

Измерения порогов вибротактильной чувствительности на кончиках пальцев в Польше.

Барбара Хазарин*, Агнешка Хазарин-Лечовска, Яцек КАЛАМАРЗ и Гжегож ЗИЛИНСКИ

Отдел охраны труда, Факультет общественного здравоохранения, Медицинский университет Силезии, ул. Медиков 18, 40-752 Катовице, Польша

Получено 31 января, 2005 года и принято 15 апреля, 2005 года

Аннотация: Задачи: Измерение порогов вибротактильной чувствительности (VPT) на кончиках пальцев у рабочих, проживающих в Польше, является одним из обязательным методов, используемых для диагностики вибрационной болезни. Целью исследования было сравнение значений VPT для здоровых людей с использованием двух различных типов измерительного оборудования, т.е. устройства, разработанного в соответствии с требованиями стандарта ISO 13091-1, и устройства, которое до сих пор использовалось в Польше. Материалы и методы: В исследовании приняли участие 59 мужчин и 22 женщины в возрасте 40.4 года. Измерения VPT проводились с использованием нового палестезиометра P8 (EMSON-MAT, Poland), разработанного в соответствии со стандартом ISO 13091-1 и вибротактильного измерителя MCW 2K, который до сих пор использовался в Польше. Измерения были проведены для указательного, среднего и безымянного пальцев обеих рук, используя частоты 4, 25, 31.5, 63, 125, 250, 400 и 500 Гц для метода по стандарту ISO и 63, 125, 250, 400 и 500 Гц для польского метода. Результаты: средние значения VPT, определенные методом ISO 13091-1, оказались значительно выше по сравнению со значениями, полученными методом, используемым в Польше. Различия между уровнями вибротактильных порогов были практически одинаковыми на сравниваемых частотах. Заключение: Результаты измерений VPT, полученные с использованием стандартного метода, принятого в Польше, могут использоваться в дальнейших диагностических исследованиях, проводимых по стандартному методу ISO 13091-1, но только в том случае, если учитывается соответствующее значение коррекции для определения разницы в уровнях VPT на выбранной частоте.

Ключевые слова: Порог вибротактильной чувствительности (VPT), справочные значения, измерительный прибор

Введение

Оценка VPT на пальцах, так называемая палестезиометрия, является одним из основных методов раннего выявления периферической невропатии верхних конечностей у рабочих, работающих во вредных условиях, включая воздействие химических нейротоксичных реактивов, вибрации и механических ударов¹⁻³⁾. В Польше палестезиометрия незаменима для диагностики и сертифицирования результатов вибрационного синдрома. Палестезиометрия также обязательна во время предварительного, периодического и заключительного осмотров рабочих, подвергающихся вибрации.

VPT на кончиках пальцев зависит от многих факторов, связанных с характеристиками вибрационного воздействия, таких как: диаметр и частота вибрации воздействующего толкателя, наличие или отсутствие подставки вокруг толкателя, сила контакта между толкателем и пальцем, зона контакта и психофизическое воздействие процедуры измерения^{4, 5)}. За последние двадцать лет были проведены многочисленные исследования, относительно методов измерения и свойств механорецепторов, расположенных на коже пальцев. Результаты этих исследований сыграли важную роль в разработке

*Кому должна быть адресована переписка

международного стандарта ISO 13091-1 для методов, используемых для измерения вибротактильной чувствительности на кончиках пальцев. Сторонники нового стандарта ISO, сочли необходимым подтвердить его преимущество определения VPT в сравнении со старыми методами^{6,7)}.

Методические рекомендации по методам измерения и интерпретации результатов измерения VPT, которые в настоящее время используются в Польше, были разработаны в начале 1970-х годов на основе знаний того времени о механорецепторах пальцев. Польские вибротактильные измерители были выполнены в соответствии с этими рекомендациями. В настоящее время польские рекомендации значительно отличаются от требований к измерениям, содержащимся в стандарте ISO 13091-1.

Целью данного исследования было сравнение значений VPT для здоровых людей с использованием двух различных типов измерительного оборудования, т.е. устройства, разработанного в соответствии с требованиями стандарта ISO 13091-1 и устройства, которое до сих пор использовалась в Польше.

