

Экспериментальное исследование референтных порогов вибротактильной чувствительности на кончике пальца, полученных организацией Malaysian Healthy People (Здоровые люди Малайзии), с использованием оборудования на базе ISO 13091-1.

Рошада Дауд¹, Сэтсуо Маэда^{2*}, НурНазмин Мустафа Камеел³, Мухаммад Юнус Рипин¹, Норазман Бакрун¹, Раэми МД Зейн¹, Масахару КИДО⁴ и Кийотака Хигучи⁴

¹Отдел эргономики, Национальный институт безопасности и гигиены труда, Лот 1, Жалан 15/1, Секция 15, 43650 Бандар Бару Бангл, СелангорДарулЭссан, Малайзия

²Отделение Эргономики и Психотехники, Национальный институт промышленного здоровья, 21-1, Нагао 6-Хоме, Тама-ку, Кавасаки, Канагава 214-8585, Япония

³Эрго КонсалтСднБхд, Но, 25-16 Жалан 3/4Сб ДэсаМэлавати, 53100 КуалаЛампур, Малайзия

⁴Проект JICA, создание потенциала Национального института безопасности и гигиены труда, лот 1, Джалан 15/1, Секция 15, 43650 Бандар Бару Бангл, СелангорДарулЭссан, Малайзия

Поступила в редакцию 5 января 2004 г. и принята 14 февраля 2004 г.

Аннотация: Целью настоящей работы является определение референтных порогов вибротактильной чувствительности (VPT) для здоровых людей в Малайзии. Измерение на оборудовании по стандарту ISO 13091-1 порога вибротактильной чувствительности для пальцев при оценке дисфункции нервов, анализе и интерпретации измерений по стандарту ISO 13091-2 были опубликованы в ISO / TC108 / SC4 / WG8 в 2001 и 2003 годах в отдельности. Референтные данные VPT (порогов вибротактильной чувствительности) по стандарту ISO 13091-2 были получены из нескольких исследовательских работ. Данные VPT жителей Малайзии не соответствуют этому стандарту. В Малайзии при использовании VPT для диагностики вибрационной болезни референтные данные VPT необходимо сравнивать с рабочими. Но Малайзия пока не имеет референтных данных VPT. Поэтому в данной работе измерения VPT были произведены на оборудовании, соответствующем стандарту ISO 13091-1, для получения референтных данных жителей Малайзии. И эти данные были сопоставлены со справочными данными ISO по стандарту ISO 13091-2. Из сравнения этих данных было выяснено, что VPT здоровых жителей Малайзии сходны с референтными данными стандарта ISO 13091-2.

Ключевые слова: Пороги вибротактильной чувствительности (VPT), вибрация рук, ISO 13091-1, ISO 13091-2, Диагноз, Вибрация

Введение

Воздействие вибрации, передаваемой через руки, вызывает ряд травм пальцев, кистей и рук. Это включает в себя неврологические отклонения и нарушения деятельности сердечно-сосудистой системы (иногда называемые феномен Рейно или виброиндуцированный синдром белых пальцев)¹.

Вибротактильные пороги на кончиках пальцев используются для определения невропатии вызываемой вибрацией, передаваемой через руки²⁻⁶.

Вибротактильные пороги также используются для оценки остроты физиологического эффекта воздействия вибрации, передаваемой через руки, на сенсорную систему и исследование допустимого предела воздействия вибрации. Во многих исследованиях устанавливается связь временных смещений

порогов (TTS) в вибрационных ощущениях с силой воздействия вибрации⁷⁻¹⁸). Чувствительность порогов вибрации на кончиках пальцев иногда используются для оценки невропатии, а вибротактильные пороги в пальцах, как известно, зависят от таких условий, как измерительное оборудование, процедура, метод или алгоритм¹⁹⁻²⁴). Исследователи во всем мире используют различные виды вибрационного измерительного оборудования. С 1991 года рабочая группа 8 (Вибротактильная чувствительность) по ISO/TC108/SC4 принимала участие в оптимизации процедур тестирования и интерпретации порогов вибротактильной чувствительности. Стандарт измерительного оборудования порога вибротактильной чувствительности ISO 13091-1²⁵), был опубликован в ISO/TC108/SC4/ WG8 в 2001 году. И также стандарт ISO 13091-2²⁶ по анализу и интерпретации измерений порога

*Кому соответствие должно быть направлено

вибротактильной чувствительности на кончиках пальцев для оценки дисфункции нервов был опубликован в 2003 году. Данные по референтным порогам VPT в стандарте ISO 13091-2 были получены из нескольких исследовательских работ. Но, данные по VPT Малазийцев не были включены в этот стандарт.

