

ДЕЙСТВИЕ ЧЕТЫРЕХМЕСЯЧНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ ВСЕГО ТЕЛА НА МЫШЕЧНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И РАВНОВЕСИЕ

SAILA TORVINEN^{1,2}, PEKKA KANNUS^{1,2}, HARRI SIEVÄNEN¹, TERO A. H. JÄRVINEN², MATTI PASANEN¹, SAIJA KONTULAINEN¹, TEPPU L. N. JÄRVINEN², MARKKU JÄRVINEN², PEKKA OJA¹, and ILKKA VUORI¹

¹Bone Research Group, UKK Institute, Tampere, FINLAND, and ²Department of Surgery, Medical School and Institute of Medical Technology, University of Tampere, and Tampere University Hospital, Tampere, FINLAND

Реферат. S. TORVINEN, P. KANNUS, H. SIEVANEN, T. A. JARVINEN, M. PASANEN, S. KONTULAINEN, T. L. JARVINEN, M. JARVINEN, P. OJA, and I. VUORI. Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 34, No. 9, pp. 1523-1528, 2002. **Цель.** Данное рандомизированное контролируемое исследование было спланировано с целью изучения эффектов 4-месячного воздействия вибрации всего тела на мышечную деятельность и равновесие у молодых, здоровых взрослых, не спортсменов. **Методы.** Пятьдесят шесть добровольцев (21 мужчина и 35 женщин, возраст 19-38 лет) были распределены либо в вибрационную группу, либо в группу контроля. Вибрационное воздействие заключалось в четырехмесячном вибротренинге всего тела (4 мин, 3-5 раз в неделю), выполняемом стоя на вертикально вибрирующей платформе. Пять тестов мышечной деятельности (вертикальный прыжок, изометрическая экстензионная сила нижних конечностей, сила сжатия, челночный бег, и поздний контроль на платформе) были выполнены до и спустя 2 и 4 месяца. **Результаты.** Четырехмесячное вибрационное воздействие вызвало 8.5% (95% CI, 3.7-13.5%, P=0.001) чистое (нетто-)увеличение высоты прыжка. Экстензионная сила нижних конечностей увеличилась после 2-месячного вибрационного воздействия, показав в результате 3.7% (95% CI, 0.3-7.2%, P=0.034) нетто-улучшение для вибрации. Данные увеличения, тем не менее, снизились к концу 4-месячного воздействия. В силе сжатия, челночном беге, и тестах на равновесие вибрационное воздействие эффекта не показало. **Заключение.** Четырехмесячное вибрационное воздействие увеличило прыжковую силу у молодых людей, что говорит о нервно-мышечной адаптации к вибрационному стимулу. С другой стороны, вибрационное воздействие не показало эффекта на динамическое и статическое равновесие испытуемых. Дальнейшие исследования должны быть сфокусированы на сравнении улучшающих мышечную деятельность эффектов вибрации всего тела с таковыми при конвенционном резистивном тренинге и, в качестве расширения цели, на исследовании потенциального действия вибрации на структуру и силу костей, и возможно, случайные падения пожилых людей. **Ключевые слова:** ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПРЫЖОК, ЭКСТЕНЗИОННАЯ СИЛА НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ, ЧЕЛНОЧНЫЙ БЕГ, ПОЗДНИЙ КОНТРОЛЬ, МОЛОДЫЕ ЛЮДИ.

В последнее время механическая вибрация вызывает большой интерес, поскольку предполагается, что низкоамплитудная высокочастотная стимуляция всего тела способна позитивно воздействовать на многие факторы риска падений и связанных с ними переломов, одновременно увеличивая мышечную силу, равновесие тела, и механическую компетенцию костей. Однако, имеется малое научное доказательство эффектов вибрации всего тела на данные параметры. Bosco с соавт. показали, что однократное вибрационное воздействие приводило к значительному временному увеличению силы мышц нижних конечностей и сгибателей рук. Они также исследовали эффекты 10-кратной вибрации на мышечную деятельность физически активных испытуемых и продемонстрировали, что вибрация всего тела, используемая в течение 10 минут, вызывала увеличение взрывной силы.