Материалы и методы

Субъекты

Восемьдесят один здоровый человек - 59 мужчин и 22 - женщины приняли участие в исследовании в качестве добровольцев. Все субъекты не имели в анамнезе нервно мышечных или васкулярных (сосудистых) нарушений и не страдали какими-либо серьезными травмами верхних конечностей. Исследовательские группы состояли из рабочих, медсестер, лаборантов и научных работников.

Их физические характеристики и средняя температура кожи пальцев приведены в Таблице 1. Все испытуемые должны были быть в форме и здоровы во время сеансов измерений.

Система измерения

1) Система измерений 1 (MS2) – Палестезиометр P8

Новый палестезиометр, маркированный P8 (EMSON-MAT, Польша) был разработан в соответствии со стандартом ISO 13091-1⁷⁾. Система измерений состояла из блока виброметра, кнопки ответа субъекта, комплекта работающих индикаторов вибротактильного измерителя и программного обеспечения виброметра. В блоке виброметра для приведения в действие воздействующего толкателя использовался уравновешенный вибратор и пьезоэлектрический акселерометр для измерения величины ускорения. Воздействующий толкатель представлял собой плоский цилиндр из плексигласа (perspex) 5 мм в диаметре. Субъект держал свое предплечье и кисть на корпусе устройства, опираясь ладонью на специальную опору, которая обеспечивала необходимый контакт между кончиком пальца и толкателем. Центр наконечника воздействующего толкателя располагался на краю фаланги в точке между центром завитка (узора) на коже и ногтем. Субъект надавливал пальцем на толкатель с постоянной силой 0.1N. Статическая сила между толкателем и пальцем контролировалась самими субъектами.

Таблица 1. Характеристика субъектов

Группа	Среднее значение \pm		Допустимое отклонение
	Возраст (лет)	ИМТ (м/кг ²)	
Мужчины (n=59)	42.9 \pm 12.3	26.0 \pm 3.4	Температура пальцев ($^{\circ}$ C) 29.9 \pm 1.6
Женщины (n=22)	37.9 \pm 9.7	24.4 \pm 2.9	29.3 \pm 2.5
Общее (n=81)	40.4 \pm 11.0	25.1 \pm 3.3	29.6 \pm 2.1

*Кому должна быть адресована переписка

Применяя метод уравнивания веса вибратора, субъекты наблюдали за двумя маленькими лампочками, установленными на панели блока виброметра рядом с воздействующим толкателем. Каждый раз, когда статическая сила была слишком сильной, или слишком слабой, загоралась одна из лампочек. Виброметр был оснащен системой контроля ускорения, которая позволяла проводить измерения даже, если помехи значительно превышали входной уровень вибрации. Допустимое соотношение шум / сигнал составляло 20 дБ, оно измерялось и показывалось на индикаторе вибротактильного измерителя при его работе⁸⁾. Программное обеспечение виброметра P8 рассчитано на использование с IBM PC совместимым компьютером. Он контролировал ход процедуры измерения, отображал данные измерений, а также вычислял и сохранял результаты в базе данных.

Для определения VPT использовался алгоритм фон Бекеша. В этом методе магнитуда вибрации увеличивалась до тех пор, пока субъект не начинал ее чувствовать. Затем субъект нажимал на кнопку,

удерживаемую в другой руке. Это вызывало снижение уровня вибрации до тех пор, пока субъект переставал чувствовать вибрационное воздействие. При отпускании кнопки уровень вибрации снова увеличивался. Направление непрерывного изменения магнитуды воздействия затем менялось. Магнитуда вибрации увеличивалась и уменьшалась при непрерывном воздействии с постоянным уровнем 2 дБ/с (4дБ/с) до тех пор, пока субъект не отвечал в первый раз.