Основная цель этого исследования измерение VPT на кончиках пальцев, для получения справочных данных для жителей Малайзии. Это исследование также необходимо для сравнения VPT мужчин и женщин. Полученные данные этого исследования для здоровых людей с использованием оборудования ISO, затем будут сравнены с ISO 13091-2.

В Малайзии, исследование, которое относится к воздействию вибрации, передаваемой через руки, не было выполнено, поэтому данное исследование может быть платформой для других исследований в плане получения справочной информации.

Эксперимент

Спецификация оборудования

Управляемый компьютером тактильный виброметр *HVlab*, разработанный в отделении исследования человеческих факторов Института исследования звука и вибрации Саутгемптонского университета. Прибор виброметр содержит вибратор, установленный на лабораторные весы, для того, чтобы обеспечить постоянную подъемную силу взаимодействия между толкателем и пальцем как показано на рисунке 1.

Передвижной балансировочный груз позволяет регулировать эту силу, если это необходимо. Стопорный механизм для баланса обеспечивает защиту оборудования от повреждения при транспортировке. На вибраторе был установлен акселерометр с контактным толкателем, прикрепленным к его верхней поверхности. Толкатель, который имеет плоский цилиндрический конец диаметром 6 мм, проходящий через круглое отверстие диаметром 10мм в тензорезисторной пластине (*Perspex*), установленной в верхней крышке виброметра. Эта пластина была соединена с прибором контроля и управления силой давления на палец. Блок виброметра включает в себя электронный акселерометр для измерения выходных сигналов и управления усилителем мощности вибратора.

Во время измерения вибротактильного порога, магнитуда вибрации автоматически увеличивается до тех пор, пока субъект не нажмет на кнопку ответа.

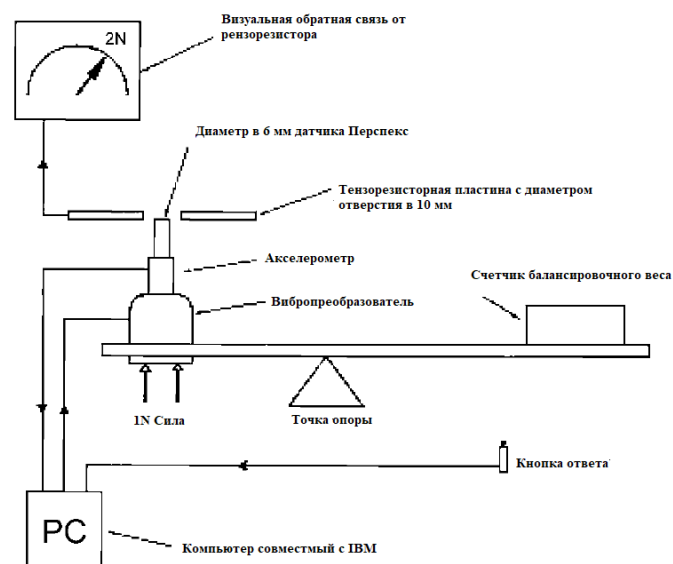


Рис. 1. Оборудование для измерения вибротактильной чувствительности (оборудование типа - ISO)

Затем магнитуда уменьшается, когда кнопка отпущена. Процесс повторяется несколько раз для того, чтобы установить пороговый уровень вибротактильной чувствительности методом, аналогичным тому, который используется в автоматическом записывании аудиометром (метод Бекеша). Автоматически представлен заранее определенный набор выбранных частот вибрации (в диапазоне от 16 до 500 Гц).