Runge с соавт., в свою очередь, показали, что вибрация всего тела способна увеличивать мышечную деятельность у пожилых людей (2-месячная тренировочная программа три раза в неделю с частотой 27 Гц). Также имеются некоторые предварительные данные, что вибрационная нагрузка способна стимулировать формирование трабекулярной костной ткани и предупреждать постменопаузальную и вследствие овариэктомии потерю костной массы.

Несмотря на описанные выше предварительные позитивные сведения и широкое использование различных вибрационных устройств среди спортсменов, убедительное доказательство вибрационного тренинга отсутствует. Такое отсутствие данных особенно касается долговременных эффектов. Таким образом, цель данного исследования - изучить эффекты 4-месячного вибрационного воздействия на мышечную деятельность и равновесие тела у молодых, здоровых добровольцев, используя рандомизированный контролируемый дизайн исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект и дизайн исследования

Пятьдесят шесть молодых, здоровых добровольцев, не спортсменов (21 мужчина и 35 женщин, возраст 19-38 лет) приняли участие в исследовании. Половина испытуемых была случайным образом распределена в вибрационную группу и половина – в группу контроля. Мужчины и женщины отдельно рандомизировались по группам, так что количество мужчин и женщин было приблизительно одинаковым в обеих группах. Вибрационный протокол включал 4-месячный вибрационный тренинг всего тела (смотрите ниже). Тесты были выполнены на исходном уровне (до рандомизации) и спустя 2 и 4 месяца.

Критериями исключения из исследования были: какие-либо сердечно-сосудистые, респираторные, абдоминальные, мочевые, гинекологические, неврологические, костно-мышечные, или иные хронические заболевания; беременность; протезы; лекарственные препараты, оказывающие влияние на костно-мышечную систему; нерегулярные менструации; и систематическое участие в каких-либо физических упражнениях с нагрузкой на скелет более трех раз в неделю.

Испытуемые заполняли опросник, описывающий их физическую активность и потребление кальция (из дневника 7-кратного приема кальция) в начале исследования и спустя 2 и 4 месяца. Все участники дали свое предварительное информированное согласие, и протокол исследования одобрен Исследовательским Советом Института (Institutional Review Board) и Этическим Комитетом UKK Института (Ethics Committee of the UKK Institute).

Вибрационная нагрузка

Вибрационная нагрузка выполнялась в положении стоя на платформе вибрации всего тела (Kuntotary, Erka Oy, Kerava, Finland) и испытуемым полагалось тренироваться 3-5 раз в неделю. Продолжительность ежедневного стимула составляла 4 минуты. Стоя на платформе, испытуемые повторяли четыре раза 60-секундную программу легких физических упражнений, согласно подготовленным ранее инструкциям. Рациональной основой данной программы упражнений было обеспечить разнонаправленное вибрационное воздействие на тело и сделать нахождение на платформе наименее монотонным, в случае если бы предполагалось исследование долговременного воздействия. Программа включала легкие приседания (0-10 секунда), выпрямленное положение стоя (10-20 секунда), стоя в расслабленном положении со слегка согнутыми коленями (20-30 секунда), легкое подпрыгивание (30-40 секунда), переводение веса тела с одной ноги на другую (40-50 секунда) и стояние на пятках (50-60 секунда).

В течение 4-минутного вибрационного воздействия частота вибрации увеличивалась на один минимальный интервал. В течение первых двух недель продолжительность нагрузки была 2 минуты и частота вибрации составляла 25 Гц для первой минуты и 30 Гц для второй минуты (практический период). В течение следующих 1.5 месяцев продолжительность вибрационной нагрузки была 3 минуты и частота 25 Гц/60 сек + 30 Гц/60 сек + 35 Гц/60 сек. В течение оставшихся 2 месяцев продолжительность воздействия составляла 4 минуты и частота была 25 Гц/60 сек + 30 Гц/60 сек + 35 Гц/60 сек + 40 Гц/60 сек. Полная peak-to-peak амплитуда вертикальной вибрации была 2 мм. Учитывая данную амплитуду и синусоидальную природу нагрузки, теоретически максимальное ускорение составляло около 2.5 g (где g – это ускорение свободного падения, или 9.81 м/с²) при 25 Гц нагрузке, 3.6 g при 30 Гц нагрузке, 4.9 g при 35 Гц нагрузке и 6.4 g при 40 Гц нагрузке.

