

Сила возрастет после вибрации всего тела по сравнению с резистивной тренировкой

CHRISTOPHE DELECLUSE¹, MACHTELD ROELANTS¹, and SABINE VERSCHUEREN²

¹*Exercise Physiology and Biomechanics Laboratory, and* ²*Laboratory of Motor Control, Faculty of Physical Education and Physiotherapy, Department of Kinesiology, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, BELGIUM*

ABSTRACT

DELECLUSE, C., M. ROELANTS, and S. VERSCHUEREN. Strength Increase after Whole-Body Vibration Compared with Resistance Training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 35, No. 6, pp. 1033–1041, 2003.

Цель: исследовать и сравнить эффект 12-недельной тренировки вибрацией всего тела (WBV) резистивной тренировки на силу экстензора колена у человека. Методы: 67 женщин (21.4±1.8 лет) участвовало в исследовании. Группа WBV, N= 18 и группа плацебо (PL, N= 19) выполняли статические и динамические упражнения на коленный экстензор на вибрационной платформе. Ускорение платформы было между 2.28 g и 5.09 g, а в группе плацебо только 0.4 g. Вибрация (35–40 Hz) вела к увеличению ЭМГ, но ЭМГ сигнал не изменялся в группе плацебо. Группа резистивного тренинга (RES, N= 18) тренировка экстензор колена динамическим сгибанием-разгибанием колена (10–20 RM). Все группы тренировались 3 раза в неделю (3/ wk). Контрольная группа (CO, N=12) не участвовала ни в каком тренинге. Пре- и постизометрическая, динамическая и баллистическая сила экстензора колена измерялись с помощью motor-driven dynamometer. Взрывная сила определялась с помощью прыжкового теста (counter-movement jump). **Результаты:** Изометрическая и динамическая силы экстензора колена возрастали существенно ($P < 0.001$) в группах WBV (16.6±10.8%; 9.0±3.2%) и резистивного тренинга (14.4±5.3%; 7.0±6.2%), соответственно, тогда как PL и CO группы не имели статистически достоверного увеличения показателей ($P > 0.05$). Высота прыжка возрастала значительно ($P < 0.001$) только в группе WBV (7.6± 4.3%). Не было эффекта любого тренинга на максимальную скорость движения, измеренную с помощью баллистического теста. **Заключение:** WBV, и вызываемое ею рефлекторное мышечное сокращение, способно развивать силу экстензора колена у предварительно не тренированных женщин в той же степени, что резистивный тренинг умеренной интенсивности. Было четко показано, что сила возрастает после WBV и не является эффектом плацебо. Ключевые слова: мышечная сила, тонический вибрационный рефлекс, прыжки, силовой тренинг

WBV представляет собой метод нейромышечного тренинга, который развивается относительно недавно. При WBV тренинге субъект стоит на платформу, которая генерирует вертикальную синусоидальную вибрацию при частоте между 35 и 40 Hz. Эти механические стимулы передаются на тело, где они стимулируют, в свою очередь, сенсорные рецепторы, скорее всего мышечные веретена. Это ведет к активации alpha-мотонейронов и вызывает мышечные сокращения, аналогичные ранее описанному «тоническому вибрационному рефлексу» (6,11,15). Первоначально WBV тренинг использовали элитные спортсмены для улучшения скоростно-силового совершенства. Относительно недавно этот тренинг пришел в европейские оздоровительные и фитнес клубы как альтернативный метод тренировки. Тем не менее, необходимо научное обоснование преимуществ WBV в фитнесе и здоровье. Bosco et al. (3,5) выявили увеличение показателя сила-скорость, сила-мощность и вертикальный прыжок непосредственно после одной сессии WBV. Исследование с плацебо показало, что одиночное воздействие WBV транзиторно улучшает изометрическую силу коленных экстензоров и выполнение вертикального прыжка на 3.2% и 2.5% соответственно (22). Эти эффекты зарегистрированы через 2 мин после воздействия, но исчезали в следующие 60 минут. Некоторые исследования анализировали эффект WBV на показатели работы мышц в течение длительного периода. Bosco et al. (2) сообщили эффект 10-мин тренировочной программы ежедневных серий (5 - 90 s) вертикальных синусоидальных вибраций при частоте 26 Hz. Они выявили значительное улучшение высоты и механической мощности во время 5-секундного непрерывного прыжкового теста. Было предположено, что WBV возможный окончательный результат нейромышечной адаптации подобен эффекту взрывного силового тренинга. Тем не менее, 10 d тренинг очень короткий, чтобы определить долговременные эффекты WBV. Runge et al. (20) показали рост на 18% времени подъема со стула у старых людей после 12 недель WBV (27 Hz). Недавно, Torvinen et al. (23) сообщили значительное увеличение выполнения прыжка (8.5%) и незначительное увеличение изометрической силы экстензора конечности (2.5%) после 4-х месяцев воздействия WBV (25–30 Hz) у молодых не тренированных взрослых людей. Ни в одном из исследований не применяли плацебо и поэтому невозможно определить является результатом выполнения упражнения на платформе тренировочный эффект на силу и выполнение прыжка. К тому же есть исследования подходящие для сравнения эффекта WBV и резистивного тренинга на мышечную силу. Это первое долговременное исследование дифференциации между эффектами, возникающими при упражнениях на платформе с вибрацией и без вибрации (плацебо) и сравнить эффекты WBV и резистивного тренинга с помощью тренажеров на уровне средней интенсивности. Поэтому, изменения в изометрической, динамической, баллистической силе экстензора колена и высоты прыжка (counter-movement jump, CMJ) были проанализированы у молодых женщин при 12-недельном периоде тренинга. Поскольку WBV вызывает высокий уровень мышечной активации, было высказано предположение, что WBV будет результатом увеличения силы у предварительно не тренированных субъектов. Эти силовые приросты должны быть значительно выше, эффекты тренинга при выполнении идентичной физической программы в отсутствии вибрации (условие плацебо). Как известно, тонический вибрационный рефлекс облегчает активацию высокопороговых двигательных единиц и рефлекторную чувствительность (1,18), WBV тренинг может быть более эффективным для улучшения баллистической силы и выполнения прыжка по сравнению с резистивным тренингом умеренной интенсивности.