Величина магнитуды, соответствующая вибротактильному порогу для каждой частоты, определяется в конце каждого теста в соответствии с процедурой, определенной в BS 6655 (Британский институт стандарта 1986)²⁷⁾ и ISO 6189 (Международная Организация по стандартизации 1983)²⁸⁾. Сначала, пики (величина вибрации при нажатии кнопки ответа), а затем прогибы (величина, когда кнопка отпускается) берутся средними по отдельности. Затем вибротактильный порог принимается за значение среднего пика и среднего прогиба. Дается предупреждение, если выполняется хоть одно из следующих условий: (1) существует менее 6 циклов (т.е. кнопка нажимается и отпускается; первый цикл на каждой частоте игнорируется); (2) пики расходятся более чем на 10 дБ между собой; и (3) прогибы расходятся более чем на 10 дБ между собой. Стандартные отклонения также вычисляются с помощью квадратного корня от средней величины изменений пиков и прогибов.

Виброграмма, показывающая величину магнитуды при каждом цикле, в зависимости от времени, может просматриваться на экране или выводиться

*Кому соответствие должно быть направлено

на принтер. Система контролируется компьютером совместимым с IBM, который генерирует вибрационные сигналы для управления вибратором, контролирует магнитуду вибрации и

кнопку ответа, а также вычисляет пороговые значения. В Таблице 1, Стандарта ISO 13091-1 показаны четкие требования к условиям измерения для измерения VPT.

РЕФЕРЕНТНЫЕ ПОРОГИ ОЩУЩЕНИЯ ВИБРАЦИИ У МАЛАЗИЙЦЕВ

Таблица 1. Условия измерения оборудования по стандарту ISO 13091-1

Содержание	ISO 13091-1		
Механорецептор	SAI,	FAI,	FAII
Частота (Гц)	4.0,	31.5,	125
Дополнительная частота (Гц)	3.15; 5.0	20; 25	100; 160
Опора	полная длина предплечья, руки, пальцы; сиденье со спинкой		
Температура кожи	27–36°C		
Температура в помещении	20–30°C		
Толкатель	Плоский, гладкий, с закругленными краями цилиндра 0.2 мм диаметром < радиус закругления < 0.7 мм		
Диаметр толкателя	4.0 мм ± 2.1 мм диаметр		
Контакт с кожей	Без подставки - Метод А	Подставка - Метод Б	
Структура кожи	±	1.5 ± 0.8 мм	
Зазор между корпусом и толкателем	–	1.5 ± 0.6 мм	
Сила воздействия на толкатель	–	0.7 N to 2.3 N	
Алгоритм измерения	метод границ или фон Бекеша		
Измерение вибрации	среднеквадратичная магнитуда и частота стимулов		

Таблица 2. Экспериментальное условие Метода Б, использованного в этом эксперименте

Частота вибрации	31.5 Гц и 125 Гц
Контактная зона	6 мм диаметр (28 мм ²)
Подставка	10 мм
Сила нажатия пальцем	2 N
Контактное усилие на толкатель	1 N
Измерение пальца	Указательный палец правой руки
Частота каждого времени теста	30 с
Метод измерения	метод Бекеша
Номинал уровня	3 дБ/с
Температура в комнате	22–26°C
Температура кожи пальцев	Выше 23°C

Экспериментальные условия

Для измерения VPT при использовании оборудования по стандарту ISO 13091-1, в таблице 2 показаны экспериментальные условия для данного испытания.

В данном эксперименте были выбраны две разные частоты для вибротактильного возбуждения предпочтительной активации отдельных афферентных классов: 31,5 Гц для активации быстроадаптирующихся механорецепторов типа I (FA I) и 125 Гц для активации быстроадаптирующихся механорецепторов типа II (FAII) таких как тельца Пачини (пластинчатые тельца-механорецепторы).

Субъекты

В данном исследовании участвовали 32 субъекта (8 мужчин и 24 женщины) в возрасте от 22 до 51 года. Средний возраст и нормальные

*Кому соответствие должно быть направлено

Таблица 3. Физические характеристики субъекта в данном эксперименте

	Объект Число (ч)	Возраст (лет) Допустимое отклонение	Вес (кг) Допустимое отклонение	Рост (м) Допустимое отклонение
Мужчины	8	28.1 (3.23)	66.27 (13.71)	167.4 (7.16)
Женщины	24	31.7 (7.32)	55.94 (12.15)	153.8 (3.83)

отклонения (SD) для мужчин и женщин 28.1 года (SD 3.23 года) и 31.7 года (SD 7.32 года) соответственно. Все субъекты здоровые люди, не имеющие истории нервно-мышечных или сосудистых отклонений. Никто из них не имел предыдущего профессионального опыта работы с механическими ручными инструментами или серьезные травмы верхних конечностей. Таблица 3 показывает другие характеристики тел субъектов.