Тесты

В начале каждой тестовой сессии выполнялась 4-минутная разминка на велоэргометре (рабочая нагрузка 40 Вт для женщин и 50 Вт для мужчин). Испытуемые были обуты в одинаковую обувь в течение всех трех тестовых сессий, и порядок тестов был одинаковый в каждой тестовой сессии (смотрите ниже). Употребление алкоголя и интенсивная физическая активность не допускались ни в течение тестового дня, ни в предшествующий. Перед каждым тестом испытуемые имели один-два пробных исследования.

Вертикальный прыжковый тест использовался для оценки взрывных характеристик нижних конечностей. Испытуемый клал руки на таз. Тесты выполнялись на контактной платформе (Newtest, Oulu, Finland), измеряющей время полета. Полученное время полета (t) использовалось для расчета высоты подъема центра тяжести тела (h) во время вертикального прыжка (т.е. $h = gt^2/8$, где $g = 9.81$ м/с). В качестве тестовой оценки использовалось среднее значение трех измерений.

Для оценки статического равновесия тела использовалась postural sway платформа (Biodex Stability System, New York, NY). Испытуемые стояли на неустойчивой платформе обеими ногами, с открытыми глазами и руками вдоль тела. Платформа обеспечивала восемь различных уровней устойчивости (уровень 8 – виртуально стабильный и уровень 1 – самый неустойчивый). В качестве теста мы использовали 40-секундный протокол последовательных 10-секундных интервалов [уровень 5 (0-10 сек), уровень 4 (10-20 сек), уровень 3 (20-30 сек), уровень 2 (30-40 сек)]. Данная система предусматривает цифровой индекс устойчивости, который отражает смещение тела от его центра тяжести таким образом, что наименьший индекс есть наибольший уровень устойчивости. Координаты положения стоп каждого испытуемого на платформе были сняты после первого измерения устойчивости, и одинаковые координаты использовались на протяжении всего исследования с целью установить соответствие между тестами. В качестве тестовой оценки использовалось средняя величина двух индексов устойчивости.

Сила сжатия измерялась с использованием стандартного grip strength meter (Digitest, Muurame, Finland). В качестве тестовой оценки использовалась средняя величина трех считываний.

Максимальная изометрическая сила разгибателей нижних конечностей измерялась стандартным leg press динамометром. Испытуемые сидели на кресле динамометра с углом сгибания коленных и голеностопных суставов 90°, максимально нажимая против напряжения измерительных приборов (Tamtron, Tampere, Finland), находящихся под их ступнями. Изометрическая сила снималась с трех максимальных попыток, и в качестве тестовой оценки использовалась средняя величина трех измерений.

Тест челночного бега на более 30 м дистанцию использовался для оценки динамического равновесия, или подвижности. Испытуемым требовалось пробежать как можно быстро шесть раз между отметками, расположенными на расстоянии четырех метров друг от друга, касаясь пола после каждого 4-метрового пробега, и в конце пробежать шесть метров за финишную линию. Выполнялась одна успешная попытка. Время бега считывалось фотоэлементами.

Безопасность

Возможные побочные эффекты и отрицательные реакции испытуемых вибрационной группы опрашивались ежемесячно и контрольной группы - через 2-месячные интервалы. Испытуемые также имели право свободно консультироваться у ответственного врача исследования в любое время.

Статистические анализы

Средние величины и стандартные отклонения даны как описательная статистика. 2-месячные и 4-месячные эффекты вибрации всего тела на физическую работу и равновесие определялись как абсолютные и относительные средние разности [с 95% доверительными интервалами (CI)]

между вибрационной и контрольной группами, соответственно. Относительные разности были получены путем логарифмической трансформации переменных. Время-эффект через 2 и 4 месяца определялись односторонним дисперсионным анализом (one-way ANOVA). Во всех тестах $P < 0.05$ признавался достоверным.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Двадцать шесть испытуемых вибрационной группы и 26 группы контроля полностью завершили исследование без каких-либо побочных эффектов и отрицательных реакций. Два участника контрольной группы выбыли из исследования из-за потери интереса, и два участника вибрационной группы из-за костно-мышечных проблем, которые не были связаны с вибрационной нагрузкой (первый – перелом ребра, второй – по причине ортопедической операции). Базовые характеристики 52 испытуемых представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Исходные показатели вибрационной и контрольной групп.