Методы

Экспериментальный подход к проблеме

В этом исследовании участвовало 4 группы испытуемых для выявления влияния 12-недельного WBV-тренинга (3 раза в неделю) на увеличение силы коленного экстензора, и будет ли умеренный резистивный тренинг эффективнее улучшать баллистическую и взрывную силу у предварительно не тренированных субъектов. Четыре группы включали группу WBV, группу резистивного тренинга, контрольную группу и группу плацебо. Последняя группа была создана для выявления тренирующего эффекта упражнений от того, что они выполняются на платформе или в результате действия вибрации, вызывающей мышечную активацию. Изометрическая и баллистическая силы экстензоров колена измеряли до- и после тестовых условий. Взрывную силу измеряли посредством прыжкового теста (СМЖ).

Субъекты и дизайн исследования

Группа из 74 молодых женщин (возраст 21.5+ 1.9 лет; масса тела 61.6+ 9.1 кг; рост 165.3+ 10.3 см) добровольно участвовала в исследовании. Никто из них не занимались регулярно физической активностью или спортом для тренировки силы. Противопоказанием для участия была беременность, острая грыжа и некоторый анамнез мышечно-скелетных проблем. Субъекты в анамнезе с диабетом и эпилепсией также не включались в группу. Все испытуемые были информированы относительно тренинга и тестового протокола и возможных рисков и преимуществ исследования. Все подписали согласие на участие. Это исследование было одобрено University's Human Ethics Committee в соответствии с Хельсинкской декларацией. Анализ показал, что экспериментальные группы должны состоять минимум из 20 испытуемых. Все субъекты рандомизированно подвергались одному из трех воздействий: WBV, $N = 20$; placebo vibration (PL, $N = 21$), resistance training (RES, $N = 20$) или контрольная группа (CO, $N = 13$). Все программы воздействия состояли из 36 тренировочных сессий в пределах 12-недельного периода. Частота тренинга составила 3/неделю и 1 день отдыха между двумя сессиями. Контрольная группа не участвовала в тренировочной программе.

WBV и плацебо условия

Испытуемые групп WBV и PL выполняли статические и динамические коленные экстензорные упражнения на вибрирующей платформе: присед, глубокий присед, широкий присед, присед на одной ноге и выпад. Кстати, не было научно-обоснованной, долговременной программы WBV-тренинга. Тем не менее, мы разработали 12-недельную WBV программу с низкой тренирующей нагрузкой вначале и прогрессивно нарастающей на принципе сверхнагрузки. Объем тренировки возрастал систематически на протяжении 12-недель путем увеличения длительности одной вибрационной сессии, числа серий в одном упражнении или числа различных упражнений.

TABLE 1. Training volume and training intensity of the WBV program.

	Start	End
Volume		
Total duration of vibration in one session (min)	3	20
Series of one exercise (N)	1	3
Different knee-extensor exercises (N)	2	6
Longest duration of vibration loading without rest (s)	30	60
Intensity		
Rest period between exercises (s)	60	5
Vibration amplitude (mm)	2.5	5
Vibration frequency (Hz)	35	40

The status of each variable is described at the start and at the end of the 12-wk training period.

плацебо (PL) субъекты, стоя на платформе могли слышать мотор и ощущать колебания, но ускорение платформы было только 0.4 g (Table 2) незначительной амплитуды. Биполярная поверхностная EMG (Noraxon Myosystem 2000), регистрировалась от m. rectus femoris, m. gastrocnemius, иллюстрировала отличие между воздействием WBV и PL на мышечную активность.

TABLE 2. Maximal acceleration (g) on the WBV platform at low (2.5 mm) and high (5 mm) peak to peak amplitude and on the PL platform (amplitude negligible).

AMP	FREQ	WBV Platform	PL Platform
Low	35 Hz	2.28	0.38
	40 Hz	2.71	0.37
High	35 Hz	3.91	0.41
	40 Hz	5.09	0.40

g is the Earth's gravitational field or 9.81 m s⁻².

AMP is the vibration amplitude.

FREQ is the vibration frequency.

Каждые 3 недели инструкторы опрашивали субъектов в обеих группах относительно отношения и удовлетворения субъектов. Как группа WBV, так и PL тренировались в разных комнатах и в разные моменты. Они не могли сравнивать оба условия, и они не могли оценить их тренировочный опыт. Инструкторы внимательно наблюдали все тренировочные сессии во всех группах.