Эта процедура была повторена три раза с помощью автоматической тестовой программы, чтобы установить уровень порога на выбранной частоте вибрации. Значение VPT рассчитывалось из среднего арифметического среднего максимума (возрастающих порогов) и среднего минимума (убывающих порогов) для каждой частоты. Значения уровней выражались в дБ (10⁻⁶ мс⁻²). Программа работы виброметра контролировала измерение, отклоняя значения ускорения, которые отличались от среднего значения более чем на ± 2 дБ. Измерения продолжались до тех пор, пока не были получены 3 возрастающих порога и 3 убывающих порога, каждый со значениями ускорения в пределах ± 2 дБ.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОРОГОВ ВИБРОТАКТИЛЬНОГО ОЩУЩЕНИЯ

Таблица 2. Описание двух систем измерения

	Палестезиометр P8 MSI	Вибротактильный измеритель MCW MS2
Частота, Гц	4; 25; 31.5; 63; 125; 250; 400; 500	63; 125; 250; 400; 500
Диаметр толкателя, мм	5	10
Зазор между корпусом и толкателем, мм	Без подставки	3
Сила контакта, N	0,1	2
Стимуляция	Автоматическая	Ручная
Психофизический алгоритм	Алгоритм фон Бекеша	Возрастающие пороги
Параметр вибрации	Ускорение	Скорость
Уровень порога вибротактильности	дБ (от 10 ⁻⁶ мс ⁻²)	дБ (от 5 · 10 ⁻⁸ мс ⁻¹)

*Кому должна быть адресована переписка

2) Измерительная система 2(MS2) – вибротактильный измеритель MCW 2K

Вторая измерительная система была построена на основе вибротактильного измерителя MCW 2K, производимого в Польше с 1980 года. Он состоял из блока виброметра, сбалансированного вибратора и круглого воздействующего толкателя из плексигласа (Persplex) с индикатором силы и кнопкой ответа субъекта. Толкатель выступал через круглое отверстие диаметром 16 мм в жесткой пластине. Субъект помещал подушечку своего пальца на толкатель диаметром 10 мм, приблизительно в центре завитка на краю фаланги. Статическая сила нажима пальца на толкатель, составляла 2N. Эта сила контролировалась субъектами, которые наблюдали за подвижной красной линией, которая двигалась под прозрачной пластиной возле воздействующего толкателя. Сила была соответствующей, если красная линия находилась точно под белой линией, нарисованной на поверхности прозрачной пластины. Сила давления пальца на пластину не контролировалась. Субъект клал ладонь на поверхность стола, к которому было прикреплено оборудование, включая толкатель и индикатор силы. Субъекта просили нажимать на кнопку ответа, удерживаемую в другой руке, как только воздействие было им воспринято. Человек, проводящий исследование, увеличивал магнитуду вибрации до тех пор, пока субъект не воспринимал вибрацию. Уровень магнитуды вибрации воздействующего толкателя считывали в дБ ($5 \cdot 10^{-8} \text{ мс}^{-1}$) непосредственно с монитора вибротактильного измерителя.

Среднее значение VPT, выраженное в величине скорости, вычислялось из среднеарифметического трех пороговых значений, а затем пересчитывалось в уровень ускорения (в дБ 10^{-6} мс^{-2}).

Сравнение двух измерительных систем показаны в Таблице 2.

Процедура

Перед экспериментом был проведен предварительный тест для ознакомления субъектов с вибрационными воздействиями и процедура измерения. Субъекты выполняли тест один раз с каждой системой измерений. Измерения VPT были проведены для

*Кому должна быть адресована переписка

указательного, среднего и безымянного пальцев обеих рук с использованием сначала палестезиометра P8, а затем вибротактильного измерителя MCW 2K. При использовании P8 VPT определялась на частотах 4, 25, 31, 5, 63, 125, 250, 400 и 500 Гц. По сравнению со стандартом ISO 13091-1 диапазон применяемых частот был расширен, и были проведены дополнительные измерения VPT при 250, 400 и 500 Гц. При сравнении метода ISO с методом, используемом в Польше, учитывались только более высокие частоты. Измерения VPT с использованием измерителя MCW 2K проводились на частотах 63, 125, 250, 400 и 500 Гц, причем более низкие частоты были недоступны для MCW 2K. Диапазон вибрационных воздействий варьировался от самой низкой до самой высокой частоты для каждой измерительной системы. VPT определяли последовательно на каждой частоте воздействия для трех пальцев обеих рук. Продолжительность одного сеанса не превышала 40 минут.