Процедура

Лист инструкции, данный в Приложении А, был предоставлен субъектам перед измерением данных. Температура в комнате была в пределах от 22 до 26°C. Сначала, была измерена температура правого пальца, поскольку известно, что температура кожи влияет на VPT³⁾. Эксперимент был проведен только после того, как температура пальца стала выше 23°C.

Каждый субъект сидел с положенным на подлокотник правым предплечьем и положив указательный палец правой руки на вибрационный наконечник. Испытуемые должны были внимательно следить за измерением, чтобы поддерживать силу нажатия на заданном уровне (2N). Затем техник начинал измерение и испытуемые сначала проходили практический тест,

чтобы им стало ясно, какая вибрация появится на кончиках их пальцев. После того как они ознакомятся с вибрацией, техник проводил реальный тест, который занимал 30 секунд. На рисунке 2 показан тактильный виброметр HVLab и реальное исследование в Отделении Эргономики Национального Института Охраны Труда Малайзии.



Рисунок 2. Реальное исследование, проведенное в Отделении Эргономики при Национальном Институте Охраны Труда в Малайзии

Таблица 4. 50 перцентилей порогов ощущения вибрации для здоровых малазийцев, выраженные в м/с² текущих результатов

Род	Возраст (лет) Допустимое отклонение	Значение 31.5 Гц Допустимое отклонение	Значение 125 Гц Допустимое отклонение
Мужчины	28.1 (3.2)	0.134 (0.065)	0.228 (0.09)
Женщины	31.5 (7.4)	0.132 (0.098)	0.364 (0.413)

Таблица 5. 50 перцентилей порогов ощущения вибрации для здоровых людей, выраженные в м/с² стандарта ISO 13091-2

Род	Возраст (лет)	Порог ощущения вибрации (31.5 Гц)	Порог ощущения вибрации (125 Гц)
Мужчины	30	0.10	0.25
Женщины	30	0.12	0.32

Аналитические методы

Для каждой группы испытуемых были рассчитаны групповые средние значения и стандартные ошибки определения порога для каждой тестовой частоты для указательного пальца правой руки. Чтобы проанализировать влияние пола, частоты и возраста на вибротактильные пороги был проведен тройной дисперсионный анализ всех данных (ANOVA) с повторными измерениями, с заданными параметрами **A x B x C** с повторными измерениями для переменных **B** и **C**. Переменная **A** определена как пол, **B** определена как частота, а переменная **C** была определена как возраст. Предполагалось, что Референтные Данные стандарта ISO 13091-2 являются средними значением для определенной группы населения, и для того, чтобы выяснить есть ли какая-либо разница в среднем значении, был выполнен t- тест для одного испытуемого.

Результаты и Обсуждения

В таблице 4 приведены средние результаты порогов и допустимых отклонений, полученные у мужчин и женщин при 31.5 Гц и 125 Гц. Средние

данные порога вибротактильных ощущений у обоих полов при 31.5 Гц меньше, чем при 125 Гц. Данные допустимых отклонений у женщин при 125 Гц больше, чем при 31.5 Гц. Можно подумать, что допустимые отклонения по возрасту у женщин зависят от степени отклонения. Эти результаты соответствуют предыдущим наблюдениям по частоте¹⁹⁾, возрасту и полу²⁰⁾. Из текущих результатов дисперсионного анализа (ANOVA) выявлены основные статистически важные эффекты для частоты (F=20.171, p=0.002), для возраста (F=3.129, p=0.043) и для пола (F=10.633, p=0.010).

И эти данные сравнивались с Референтными Данными ISO при 31.5 Гц и 125 Гц, как показано в Таблице 5 по стандарту ISO 13091-2.

Чтобы выяснить, есть ли какая-либо разница Референтных Данных Стандарта ISO 13091-2 и данных средних значений порогов вибротактильной чувствительности VPT, которые были получены в этом эксперименте, Референтные Данные ISO 13091-2 были приняты за средние значения для определенной группы населения и между этими экспериментальными

*Кому соответствие должно быть направлено

данными был проведен t-тест для одного образца. Следовательно, по всем данным предположение не было отклонено со значительным уровнем $\alpha=0.05$. Таким образом стало ясно, что нет разницы в среднем значении между Референтными Данными по ISO 13091-2 и данными текущего эксперимента.