Интенсивность тренинга увеличивали путем уменьшения периода отдыха или увеличением амплитуды (2,5-5 мм) и/или частоты (35–40 Hz) вибрации (Table 1). Вибрационная платформа (Power Plate®) продуцировала вертикальные синусоидальные вибрации при частоте между 35 и 40 Hz. «Peak-to-peak» амплитуда вибраций была 2.5 mm при низкой амплитуде и 5 mm при высокой амплитуде. Ускорение платформы регистрировали с помощью акселерометра (Monitran, MTN 1800) и она варьировала между 2.28 g и 5.09 g (Table 2). В условиях

Положение приседа на платформе во время WBV ведет к увеличению в мышечной активности как m. rectus femoris, так и m. gastrocnemius, в то время как в условии PL этого не было (Fig. 1). Во время всех вибрационных сессий субъекты были одеты в одну гимнастическую обувь для стандартизации демпфирования, вызванного обувью. Субъектов просили сообщать возможные стороны эффектов или нежелательных реакций в их тренировочном дневнике.

Резистивный тренинг

Группа RES тренировалась в университетском фитнес центре. После стандартной разминки, состоящей из 20-мин шагания, бега или педалирования, они выполняли умеренную тренинг программу для экстензоров колен на аппарате «leg-press» и «leg-extension» (Technogym®). Программа была с медленно нарастающей нагрузкой, аналогично программе WBV, с начальным стартовым порогом 20/мин в первые 2 недели. Тренирующая нагрузка возрастала на 15 RM в следующие 3 недели, и другие 3-недели на 12 RM. Субъекты тренировались при 10 RM во время последней 4 недели. Сгибание и разгибание ноги выполнялась в постоянном темпе до полного утомления и с предписанной частотой. Стартовая нагрузка была определена специалистом во время первой тренировочной сессии. Во время всего тренировочного периода проводилось наблюдение за субъектами, если они были способны выполнять предписанную нагрузку два или больше повторов сверх предписанного числа (14). Субъекты выполняли два сета повторов на каждом аппарате с 1 мин отдыхом между сетами.

Тесты. Сократительные свойства экстензоров колен выявляли на старте (pretest) исследования и после 12 недель тренинга (posttest). Все субъекты участвовали в стандартных разминках и тестовом протоколе на motor-driven dynamometer (REV9000, Technogym®), содержащим изометрические тесты, динамические тесты и баллистические тесты для коленных экстензоров. Дополнительно все субъекты выполняли вертикальный прыжок (CMJ). Субъектов просили выполнять с максимальной интенсивностью тесты. Во время стандартной разминки, субъекты осуществляли разные типы сокращений для освоения всех тестовых условий до тестирования. Posttests выполняли, по крайней мере, через 72 часа после последней тренировочной сессии, чтобы выявить некоторый острый эффект тренировочных сессий на тестовые результаты.

Динамометрия. Изометрические, динамические и баллистические тесты выполнялись унилатерально на правой стороне в положении сидя а стуле, наклоненном назад на 15°. Верх ноги, бедра и плечи были стабилизированы с помощью ремней. Ротационная ось динамометра выравнивалась с поперечной осью коленного сустава и соединялась с дистальным концом большеберцовой кости с помощью длинного регулируемого ригидного рычага. Регулировка динамометра систематически контролировалась путем проверки позиции рычага относительно анатомически референтных точек во время пассивных движений. Трех-направленные позиции ротационной оси, позиция стула и длина рычага были идентичными в pre- и post-test условия.

Изометрическая сила (ISO). Субъекты выполняли дважды произвольно изометрическое сокращение коленных экстензоров. Угол коленного сустава был 130°. Изометрическое сокращение продолжалось 3 сек каждое, и было разделено 2-мин интервалом отдыха. Наивысший вращающий момент (N·m) регистрировался как изометрическое силовое действие. Внутрикласовый корреляционный коэффициент (ICC) для «test-retest» достоверности изометрической силы, зарегистрированный в сравниваемых группах не тренированных женщин был равен 0.93.

Динамическая сила (DYN). Субъекты выполняли серии из 4-х последовательных изокинетических сгибательно-разгибательных движений против рычага динамометра, который двигался со скоростью 100°·s⁻¹. Коленная экстензия в начале была при угле сустава 90° и в конце 160°. После каждой экстензии, нога возвращалась пассивно в стартовую позицию, относительно которой тот час же начиналось следующее сокращение. Максимальная динамическая сила определялась как пик вращательного момента (N·m), зарегистрированного во время этих серий коленных экстензий. ICC для «test-retest» достоверности динамической силы, зарегистрированный в сравниваемых группах не тренированных женщин, составлял 0.98.

Баллистическая сила (BAL). Субъекты выполняли баллистические тесты коленных экстензий. Их просили выполнять голенью с максимально большой скоростью разгибание от угла 90° до угла 160°. Это упражнение выполнялось однократно без внешней нагрузки на рычаг (0%), сопровождалось тремя идентичными тестами с контролируемым сопротивлением на рычаг. Таким образом, степень сопротивления определялась как процент от изометрического максимума в коленном угле, от которого начиналось движение (90°). Баллистические тесты выполнялись с сопротивлением 20%, 40% и 60% от этого изометрического максимума. При каждом тесте определялась максимальная скорость рычага (°·s⁻¹) для выявления баллистической силы. ICC для «test-retest» достоверности максимальной скорости во время баллистических тестов, зарегистрированный в сравниваемых группах не тренированных женщин варьировал между 0.87 и 0.96, в зависимости от сопротивления.