Температуру кожи пальцев обеих рук измеряли на краю фаланги всех 6 пальцев до, во время и после измерения VPT, используя бесконтактный инфракрасный термометр. Субъекты одевали наушники, чтобы ослабить звук, производимый измерителями на частоте выше, чем 125 Гц.

Курить не разрешалось, по крайней мере, за 1 час до измерения VPT. Температура в помещении поддерживалась в диапазоне 21-24° С.

Единственный параметр движения, то есть ускорение вибрации, обычно используемый в библиографии и рекомендуемый в стандарте ISO 13091-1 был принят в этом исследовании для сравнения уровней VPT, выраженных в дБ и полученных с помощью двух методов измерения, которые основывались на разных параметрах колебательного движения и разных справочных значениях.

Статистический анализ

Статистический анализ порогов вибротактильной чувствительности был выполнен с использованием пакета программ обработки статистических данных для программного обеспечения Statistica 6, StatSoft Польша. С помощью t-критерия для парных данных оценивали значимость различий между средними значениями VPT, определенными с

использованием измерительных систем MS1 и MS2 на пяти частотах (63, 125, 250, 400 и 500 Гц). Среднее значение VPT для каждой частоты было рассчитано после шести измерений для каждого человека из всего количества испытуемых. Соотношение между значениями VPT, полученных с использованием измерительных систем MS1 и MS2, определялось на основе коэффициентов корреляции линии Пирсона - *r*. Статистическое соотношение значений было определено с помощью *t*-критерия.

Результаты

Сравнение средних значений VPT, полученных с использованием двух измерительных систем, показаны на Рис. 1. Уровни VPT, измеренные с помощью системы MS1, были значительно выше по сравнению со средними значениями VPT, полученными с использованием системы MS2 для всех одинаковых частот (Таблица 3).

Таблица 4 показывает соотношение между значениями VPT, полученными с использованием двух методов измерения. В обоих случаях наблюдалась статистическая значимость соотношения между двумя методами измерения.

Обсуждение

Психофизические измерения VPT на пальцах давно используется в клинических, экспериментальных и профилактических исследованиях как бесконтактные методы количественной оценки состояния периферической нервной системы верхних конечностей. Возможное использование результатов измерения VPT в профилактических целях для работников, подвергающихся воздействию профессиональной среды, требует унификации методов измерения, принципов интерпретации и руководящих принципов для оценки результатов.

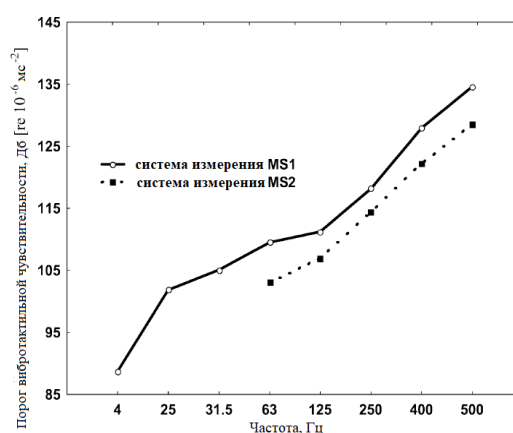


Рис. 1. Средние значения порогов вибротактильного восприятия, полученные с помощью измерительных систем MS1 и MS2.

Таблица 3. Сравнение порогов вибротактильной чувствительности у 81 субъекта, полученные с помощью системы MS1 и системы MS2.