Общие результаты текущего исследования согласуются с данными вибротактильных ощущений по Стандарту ISO 13091-2.

Заключение

В этой статье, VPT измерялся с помощью оборудования по стандарту ISO 13091-1 для получения референтных данных для жителей Малайзии. Из сравнения этих данных в ходе экспериментального исследования стало понятно, что данные порога вибротактильных ощущений здоровых жителей Малайзии при 31.5 Гц и 125 Гц соответствуют Референтным данным стандарта ISO 13091-2.

В Малайзии исследование, связанное с профессиональным воздействием вибрации, передаваемой через руки, не проводилось и данное исследование может стать платформой для другого исследования с целью получения референтных (справочных) данных.

Подтверждение

Данное исследование было поддержано Национальным Институтом охраны труда (NIOSH) - Японским агентством по международному сотрудничеству (ЯАМС) и является проектом ЯАМС. Мы хотели бы поблагодарить всех сотрудников Национального Института охраны труда, Отдела охраны труда в Калифорнии (DOSH) и Японского агентства по международному сотрудничеству в Малайзии, которые приняли участие в данном исследовании.

References

- 1) Griffin MJ (1990) Handbook of human vibration. Academic Press, London.
- 2) Brammer AJ (1987) Assessment of impaired tactile sensation. Scand J Work Environ Health **13**, 380–4.
- 3) Hayward R, Griffin MJ (1986) Measures of vibrotactile sensitivity in persons exposed to hand-arm vibration. Scand J Work Environ Health **12**, 423–7.
- 4) Jezter T, Conrad H, Heithoff K (1987) The role of CT scanning and vibrometry testing in the diagnostic evaluation of carpal tunnel syndrome. In: Proceedings of Volvo-IFSSH Conference on the prevention of brachial injuries and cumulative trauma disorders, 53–7, Stockholm.

*Кому соответствие должно быть направлено

- 5) Lundborg G, Lie-Stenstrom AK, Sollerman C, Stromberg T, Pyykko I (1986) Digital vibrogram: a new diagnostic tool for sensory testing in comparison neuropathy. HandSurg**11A**, 693–9.
- 6) Lundborg G, Sollerman C, Stromberg T, Pyykko I, Rosen B (1987) A new principle for assessing vibrotactile sense in vibration-induced neuropathy. Scand J Work Environ Health **13**, 375–9.
- 7) Harada N (1978a) Studies on the changes in the vibratory sensation threshold at the fingertip in relation to some physical parameters of exposed vibration, Part 1, a study on the methods of vibration exposure and measurement of the vibratory sensation threshold. Jpa J Hyg**33**, 699–705.
- 8) Harada N (1978b) Studies on the changes in the vibratory sensation threshold at the fingertip in relation to some physical parameters of exposed vibration, Part 2, a study on the equal TTS curves of the vibratory sensation and the hygienic allowable limit of portable mechanized tool. Jpn J Hyg**33**, 706–17.
- 9) Harada N, Griffin MJ (1991) Factors influencing vibration sense thresholds used to assess occupational exposure to hand-transmitted vibration. Brit J Ind Med **48**, 185–92.
- 10) Hayward R (1984) Temporary threshold shifts in vibrotactile sensitivity: effects of vibration duration, intensity, and frequency. In: Proceedings of U.K. informal group meeting on human response to vibration, 36–46, Heriot-Watt University, Edinburgh.
- 11) Maeda S (1991) Comparison of the effects of handtransmitted continuous vibration and shock vibration on temporary threshold shifts in fingertip vibratory sensation. In: Proceedings of the Anglo-French vibration meeting and the United Kingdom informal group meeting on human response to vibration, 40–56, H.S.E., Buxton.
- 12) Maeda S, Kume Y (1987) Temporary threshold shift on finger-tip vibratory sensation induced by exposure to octave band vibration. J Jpn Ind Manage Associ**38**, 243–8.
- 13) Maeda S, Kume Y (1989) Temporary threshold shift on finger-tip vibratory sensation induced by exposure

to spectrum vibration. *J Jpn Ind Manage Associ* **40**, 336–42.