FIGURE 1—Root means square (RMS) EMG activity (mV) in the m. rectus femoris (top) and in the m. gastrocnemius (bottom) recorded in static half squat position. The preamplified signal (gain 80 dB) was bandpass filtered (15–10,000 Hz) before sampling at 2000 Hz. RMS-EMG activity was calculated of the rectified EMG signal for a period of 10 s prior vibration, during vibration, and after vibration at 35 Hz with a vertical peak to peak amplitude of 5 mm.

Взрывная сила. Вертикальный прыжок (СМЖ) с положением рук на талии, использовали для оценки взрывной емкости действия нижней конечности (4) после растягивающего укорочения мышц. Этот тест выполнялся на мате, регистрируя время полета в миллисекундах. Полученное время полета (t) затем использовали для определения увеличения в центре гравитации (h), т.е. $h = \frac{gt^2}{8}$, where $g = 9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Лучшая из трех попыток была зарегистрирована для тестового зачета. ICC для «test-retest» достоверности выполнения СМЖ, зарегистрированной в сравниваемых группах, не тренированных женщин был 0.99.

Статистический анализ. Эффект разных воздействий на силовые параметры анализировали с помощью ANOVA [4 (group) _ 2 (time)] (GLM), используя метод наименьшего квадрата (LS means). После всего находилась значимость *F*-величины, анализировалось различие для выявления значимости эффектов (prepost, между группами). Коррекцию Bonferroni выполняли для уточнения *P*-величины в отношении количества различий, которые выполнялись. Все анализы оформлялись, используя статистический пакет Statistica, version 6 (Statsoft, Inc.). Значимая величина была $P = 0.05$.

Результаты

Тренировочные работы, согласие и исключение

В группах WBV и PL субъекты очень быстро хорошо ознакомились с протоколом упражнений. Не было сообщено о нежелательных эффектах. Большинство субъектов выполняли вибрационную нагрузку (WBV group) как приятную и утомительную, но они не как тяжелую работу. Супервизоры не сообщили о сомнениях, касающихся модальностей тренинга в группе PL. Все из этих субъектов (PL) подтверждают, что они были участниками реальной программы WBV. Во время первых недель исследования семь субъектов прекратили свое участие: двое субъектов каждой группы (RES, WBV, and PL), соответственно и один субъект из контрольной группы (CO). Все отказы были обусловлены несовместимостью с тестом/тренинг программой и другими обстоятельствами (работа, учеба и др.).

Все оставшиеся субъекты тренировочных групп (WBV, PL и RES) выполнили 36 тренировочных сессий. Некоторым субъектам нужна была еще одна неделя для выполнения всех сессий, поскольку они пропустили до трех сессий во время 12-недельного периода. Характеристики 67 субъектов, которые выполнили все pre и post тесты приведены в Table 3. Не было значительного различия в возрасте, массе тела и росте большинства испытуемых на старте исследования (Table 3).

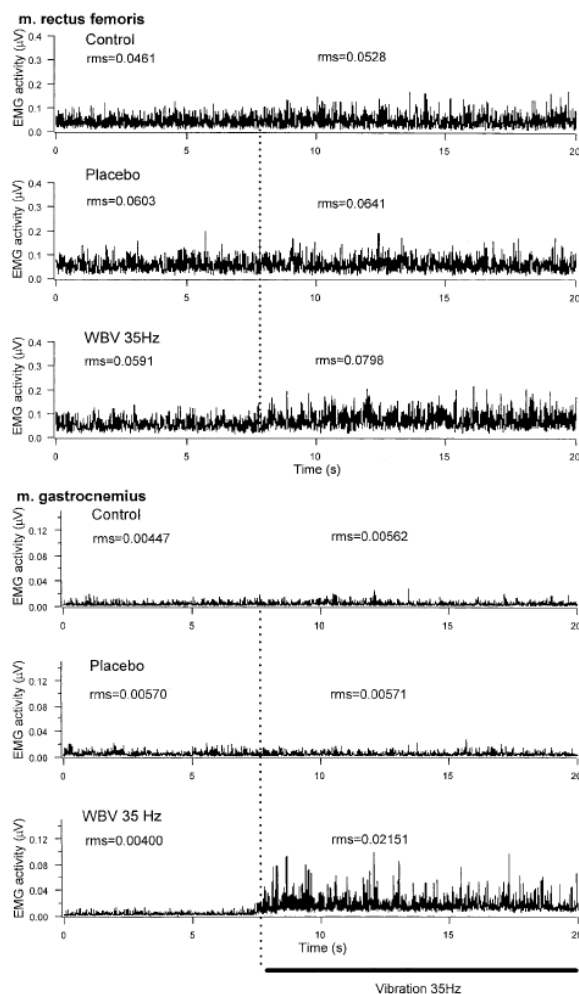


TABLE 3. Physical characteristics of the subjects in the different groups.

	RES (N = 18) Mean ± SD	WBV (N = 18) Mean ± SD	PL (N = 19) Mean ± SD	CO (N = 12) Mean ± SD	P Value
Age (yr)	21.4 ± 2.1	21.5 ± 2.1	22.2 ± 1.4	20.6 ± 1.7	0.106
Body mass (kg)	58.1 ± 6.9	63.5 ± 8.4	62.1 ± 9.5	63.3 ± 11.8	0.380
Height (cm)	165.2 ± 6.3	167.5 ± 4.8	165.3 ± 7.2	162.1 ± 20.8	0.443

Values are mean ± SD.