	Vibration Group <i>N</i> = 26	Control Group <i>N</i> = 26
Women/Men	17/9	16/10
Age (yr)	23.2 (4.4)	25.5 (5.8)
Height (cm)	174.4 (8.0)	174.0 (7.7)
Weight (kg)		
Baseline	71.6 (13.3)	71.1 (12.8)
At 2 months	71.5 (13.6)	71.7 (12.4)
At 4 months	70.8 (13.0)	70.7 (12.4)

Средняя частота вибрационного тренинга составила 3.1 (± 0.9) занятий в неделю. Поскольку половых различий по критерию время-эффект в 2- и 4-месячных тестах выявлено не было, данные женщин и мужчин собирались и обрабатывались вместе.

Мышечная деятельность и равновесие тела

Тесты мощности и силы. Высота вертикального прыжка увеличилась в среднем на 2 см после 2 месяцев вибрации, по сравнению со средним снижением на 0.6 см в контрольной группе, что привело к значительному 10.2% чистому (нетто-) улучшению (95% CI, 5.6-15.1%, $P = 0.001$) в вибрационной группе. На 4-месячном тестировании высота прыжка увеличилась на 2.5 см (от исходных значений) в вибрационной группе и на 0.3 см (от исходного уровня) в группе контроля, имеющее следствием достоверное 8.5% нетто-улучшение (95% CI, 3.7-13.5%, $P = 0.001$) в вибрационной группе (Таблица 2 и Рисунок 1А).

Изометрическая экстензионная сила нижних конечностей увеличилась в среднем на 11.2 кг после 2-месячного вибрационного воздействия, в то время как среднее увеличение в контрольной группе составило 4.8 кг, что привело к статистически достоверному 3.7% нетто-улучшению (95% CI, 0.3-7.2%, $P = 0.034$) для вибрационной группы.

Рисунок 1. Процентные изменения в тестах мощности, силы, мышечной деятельности и равновесия после 2-месячной и 4-месячной вибрации. Средняя величина и 95% доверительный интервал. $P < 0.05$.

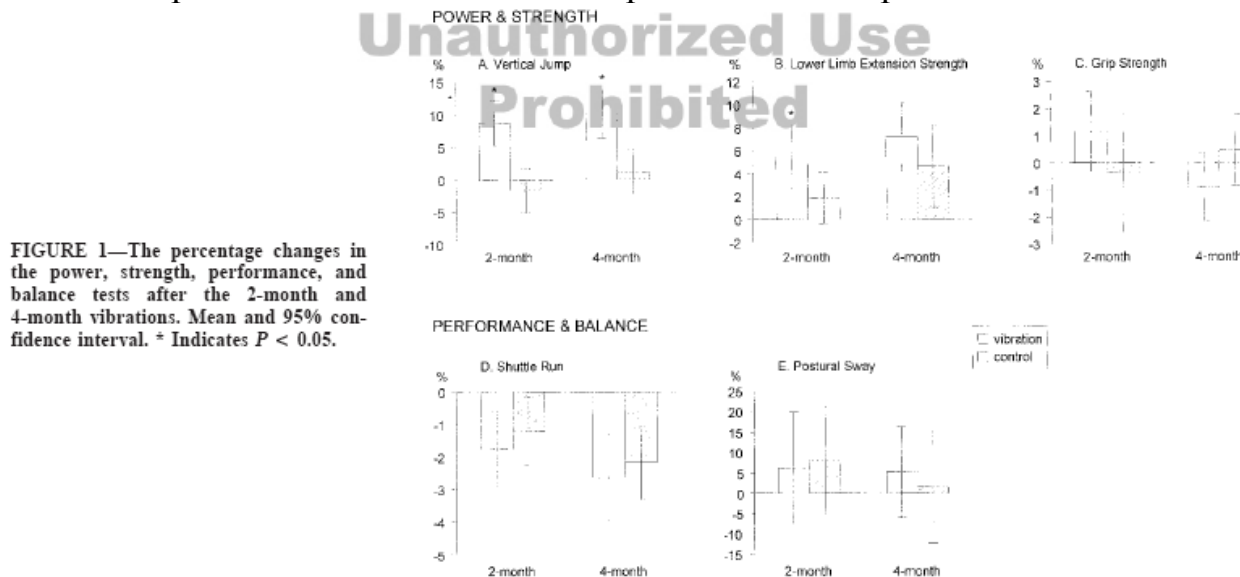


FIGURE 1—The percentage changes in the power, strength, performance, and balance tests after the 2-month and 4-month vibrations. Mean and 95% confidence interval. * Indicates $P < 0.05$.