Частота (Гц)	Средние значения порогов вибротактильной чувствительности ± SD (дБ ге · 10 ⁻⁶ мс ⁻²)		Различия между средними значениями VPTs полученными с помощью обеих систем (дБ ге · 10 ⁻⁶ мс ⁻²)	T- критерий	
	Система MS1	Система MS2		t	p
4	88.7 ± 5.2	—	—	—	—
25	101.9 ± 6.7	—	—	—	—
31.5	105.1 ± 6.5	—	—	—	—
63	109.5 ± 7.6	103.1 ± 6.2	6.4	13.97	<0.0001
125	111.3 ± 9.5	106.9 ± 6.4	4.4	8.10	<0.0001
250	118.2 ± 10.8	114.4 ± 6.3	3.8	5.95	<0.0001
400	128.0 ± 11.0	122.2 ± 7.9	5.8	9.26	<0.0001
500	134.6 ± 10.7	128.6 ± 9.0	6.0	9.87	<0.0001

T-критерий для парных данных *t* - студент *t* - распределение *p* - значение

Эта задача была поставлена в 1995 году экспертами рабочей группы WG8 в Техническом комитете TC 108/SC4 Международной Организации по Стандартизации, которые разработали международный стандарт ISO 13091-1: 2001, определяющий количественный метод измерения значений VPT на пальцах^{6,7}. Чтобы удовлетворить острую необходимость в проверке польских нормативов по методам диагностики

синдрома вибрации, был разработан польский палестезиометр P8, который соответствует требованиям ISO 13091-1: 2001. Измеритель использует один из двух возможных способов, при которых подушечка пальца может контактировать с воздействующим толкателем, то есть кончик пальца опирается только на поверхность воздействующего толкателя без подставки.

*Кому должна быть адресована переписка

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОРОГОВ ВИБРОТАКТИЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Таблица 4. Результаты корреляционного анализа порогов вибротактильной чувствительности, полученные с помощью системы MS1 и системы MS2 (n=81)

Частота (Гц)	Сравнение методов измерения систем MS1 и MS2 Коэффициент корреляции линии Пирсона	
	r	p
63	0.521	< 0.00001
125	0.538	< 0.00001
250	0.505	< 0.00001
400	0.555	< 0.00001
500	0.542	< 0.00001

p- значение

Вибротактильные измерители MCW 2K, разработанные в соответствии с национальными нормами, установленными в 1973 году и используемые в Польше для оценки палестезиометрических результатов, работают с различными параметрами колебательного движения и, как правило, не соответствуют техническим параметрам, содержащимся в стандарте ISO 13091-1:2001 (Таблица 2). Значения VPT, выраженные в дБ, без указания параметра движения и эталонного значения, могут значительно отличаться от результатов, полученных с использованием измерителей, более или менее соответствующих требованиям ISO 13091-1. Принятие другого параметра, то есть скорости вибрации или ускорения вибрации, само по себе может привести к значительно отличающимся значениям VPT.

В обеих сравниваемых системах измерений экспериментально полученные средние различия в значениях VPT, обусловленные только разными техническими параметрами, составили 5.3 дБ, то есть от 3.8 дБ на частоте 250 Гц до 6.4 дБ на частоте 63 Гц (Таблица 3, рис. 1). Средние различия в значениях, полученных в другом исследовании, проведенном у 38 мужчин, при использовании тех же двух систем измерения, составили 4.4 дБ⁹⁾. Результаты, полученные Whitehouse, и другие указывают на то, что значения VPT выше, когда толкатель с подставкой используется в диапазоне частот 16-31.5 Гц и снижаются свыше 125 Гц, по сравнению со значениями VPT, полученными с

использованием толкателя без подставки¹⁰⁾. Подобные зависимости наблюдали Маэда и Гриффин¹¹⁾, когда они сравнивали пороги вибрации у 9 субъектов, используя два измерителя с различными диаметрами воздействующего толкателя и его окружения. Наблюдаемые различия между значениями VPT составили 4.7 дБ при 63 Гц, 3.5 дБ при 125 Гц и 0.9 дБ при 250 Гц. Маэда и другие повторили исследования с частотой 125 Гц у 9 мужчин и одной женщины и получили среднее различие в значениях VPT 4,3 дБ¹²⁾. Это показывает, что способ, которым кончик пальца контактирует с вибрирующим толкателем, может иметь решающее значение при определении справочных значений VPT.

На значения VPT также может влиять способ генерирования магнитуды вибрации, то есть какой из двух методов применен: возрастающие пороги или алгоритм фон Бекеша. Маэда и Гриффин пришли к выводу, что психофизический алгоритм не играет никакой роли, если вибрационное воздействие изменяется со скоростью, превышающей 2,5 дБ /с¹³⁾.