P value: results of one-way ANOVA between group means.

Мышечная характеристика. Для изометрической силы было установлено значительный эффект взаимодействия (группа/время) [$F(3)_15.94$, $P < 0.001$]. Сравнительный анализ выявил, что изометрический вращательный момент коленного экстензора (Fig. 2) значительно возрастал по окончании ($P = 0.001$) сверх 12 недель в группе RES ($14.4 \pm 5.3\%$) и в группе WBV group ($16.6 \pm 10.8\%$) в то время как в группах PL- или CO не выявлено значимого увеличения. Выявлен значительный эффект взаимодействия относительно динамической силы [$F(3)_7.81$, $P < 0.001$]. Сравнительный анализ показал существенное увеличение ($P < 0.001$) в динамической силе (Fig. 2) для группы RES ($7.0 \pm 6.2\%$) и группы WBV ($9.0 \pm 3.2\%$). Группы PL и CO не имели улучшения в динамической силе. Баллистический тест выявил не значительный эффект при не нагруженной скорости движения ($P = 0.05$, 0%) или скорости движения со стандартизированным сопротивлением (20%, 40% или от 60% от максимальной изометрической силы). Высота CMJ выявила значительный эффект взаимодействия (группа/время) [$F(3)_5.88$, $P = 0.001$]. Сравнительный анализ прояснил, что высота прыжков значительно возрастала ($P < 0.001$) по окончании 12 недель в группе WBV ($7.6 \pm 4.3\%$), но сохранялась неизменной в других группах (Fig. 4).

Обсуждение

Это первое контролируемое плацебо исследование, которое сравнивает эффект 12недельной тренировки WBV и резистивного тренинга на силу коленного экстензора и выполнение прыжка (CMJ) у предварительно не тренированных субъектов. Результаты исследования дают понять, что сила и более специфическая изометрическая и изокинетическая сила значительно улучшаются после тренинга на WBV.

Величина силы возрастает при изометрической и динамической силе четырехглавой мышцы бедра на 16.6% и 9.0%, соответственно. Это сравнимо с тем, что имеет место при резистивных тренировочных сессиях, 14.4% и 7.0%, соответственно.

Дополнительно, высота прыжка (CMJ) как мера взрывной силы укорочения мышц, возрастала на 7.6% в группе WBV и не изменялась в какой-либо другой группе. Данные этого исследования показывают, что сила возрастает в группе WBV и это не связано с эффектом плацебо. Кроме того, этот тренирующий эффект нельзя отнести к острому ответу, так как измерения были проведены, по крайней мере, через 72 часа после последней тренировочной сессии. Тренинг WBV и сокращение мышц, вызываемое им, кажется, является эффективным стимулом для увеличения мышечной силы.

FIGURE 2—Mean and SD before (pre) and after (post) 12 wk in the RES, WBV, PL, and CO groups. Top: maximal isometric knee-extensor torque (ISO). Bottom: maximal dynamic knee-extensor torque (DYN). † refers to a significant interaction (group × time) effect at $P < 0.05$. * indicates that posttraining values are significantly higher than pretraining values at $P < 0.05$ (contrast analysis).

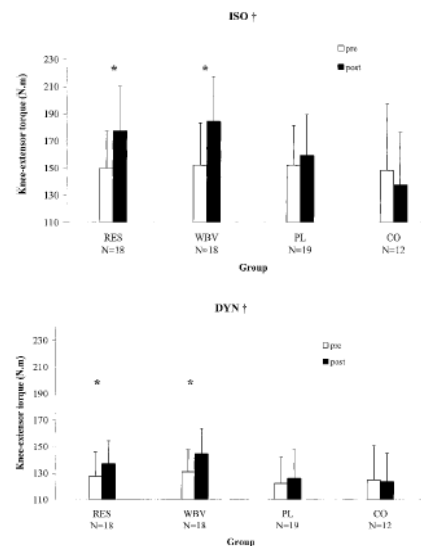


FIGURE 2—Mean and SD before (pre) and after (post) 12 wk in the RES, WBV, PL, and CO groups. Top: maximal isometric knee-extensor torque (ISO). Bottom: maximal dynamic knee-extensor torque (DYN). † refers to a significant interaction (group × time) effect at $P < 0.05$. * indicates that posttraining values are significantly higher than pretraining values at $P < 0.05$ (contrast analysis).

Улучшение прыжка (CMJ, 7.6%) сравнимо с таковым (8,5%), выявленным в исследовании Torvinen et al. (23). К тому же, Torvinen et al. (23) регистрировали увеличение на 3.7% в изометрической силе коленного экстензора после 2 месяцев тренинга WBV; этот эффект исчезает частично в последующие 2 months после WBV. В этом и следовании выявлено (+16.6%) увеличение в коленного экстензора. Это различие в в выигрыше изометрической силы может быть частично объяснено применением других тренировочных программ WBV. В исследовании Torvinen et al. (23), субъекты стояли только 4 min в течение сессии на платформе WBV, что сравнимо с систематическим увеличением объема тренинга от 3 до 20 мин в сессию этого исследования (Table 1). Sale (21) предположил, что полная активация мышцы может вести к утомлению двигательных единиц и, следовательно, к силовому приросту. Регистрации ЭМГ (Fig. 1) показывают действие WBV на мышечную активность. Возможно, что продолжительный период в положении стоя на платформе WBV ведет к полной активации моторных единиц. Однако 4-мин WBV сессии может быть слишком мало, чтобы вызвать утомление моторных единиц.