14) Maeda S, Kume Y (1991) Temporary threshold shift

on finger-tip vibratory sensation induced by exposure to intermittent vibration (on the exposure-equivalent rule). *J Jpn Ind Manage Associ* **42**, 105–11.

15) Malinskaya NN, Filin AP, Shkarinov LN (1964) Problem of occupational hygiene in operating mechanical tools. *Vestnik Academy Med Sci USSR* **19**, 31–6.

16) Nishiyama K, Watanabe S (1981) Temporary threshold shift of vibratory sensation after clasping a vibrating handle. *Int Arc Occup Environ Health* **49**, 21–3.

17) Radzyukevich TM (1969) Interrelation of temporary and permanent shifts of vibration and pain sensitivity threshold under the effect of local vibration. *Gigiena Truda I Professional'nye Zabelevanija* **14**, 20–3.

18) Taoda K (1991) Temporary threshold shift of vibratory sensation (TTSv) induced by the composite band vibration exposure. *J Shiga Univ Med Sci* **6**, 117–26.

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

20) Maeda S (1991) A comparison of measuring equipment and measuring algorithm for vibrotactile thresholds on the fingers. In: *Proceedings of the United Kingdom Informal Group Meeting on Human Response to Vibration*. ISVR, Southampton, England.

21) Maeda S (1994) A comparison of vibration acceleration magnitude obtained with different vibrotactile threshold measuring equipment. In: *Proceedings of the Japan Informal Group Meeting on Human Response to Vibration*. NIIH, Kawasaki, Japan.

22) 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. *Industrial Health* **35**, 343–52.

23) Maeda S, Griffin MJ (1995) A comparison of vibrotactile thresholds on the finger obtained with different algorithms. *ArbeteochHalsa* **5**, 85–95.

24) Lindsell CJ (1997) Vibrotactile thresholds: effects of contact forces and skin indentation. In: *Proceedings of the United Kingdom Informal Group Meeting on Human Response to Vibration*. ISVR, Southampton,

England.

25) International Organization for Standardization (2001) *Mechanical vibration—Vibrotactile perception thresholds for the assessment of nerve dysfunction—Part 1: Methods of measurement at the fingertips*, ISO 13091-1.

26) International Organization for Standardization (2003) *Mechanical vibration—Vibrotactile perception thresholds for the assessment of nerve dysfunction—Part 2: Analysis and interpretation of measurements at the fingertips*, ISO 13091-2.

27) British Standards Institution (1986) *British Standard Specification for pure tone air conduction threshold audiometry for hearing conservation purposes*, BS 6655.

28) International Organization for Standardization (1983) *Acoustics—Pure tone air conduction threshold audiometry for hearing conservation purposes*, ISO 6189.

29) Wild P, Massin N, Lasfargues G, Baudin V, Unlu D, Donati P (2001) Vibrotactile perception thresholds in four non-exposed populations of working age. *Ergonomics* **44**, 649–57.

*Кому соответствие должно быть направлено

Приложение – инструкция для испытуемых

Измерение порогов вибротактильной чувствительности

1. Положите свою руку на виброметр так, чтобы центр завитка пальцевого узора располагался над центром толкателя.

2. Следите за показаниями блока обратной связи и осторожно нажимайте на толкатель, пока шток не достигнет позиции «ВКЛ». Сохраняйте давление на толкатель, чтобы шток оставался в позиции «ВКЛ» на протяжении всего теста.

3. Держите блок кнопки ответа в противоположной руке с большим пальцем на кнопке ответа.

быть нажатой, когда вы вибрацию не ощущаете, кнопка не должна быть нажатой).

5. Повторяйте этот цикл до тех пор, пока экспериментатор не сообщит вам, что тест завершен.

6. Пожалуйста, обратитесь к технику, если вам понадобится дополнительное объяснение.

4. Когда вы почувствуете вибрацию на толкателе, нажмите кнопку ответа и держите ее нажатой до тех пор, пока вы чувствуете вибрацию. Когда вибрация больше не ощущается, отпустите кнопку до тех пор, пока не ощутите вибрацию снова (т.е. когда вы чувствуете вибрацию, кнопка должна

*Кому соответствие должно быть направлено