На 4-месячном тестировании данное нетто-улучшение снизилось до 2.5% ($P = 0.25$) (Таблица 2 и Рисунок 1B). При этом необходимо отметить, что экстензионная сила нижних конечностей одного контрольного испытуемого была явно выше другого контрольного испытуемого, вследствие чего увеличились стандартные отклонения в контрольной группе (Таблица 2). Тем не менее, это не отразилось на абсолютных и относительных средних различиях между группами. Как ожидалось, ни в одной из групп не было отмечено изменений в силе сжатия на 2- и 4-месячных тестах (Таблица 2, Рисунок 1C).

Таблица 1. Тестовые показатели мышечной деятельности и равновесия на начальном уровне и после 2- и 4-месячного вибрационного воздействия.

	Vibration Group (N = 26)	Control Group (N = 26)	Mean Difference Between Groups ^a	Between Groups Difference for the Relative Change by Time		
				Mean	95 % CI ^a	P value
Vertical jump* (cm)						
Baseline	27.7 (7.9)	28.9 (8.2)				
2-month	29.7 (7.2)	28.3 (8.1)	2.5	10.2	5.6 to 15.1	<0.001
4-month	30.2 (7.6)	29.2 (8.5)	2.1	8.5	3.7 to 13.5	0.001
Lower limb extension strength (kg)						
Baseline	194.8 (64.5)	216.5 (103.4)				
2-month	206.0 (69.8)	221.3 (110.7)	7.8	3.7	0.3 to 7.2	0.034
4-month	207.8 (65.8)	227.7 (116.9)	3.6	2.5	-1.8 to 7.1	0.250
Grip strength (kg)*						
Baseline	30.8 (7.7)	32.4 (9.8)				
2-month	31.2 (8.1)	32.3 (9.8)	0.6	1.6	-1.0 to 4.4	0.228
4-month	30.5 (7.9)	32.5 (9.9)	-0.4	-1.3	-3.1 to 0.5	0.143
Shuttle run (s)*						
Baseline	11.0 (1.3)	11.2 (1.4)				
2-month	10.8 (1.4)	11.0 (1.4)	-0.05	-0.5	-2.0 to 1.0	0.516
4-month	10.7 (1.2)	10.9 (1.4)	-0.07	-0.5	-2.2 to 1.3	0.570
Postural sway (stability index)						
Baseline	3.1 (1.7)	3.5 (1.2)				
2-month	3.1 (1.7)	3.7 (1.5)	-0.3	-7.1	-21.7 to 10.0	0.385
4-month	3.0 (1.3)	3.4 (1.3)	-0.2	-1.7	-14.9 to 13.7	0.817

* N = 25 в вибрационной группе.

^a Односторонний анализ ковариации.

Тесты мышечной деятельности и равновесия. Никаких различий на 2- и 4-месячных тестах челночного бега между вибрационной и контрольной группами не было (средние разницы между группами -0.5% , $P = 0.52$ и $P = 0.57$, соответственно)(Таблица 2, Рисунок 1D). Никакого действия на поздний контроль на 2- и 4-месячных тестах выявлено не было (Таблица 2, Рисунок 1E).

ОБСУЖДЕНИЕ

Данное рандомизированное контролируемое исследование показало, что 4-месячная вибрационная физическая нагрузка безопасна для использования и вызывала значительное в среднем на 8.5% увеличение высоты прыжка у молодых, здоровых людей. Данное увеличение было отмечено уже после 2 месяцев вибрации. Сила разгибателей нижних конечностей также увеличилась после 2-месячного вибрационного периода. Однако, как было показано, данное увеличение снизилось к концу воздействия, и после 4 месяцев различие между группами было менее статистически значимым, главным образом из-за увеличения экстензионной силы в контрольной группе (эффект научения). Касательно статического и динамического равновесия тела, 4-месячное воздействие вибрации всего тела эффекта не показало.