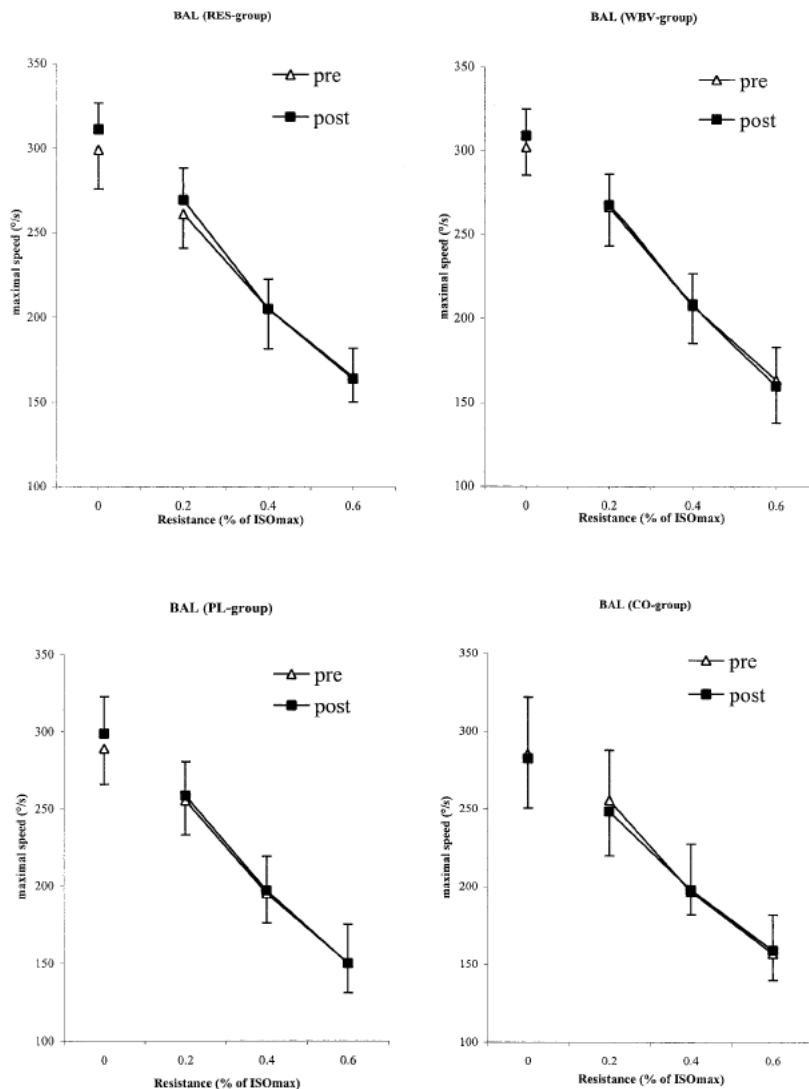


FIGURE 3—Maximal speed of movement during ballistic tests (BAL) without resistance (0%) or with resistances of 20%, 40%, and 60% of the isometric maximum (ISO_{max}). Mean and SD before (pre) and after (post) 12 wk in the RES, WBV, PL, and CO groups.

Увеличение на 3.7% изометрической силы в исследовании Torvinen et al. (23) сравнимо с незначительным увеличением изометрической силы в группе PL этой работы (4.7%) и может быть результатом статических и динамических упражнений на платформе. В общем, адаптации, которые возникают в нейромышечной системе при хронических уровнях физической активности могут оцениваться разными путями. Наиболее общий подход The most common approach заключен в различии между нервным и внутримышечным механизмами, которые изменяют мышечную мощность и силу (9). Так, резистивный тренинг в первую фазу адаптации может быть обусловлен улучшением в нервных факторах, внутримышечные факторы более важны при увеличении времени тренинга на несколько месяцев. Хотя не измеренный в нашем исследовании, некоторый процент гипертрофии мог иметь место после 12 недель резистивной и нельзя исключить, что это происходит в группе с WBV. У крыс показано увеличение медленных и быстрых сократительных волокон под влиянием вибрационного воздействия (16). Однако, хорошо известно, что поперечное поле мышцы не увеличивается в том же степени, что и максимальная сила. Поэтому внутримышечные адаптации не рассматриваются как наиболее важный механизм, ответственный за прирост силы после 12 недель тренинга (12,19). Данные показывают, что произвольная активация является лимитирующим фактором для развития силы и улучшения в силе, развиваемой через единицу поперечного сечения для начального роста в силе (10). Возможно, что WBV вызывает биологическую адаптацию, которая связана с нервным потенцирующим эффектом, наподобие того, что развивается при резистивном тренинге и тренинге взрывной силы. Недавно, было предположено, что резистивный тренинг может изменять связь между кортикоспинальными клетками и спинальными мотонейронами (7,8). Интернейроны в спинном мозге получают вход от афферентных волокон, нисходящих волокон и волокон других интернейронов и однозначно меняют активность мотонейронов. Взаимодействие между разными входами на интернейронные сети предопределяет какие моторные единицы рекрутируются во время движения.

