M., Nilsson T.: Vibrotactile perception thresholds as determined by two different devices in a working population. Scand. J. Work Environ. Health 1996; 22: 204–210.
29. Koradecka D.: Changes in the threshold of vibration sensibility depending on skin temperature. Acta Physiol. Pol. 1974; 25 (3): 207–214.
30. Verrillo R.T., Bolanowski S.J.: The effects of skin temperature on the psychophysical responses to vibration on glabrous and hairy skin. J. Acoust. Soc. Am. 1986; 80 (2): 528–532.
31. Harada N., Griffin M.J.: Factors influencing vibration sense thresholds used to assess occupational exposures to hand-transmitted vibration. Br. J. Ind. Med. 1991; 48: 185–192.
32. Langauer-Lewowicka H.: Wpływ termoregulacji obwodowej na wyniki niektórych badań stosowanych w diagnostyce zespołu wibracyjnego. Med. Pr. 1987; 38 (5): 352–356.
33. Harazin B., Kuprowski J., Stolorz G.: Repeatability of vibrotactile perception thresholds obtained with two different measuring systems. Int. J. Occup. Med. Environ. Health 2003; 16 (4): 311–319.