Эффекты резистивного тренинга на нервно-мышечные свойства скелетной мускулатуры хорошо известны, и эти знания могут помочь в интерпретации и понимании описанных выше вибрационных результатов. Во-первых, структурные изменения в скелетной мускулатуре наиболее важны во время адаптации к силовому тренингу. Однако произвольные силовые характеристики определяются не только внутримышечными факторами, но также степенью нервной активации, после того как индуцированные тренингом изменения в нервной системе (нервная адаптация) дают возможность более полной активации первичных источников специфических движений и более координированной активации необходимых мышц, что в совокупности приводит к увеличению усилия в запланированном направлении движения.

Первичный адаптационный механизм скелетной мускулатуры к резистивному тренингу нейрональный. Изменения в нейрональных факторах в ответ на тренинг имеют место уже спустя пару месяцев, в то время как изменения в морфологической структуре мышц происходят дольше (от нескольких месяцев до лет). Специфические адаптации к тренингу во многом зависят от применяемой тренировочной программы. В дополнение к чистой максимальной силе, важным фактором во многих видах спорта является взрывная сила, и различные упражнения цикла растяжения-укорочения (stretch-shortening cycle, SSC)(например, прыжки или плейометрические упражнения) используются с целью улучшения данного показателя. Точный механизм, благодаря которому тренинг взрывной силы может увеличивать нервно-мышечную активацию, неизвестен, но имеется несколько возможных

объяснений, которые могли бы быть причиной данного улучшения, к примеру, адаптация определенных рефлекторных ответов, увеличение синхронизации двигательных единиц, совместное сокращение мышц-синергистов, или усиленное торможение мышц-антагонистов. Тренинг силы и мощности может также повышать способность моторных единиц разряжаться быстро с очень высокой частотой, что может приводить к увеличению развиваемого усилия, даже если пиковая сила не возросла.

Как предполагается, улучшения в мышечной деятельности, вызванные вибрацией всего тела, подобны таковым (и опосредованы аналогичными механизмами) после нескольких недель резистивного тренинга. Во время вибрационной нагрузки всего тела скелетные мышцы мало изменяются в длине, в точности как механическая вибрация способна оказывать тоническое возбуждающее влияние на мышцы, к которым прилагается. Другими словами, вибрация возбуждает ответ, называемый «тоническим вибрационным рефлексом», включающий активацию мышечных веретен, передачу нервных сигналов по Ia-афферентам и, в конце концов, активацию мышечных волокон через большие α -мотонейроны. Также тонический вибрационный рефлекс способен повышать рекрутирование двигательных единиц посредством активации мышечных веретен и полисинаптических путей.

В данном исследовании нейрогенное усиление или изменения в морфологической структуре мышц невозможно оценить напрямую, поскольку протокол исследования не включал ни ЭМГ, ни биопсию мышц. Тем не менее, на основе доказательства, приведенного выше, вполне вероятно, что использованный вибрационный тренинг всего тела вызывал нервную адаптацию. Это также подтверждается результатами данного исследования, т.е. быстрое и очевидное увеличение высоты прыжка указывало на то, что нервная адаптация действительно имела место быть в ответ на вибрационное воздействие. Дополнительно, экстензионная сила нижних конечностей увеличилась только после 2 месяцев вибрации, что также относится к нервной потенциации. Степень увеличения экстензионной силы нижних конечностей и различие между группами, однако, снизились к концу 4 месяцев воздействия. Это можно объяснить общей мышечной адаптацией к вибрационной программе. Дальнейшему увеличению экстензионной силы могло потребоваться большее изменение тренировочного стимула. Интерпретируя результаты настоящего исследования (увеличение высоты вертикального прыжка), необходимо упомянуть, что испытуемые тренировочной группы выполняли программу легких физических упражнений во время 4-минутного вибрационного воздействия (смотрите «Материалы и Методы»), и таким образом можно было бы предположить, что увеличение высоты прыжка было благодаря данной физической нагрузке. Однако, это было бы невероятным, чтобы за такими упражнениями следовало очевидное увеличение высоты прыжка, поскольку они были очень легкими.