Активация мотонейронов как через кортикоспинальные клетки, так и спинальные рефлекторные пути частично детерминируют способ, которым супраспинальные и сегментарные элементы взаимодействуют для того, чтобы установить уровни возбудимости межнейронных цепей. Важное следствие из этой систематизации – некоторые кортикоспинальные пути могут активировать различные популяции мотонейронов в зависимости от состояния цепей в пределах спинного мозга (7).

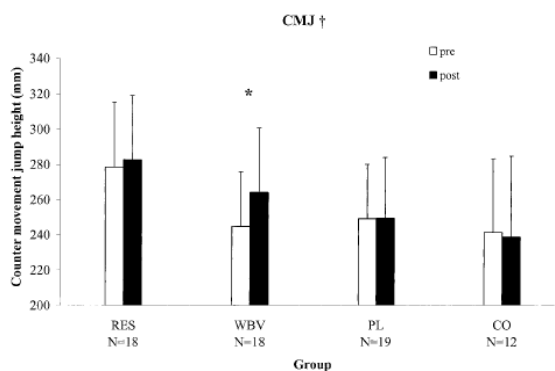


FIGURE 4—Counter movement jump height (CMJ). Mean and SD before (pre) and after (post) 12 wk in the RES, WBV, PL, and CO groups. † refers to a significant interaction (group × time) effect at $P < 0.05$. * indicates that posttraining values are significantly higher than pretraining values at $P < 0.05$ (contrast analysis).

Хорошо известно, что вход проприоцептивных путей (Ia, II, и вероятно Ib афференты) участвуют в развитии силы во время изометрических сокращений (10). Во время WBV эти проприоцептивные пути интенсивно стимулируются. Вибрационные стимулы активируют сенсорные рецепторы, которые вызывают рефлекторные мышечные сокращения. Увеличение изометрической силы после 12 недель тренинга и таковое после wk of training, and thus after обширной сенсорной стимуляции могут быть результатом более эффективного использования петли положительной обратной связи в генерации изометрической силы. Дополнительно, результаты показывают, что увеличение высоты прыжка (CMJ) вызвано вибрационным тренингом, который не проявился в группах RES, PL или CO. Komi (13) показал вовлечение рефлекса растяжения а также Ia афферентного входа в потенциацию силы во время «stretch-shortening contraction, SSC) в прыжке (CMJ). Стимуляция сенсорных рецепторов и афферентных путей при WBV может таким образом вести к более эффективному использованию рефлекса растяжения. Предполагается, что тонический вибрационный рефлекс с вызывает рефлекторную сенситизацию мышечных веретен и увеличивает облегчение рефлекторного действия мотонейронного пула. (18). Сенсорная стимуляция, которая лежит в основе мышечной активности при тренинге WBV, кажется, таким образом, ключевая в облегчении SSC в то время как резистивный тренинг с низкой сенсорной стимуляцией не улучшает CMJ. Тем не менее, это приходит на ум, когда сравниваешь данные CMJ группы RES с другими группами в нашем исследовании. В предтестовом состоянии (Fig. 4), значительно выше (> 35 мм) [$F(3)_3.99, P = 0.012$] выполнение CMJ было зарегистрировано в группе RES по сравнению со всеми другими группами. Принимая во внимание, что предтестовая изометрическая и динамическая силы были идентичными во всех группах ($P > 0.05$), это различие в выполнении прыжка (CMJ) вероятно связано с меньшим весом испытуемых этой группы (на 4–5 kg) (Table 3). Это указывает, что потенциально прогрессирование в прыжке (CMJ) минимальное в группе RES по сравнению со всеми другими группами. Хотя группа WBV не очень преуспела в выполнении прыжка CMJ и группа RES не улучшила его показатель, вполне возможно, что нет различия в посттестовых измерениях выполнения прыжка (CMJ) между RES и группой WBV (Fig. 4). Таким образом, результаты этого исследования ясно показывают значительное увеличение выполнения прыжка, когда WBV сравнивается с PL и CO, но различия в предтестовом условии могут взаимодействовать, когда эффект на CMJ сравнивается с RES. Дальнейшее исследование необходимо для анализа влияния резистивного тренинга и WBV на выполнение прыжка (CMJ). Следует подчеркнуть также, что программа резистивного тренинга в этом исследовании не имела специфичного дизайна для улучшения выполнения прыжка (CMJ). На уровне моторной единицы, возможно, что тонический вибрационный рефлекс изменяет первично способность субъектов генерировать высокую частоту в высоко-пороговых моторных единицах (1). Порог рекрутировки моторных единиц во время WBV предположительно низкий по сравнению с произвольными сокращениями (18), вероятно обусловлен более быстрой активацией и тренингом высоко-пороговых двигательных единиц. По этой причине, было высказано предположение, что тренинг WBV приводит в действие быстро-сокращающиеся волокна (17), которые имеют участвуют в развитие баллистической силы. Однако результаты данного исследования не поддерживают это предположение. Нет эффекта какого-либо вибрационного воздействия на скорость движения,