На кривую VPT также существенно влияет размер толкателя. Для толкателя диаметром 1 мм значения VPT были ниже на частотах воздействия 8 и 16 Гц и выше - на частотах, превышающих 125 Гц, по сравнению со значениями, полученными при использовании толкателя диаметром 6 мм¹⁴⁾.

Средние значения VPT, полученные с помощью палестезиометра P8 в этом исследовании, выше на частотах 4 Гц, 25 Гц, 31.5 Гц и 125 Гц по сравнению с VPT, содержащимися в Приложении А стандарта ISO 13091-2¹⁵⁾. Наблюдаемые различия, которые уменьшаются с увеличением частоты и находятся в диапазоне от 11.2 дБ при 4 Гц до 3.8 дБ при 125 Гц, могут быть обусловлены тем, что стандартные данные ISO 13091-2 были получены из нескольких источников. Некоторые отклонения от требований ISO 13091-1 не были редкостью в этих исследованиях, в то время как средние значения VPT были получены в результате экстраполяции данных измерений. В этом исследовании коэффициент корреляции между значениями VPT, полученными с помощью двух методов измерения не превышают 0.6. Аналогичная степень корреляции между этими двумя методами была получена Венемарком и др.⁶⁾ и Харазином и др.⁷⁾.

*Кому должна быть адресована переписка

Практическое использование полученных результатов дает возможность начального расчета значения коррекции, включая суммарную разницу между значениями VPT, то есть разницу в результате использования различных параметров движения и разницы, возникшей в результате применения другого метода измерения VPT. В соответствии с польскими нормативами по вибротактильной чувствительности среднее арифметическое значение должно рассчитываться для трех пальцев, то есть указательного, среднего и безымянного пальцев, на частотах 250, 400 и 500 Гц. В данном исследовании среднее значение VPT на этих частотах, определяемое по методу ISO 13091-1:2001, равнялось 126.9 дБ (re. 10⁻⁶ мс⁻²), в то время как среднее значение VPT, полученное от тех же субъектов, но в соответствии с польскими нормативами, основанными на измерении скорости вибрации (re. 5 · 10⁻⁸ мс⁻¹) – 80,4 дБ. Среднее различие в значениях VPT между этими двумя методами составило 46,5 дБ, и это значит насколько среднее значение VPT, полученное с помощью ISO 13091-1:2001, должно быть снижено, чтобы соответствовать текущим польским нормативам при оценке вибротактильной чувствительности. И наоборот, возможное принятие стандарта ISO 13091-1:2001 в будущем будет означать, что значения VPT, определенные с помощью измерителя MCW должны быть увеличены на 46,5 дБ. Несколько меньшее значение коррекции равное 45,5 дБ было рассчитано в исследовании только у 38 мужчин, с использованием тех же двух методов измерения¹⁸). Из-за низкой повторяемости результатов, полученных с использованием устройства MS2, такую коррекцию в дБ можно рассматривать как приблизительный показатель.

Заключение

В результате этого исследования можно сделать следующие выводы:

1) Средние значения VPT, полученные с использованием ISO 13091-1, значительно выше по сравнению со значениями, определенными в соответствии с польскими нормативами.

2) Результаты вычисления VPT, полученные с использованием стандартного метода, принятого в Польше, могут быть

*Кому должна быть адресована переписка

использованы в дальнейших диагностических исследованиях, проводимых с помощью метода ISO 13091-1 только в том случае, если рассчитывается соответствующее значение коррекции для определения разницы в уровнях VPT на выбранной частоте.

Подтверждение

Статья подготовлена в рамках гранта № NN-5-237/04 «Сравнительный анализ порогов вибротактильной чувствительности, определенные в соответствии с польскими нормативами и стандартом ISO 13091-1 для работников, не подвергающихся вибрации» Медицинского Университета Силезии, Катовице, Польша.