Принимая во внимание эффекты вибрации всего тела на случайные падения и связанные с ними переломы у пожилых, наше исследование показало, что вибрационное воздействие не имеет прямого влияния на равновесие тела. Однако, мышечная сила и мощность также являются важными и независимыми предикторами функциональных качеств и случайных падений пожилых людей; таким образом, вибрационная нагрузка всего тела может быть эффективным тренировочным стимулом и для таких людей тоже. Дальнейшие исследования должны быть сфокусированы на сравнении улучшающих мышечную деятельность эффектов вибрации всего тела с таковыми при конвенционном резистивном тренинге и, в качестве расширения цели, на исследовании потенциального действия вибрации на структуру и силу костей, и возможно, случайные падения пожилых людей.

This study was supported by the grants from Medical Research Fund of Tampere University Hospital, Tampere, Finland, and the Research Foundation of the Institute of Sports, Helsinki, Finland.

The authors thank all the participants for excellent cooperation, and they thank their research assistant Seppo Niemi for help in preparing the figure of this report.

Address for correspondence: Dr. Salla Torvinen, UKK Institute, Kaupinpuistonkatu 1, FIN-33500 Tampere, Finland; E-mail: losato@uta.fi.

ЛИТЕРАТУРА

1. BAKER, J., R. RAMSBOTTOM, and R. HAZELDINE. Maximal shuttle running over 40 m as a measure of anaerobic performance. *Br. J. Sports Med.* 27:228–232, 1993.
2. BOSCO, C., P. LUHTANEN, and P. V. KOMI. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur. J. Appl. Physiol.* 50:273–282, 1983.
3. BOSCO, C., M. CARDINALE, O. TSARPELA, R. COLLI, J. TIHANYI, S. VON DUVILLARD, and A. VIRU. The influence of whole body vibration on the mechanical behaviour of skeletal muscle. *Biol. Sport.* 153:157–164, 1998.
4. BOSCO, C., M. CARDINALE, and O. TSARPELA. Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 79:306–311, 1999a.
5. BOSCO, C., R. COLLI, E. INTROINI, et al. Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin. Physiol.* 19: 183–187, 1999b.
6. CARROLL, T. J., S. RIEK, and R. G. CARSON. Neural adaptations to resistance training: implications for movement control. *Sports Med.* 31:829–840, 2001.
7. COYLE, E., C. FEIRIN, T. ROTKIS, R. COTE, F. ROBY, W. LEE, and J. WILMORE. Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *J. Appl. Physiol.* 51:1437–1442, 1981.
8. DE GAIL, P., J. W. LANCE, and P. D. NEILSON. Differential effects on tonic and phasic reflex mechanisms produced by vibration of muscles in man. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 29:1–11, 1966.
9. FALEMPIN, M., S. F. IN-ALBON. Influence of brief daily tendon vibration on rat soleus muscle in non-weight-bearing situation. *J. Appl. Physiol.* 87:3–9, 1999.