как было измерено в баллистическом тесте с сопротивлением 20, 40, от 60% относительно изометрической силы. Эти последние данные указывают, что нет значительного хронического эффекта WBV или резистивного тренинга на относительную кривую силы-скорости коленных экстензоров. Максимальная скорость движения, зарегистрированная при ненагруженных баллистических условиях, оставшихся неизменными после всяких воздействий. Какой бы механизм не лежал в основе, очевидно, что WBV вызывает произвольное мышечное сокращение у нетренированных субъектов за короткий период времени и без значительного усилия. Субъекты не оценивали тренинг WBV как изнуряющие сессии. Это свидетельствует о том, что WBV имеет большой потенциал в терапевтическом контексте, когда необходимо повысить состояние мышечной системы у пациентов и старых людей, которые не могут или не способны участвовать в стандартном физическом тренинге. Можно также повышать состояние атлетов в цикле «stretch-shortening cycle», как показывают результаты прыжкового теста (CMJ). В заключение, это первое исследование, которое демонстрирует, что стимуляция проприоцептивных путей, вызванная WBV и приводящая к увеличению мышечной активности, имеет потенциал в развитии силы коленных экстензоров у нетренированных людей так же как резистивный тренинг умеренной интенсивности. Данные этого исследования указывают, что 12 недельный тренинг WBV не обусловлен эффектом плацебо. Высота прыжка (CMJ) значительно возрастает только в группе WBV.

Результаты указывают, что возрастание силы, зарегистрированное в группе WBV, обусловлены нервной адаптацией и более эффективным использованием сенсорной информации в генерации силы. Ясно, что дальнейшее исследование WBV необходимы, чтобы раскрыть механизмы мышечных сокращений и развития силы.

This research was technically supported by Power Plate®. The authors thank Guus van der Meer, Jelte Tempelaars, and Nick De Poot for designing the WBV training program. The authors also thank Els Van den Eede and Karel Pardaens for the medical screening of the subjects. The cooperation of the subjects is greatly appreciated.

REFERENCES

1. BONGIOVANNI, L. G., K. E. HAGBARTH, and L. STJERNBERG. Prolonged muscle vibration reducing motor output in maximal voluntary contractions in man. *J. Physiol.* 423:15–26, 1990.
2. BOSCO, C., M. CARDINALE, O. TSARPELA, et al. The influence on whole body vibration on jumping performance. *Biol. Sport* 15: 157–164, 1998.
3. BOSCO, C., M. IACOVELLI, O. TSARPELA, et al. Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81:449–454, 2000.
4. BOSCO, C., P. LUHTANEN, and P. V. KOMI. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 50:273–282, 1983.
5. BOSCO, C., R. COLLI, E. INTROINI, et al. Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin. Physiol.* 19: 183–187, 1999.
6. BURKE, D., and H. H. SCHILLER. Discharge pattern of single motor units in the tonic vibration reflex of human triceps surae. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 39:729–741, 1976.
7. CARROLL, T. J., S. RIEK, and R. G. CARSON. Neural adaptations to resistance training: implications for movement control. *Sports Med.* 31:829–840, 2001.
8. CARROLL, T. J., S. RIEK, and R. G. CARSON. The sites of neural adaptation induced by resistance training in humans. *J. Physiol.* 544:641–652, 2002.
9. ENOKA, R. M. Neural adaptations with chronic physical activity. *J. Biomech.* 30:447–455, 1997.
10. GANDEVIA, S. C. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol. Rev.* 81:1725–1789, 2001.
11. HAGBARTH, K. E., and G. EKLUND. Tonic vibration reflexes (TVR) in spasticity. *Brain Res.* 2:201–203, 1966.
12. JONES, D. A., and O. M. RUTHERFORD. Human muscle strength training: the effects of three different regimens and the nature of the resultant changes. *J. Physiol.* 391:1–11, 1987.
13. KOMI, P. V. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J. Biomech.* 33:1197–1206, 2000.
14. KRAEMER, W. J., K. ADAMS, E. CAFARELLI, et al. American College of Sports Medicine position stand: progression models in resistance training for healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:364–380, 2002.
15. LANCE, J. W., D. BURKE, and C. J. ANDREWS. The reflex effects of muscle vibration. In: *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology*, J. E. Desmedt (Ed.). Basel: Karger, 1973, pp. 444–462.
16. NECKING, L. E., R. LUNDSTROM, G. LUNDBORG, L. E. THORNELL, and J. FRIDEN. Skeletal muscle changes after short term vibration. *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg. Hand Surg.* 30:99–103, 1996.
17. RITTWEGER, J., G. BELLER, and D. FELSENBURG. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin. Physiol.* 20:134–142, 2000.
18. ROMAIGUERE, P., J. P. VEDEL, and S. PAGNI. Effects of tonic vibration reflex on motor unit recruitment in human wrist extensor muscles. *Brain Res.* 602:32–40, 1993.
19. ROTH, S. M., F. M. EVEY, G. F. Martel, et al. Muscle size responses to strength training in young and older men and women. *J. Am Geriatr Soc.* 49:1428–1433, 2001.
20. RUNGE, M., G. REHFELD, and E. RESNICEK. Balance training and exercise in geriatric patients. *J. Musculoskelet. Neuron Interact.* 1:61–65, 2000.
21. SALE, D. G. Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 15:95–151, 1987.
22. TORVINEN, S., P. KANNU, H. SIEVANEN, 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.
23. TORVINEN, S., P. KANNU, H. SIEVANEN, et al. Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:1523–1528, 2002.