Ссылки

- 1) Aatola S, Färkkilä M, Pyykkö I, Korhonen O, Starck J (1990) Measuring method for vibration perception threshold of fingers and its application to vibration exposed workers. *Int Arch Occup Environ Health* **62**, 239–42.
- 2) Bovenzi M, Apostoli P, Alessandro G, Vanoni O (1997) Changes over a work shift in aesthesiometric and vibrotactile perception thresholds of workers exposed to intermittent hand transmitted vibration from impact wrenches. *Occup Environ Med* **54**, 8, 577–87.
- 3) Coutu-Wakulczuk G, Brammer AJ, Piercy JE (1997) Association between a quantitative measure of tactile acuity and hand symptoms reported by operators of power tools. *J Hand Surg Am* **22**, 873–81.
- 4) Harada N, Grriffin MJ (1991) Factors influencing vibration sense thresholds used to assess occupational exposures to hand-transmitted vibration. *Br J Ind Med* **48**, 185–92.
- 5) Lindsell Ch (1997) Vibrotactile thresholds: Effect of contact forces and skin indentation. In: *Proceedings of UK Group Meeting on Human Response to Vibration*. 433–43, Southampton, England.
- 6) Brammer AJ, Piercy JE (2000) Rationale for measuring vibrotactile perception at the fingertips as proposed for standardisation in ISO CD 13091-1. 125–32, National

Institute for Working Life, Stockholm, Arbetslisrapport No 2000:4.

7) International Organization for Standardization (2001)

Mechanical vibration—Vibrotactile perception threshold for the assessment of nerve dysfunction: Part

1—Test methods for measurement at the fingertips.

1—

21, International Standard, ISO 13091-1, Geneva.

8) Czyczy/lo M (1998) Pallesthesiometer P8—Synchronous detector for measurement in condition of the mechanical interferences. Application No P 329447.

Patent Office RP, Warszawa, (in Polish).

9) Harazin B, Kuprowski J, Harazin A, Stolorz G (2003)

Comparison of vibrotactile thresholds in men obtained with two methods. *Polski Przegląd Medycyny Lotniczej*

9, 297–306 (in Polish).

10) Whitehouse DJ, Lundström R, Griffin MJ (2001)

Comparison of vibrotactile and thermal thresholds with two different measurement systems. In: *Proceedings of 9th International Conference on Hand-arm Vibration*.

35–6, Nancy, France.

11) Maeda S, Griffin MJ (1994) A comparison of vibrotactile thresholds on the the finger obtained with different equipment. *Ergonomics* **37**, 1391–406.

12) Maeda S, Morioka M, Yonekawa Y, Kanada K, Takahashi Y (1997) A comparison of vibrotactile thresholds on the finger obtained with ISO type equipment and Japanese equipment. *Ind Health* **35**, 343–52.

13) Maeda S, Griffin MJ (1995) A comparison of vibrotactile thresholds on the finger obtained with different measuring algorithms. In: *Proceedings Stockholm Workshop 94 on Hand-arm Vibration Syndrome: Diagnostics and Quantitative Relationships to Exposure*.

85–95, NIOH, Solna, Sweden, Arbete och Hälsa 5.

14) Whitehouse DJ (2002) The effect of probe size on vibrotactile thresholds at the fingertip and forearm.

In:

Proceedings 37th UK Conference on Human Response to Vibration. 336–47, Loughborough University, UK.

15) International Organization for Standardization (2003)

Mechanical vibration—Vibrotactile perception threshold for the assessment of nerve dysfunction: Part 2—Analysis and interpretation of measurement at the fingertips International Standard. 1–24, ISO 13091-2, Geneva.

16) Wenemark M, Lundström R, Hagberg M, Nilsson T (1996) Vibrotactile perception thresholds as determined

by two different devices in a working population. *Scand J Work Environ Health* **22**, 204–10.

17) Harazin B, Kuprowski J, Harazin-Lechowska A (2004)

Comparison of vibrotactile thresholds in women obtained with two psychophysical measurement methods. *Medycyna Pracy* **55**, 321–8 (in Polish).

18) Harazin B, Kuprowski J, Stolorz G (2003)

Repeatability

of vibrotactile perception thresholds obtained with two

different measuring systems. *Int J Occup Med Environ Health* **16**, 311–9.