10. FLIEGER, J., T. KARACHALIOS, L. KHALDI, P. RAPTOU, and G. LYRITIS. Mechanical stimulation in the form of vibration prevents postmenopausal bone loss in ovariectomized rats. *Calcif. Tissue Int.* 63:510–514, 1998.
11. HAGBARTH, K. E. The effect of muscle vibration in normal man and in patients with motor disease. In: *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology*. J. E. Desmedt (Ed.). Basel: Karger, 1973, pp. 428–443.
12. HEINONEN, A., H. SIEVÄNEN, J. VIITASALO, M. PASANEN, P. OJA, and I. VUORI. Reproducibility of computer measurement of maximal isometric strength and electromyography in sedentary middle-aged women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 68:310–314, 1994.
13. HÄKKINEN, K., and P. KOMI. Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15:455–460, 1983a.
14. HÄKKINEN, K., and P. KOMI. Changes in neuromuscular performance in voluntary and reflex contraction during strength training in man. *Int. J. Sports Med.* 4:282–288, 1983b.
15. HÄKKINEN, K., and P. KOMI. Effect of explosive type strength training on electromyographic and force production characteristics of leg extensors muscles during concentric and various stretch-shortening cycle exercises. *Scand. J. Sports Sci.* 7:65–76, 1985.
16. HÄKKINEN, K., M. ALLEN, and P. KOMI. Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol. Scand.* 125:573–585, 1985.
17. KOMI, P., J. VIITASALO, R. RAURAMAA, and V. VIHKO. Effect of isometric strength training on mechanical, electrical and metabolic aspects of muscle function. *Eur. J. Appl. Physiol.* 40:45–55, 1978.
18. MORITANI, T., and H. A. DEVRJES. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am. J. Phys. Med.* 58:115–130, 1979.
19. NEVITT, M. C., S. R. CUMMINGS, S. KIDD, and D. BLACK. Risk factors for recurrent nonsyncopal falls. A prospective study. *JAMA* 261:2663–2668, 1989.
20. NEVITT, M., and S. R. CUMMINGS. Falls and fractures in older women. In: *Falls, balance and gait disorders in elderly*. B. Vellas, M. Toupet, L. Rubenstein, J. Albareda, and Y. Christen (Eds.). Paris:Elsevier, 1992, pp. 69–80.
21. RITTWEGER, J., G. BELLER, and D. FELSENBURG. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin. Physiol.* 20:134–142, 2000.
22. RUBENSTEIN, L. Z., K. R. JOSEPHSON, and A. S. ROBBINS. Falls in the nursing home. *Ann. Intern. Med.* 121:442–451, 1994.
23. RUBIN, C. and K. McLEOD. Promotion of bony ingrowth by frequency-specific, low-amplitude mechanical strain. *Clin. Orthop.* 298:165–174, 1994.
24. RUBIN, C., R. RECKER, D. CULLEN, J. RYABY, and K. McLEOD. Prevention of bone loss in a post-menopausal population by low-level biomechanical intervention. *Bone* 23:S174(Abstract), 1998a.
25. RUBIN, C., G. XU, and D. JUDEX. The anabolic activity of bone tissue, suppressed by disuse, is normalized by brief exposure to extremely low-magnitude mechanical stimuli. *FASEB J.* 15:2225–2229, 2001a.
26. RUBIN, C., S. TURNER, S. BAIN, C. MALLINCKRODT, and K. McLEOD. Low mechanical signals strengthen long bones. *Nature* 412:603–604, 2001b.
27. RUBIN, C., S. TURNER, R. MULLER, E. MITTRA, K. McLEOD, W. LIN, and Y. QIN. Quantity and quality of trabecular bone in the femur are enhanced by a strongly anabolic, noninvasive mechanical intervention. *J. Bone Miner. Res.* 17:349–357, 2002a.

28. RUBIN, C., S. TURNER, C. MALLINCKRODT, C. JEROME, K. MCLEOD, and S. BAIN. Mechanical strain, induced noninvasively in the high-frequency domain, is anabolic to cancellous bone, but not cortical bone. *Bone* 30:445-452, 2002b.
29. RUNGE, M., G. REHFELD, and E. RESNICEK. Balance training and exercise in geriatric patients. *J. Musculoskel. Neuron. Interact.* 1:61-65, 2000.
30. SALE, D. Neural adaptation to resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20:135-145, 1988.
31. SALE, D., and J. MACDOUGALL. Specificity in strength training: a review for the coach and the athlete. *Can. J. Appl. Sport Sci.* 6:87-92, 1981.
32. SCHMITZ, R., and B. ARNOLD. Intertester and intratester reliability of a dynamic balance protocol using the Biodex Stability System. *J. Sport Rehabil.* 7:95-101, 1998.
33. SEIDEL, H. Myoelectrical reactions to ultra-low-frequency and low-frequency whole body vibration. *Eur. J. Appl. Physiol.* 57: 558-562, 1988.
34. TINETT, M. E., and M. SPEECHLEY. Prevention of falls among the elderly. *N. Engl. J. Med.* 320:1055-1059, 1989.
35. TORVINEN, S., P. KANNUS, H. SIEVÄNEN, et al. Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 22:145-152, 2002.
36. UUSI-RASI, K., H. M. SALMI, and M. FOGELHOLM. Estimation of calcium and riboflavin intake by a short diary. *Scand. J. Nutr.* 38:122-124, 1994.