

Вибрация всего тела вызвала увеличение активности мышц ноги во время различных упражнений приседа

MACHTELD ROELANTS,¹ SABINE M.P. VERSCHUEREN,² CHRISTOPHE DELECLUSE,¹ ORON LEVIN,² AND VALE' RE STIJNEN¹

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

Резюме. Roelants, M., S.M.P. Verschueren, C. Delecluse, O. Levin, and V. Stijnen. Whole-body-vibration-induced increase in leg muscle activity during different squat exercises. *J. Strength Cond. Res.* 20(1):124–129. 2006.— В исследовании изучалась активность мышц ноги во время тренинга whole-body vibration (WBV). Субъекты выполняли стандартные изометрические упражнения без нагрузки на вибрирующей платформе (Power Plate): высокий присед (HS), низкий присед (LS), и присед на одной ноге (OL). Мышечную активность (rectus femoris, vastus lateralis, vastus medialis и gastrocnemius) регистрировали у 15 мужчин (возраст 21.2 ± 0.8 лет) посредством поверхностной электромиографии (EMG). Упражнения выполнялись в двух условиях: и WBV и без таковой (Контроль, control [CO]) при вибрации 35 Hz. Мышечную активность во время WBV сравнивали с CO и с мышечной активностью во время изолированных максимальных произвольных сокращений (MVCs). WBV вызывала значительно большую ($p < 0.05$) EMG по сравнению с CO во всех мышцах и при всех упражнениях (между $+39.9 \pm 17.5\%$ и $+36.0 \pm 57.5\%$). Увеличение мышечной активности, вызванное WBV было выше ($p < 0.05$) при OL в высоком (HS) и низком приседах (LS). Заключение: WBV вызывает увеличение активации мышц. Во время WBV, активность мышц ноги варьирует между 12.6 и 82.4% от величин максимального произвольного сокращения (MVC).

Ключевые слова. Поверхностная электромиография, вибрационный тренинг, тонический вибрационный рефлекс, мышечная сила

Введение. Известно, что механическая вибрация, приложенная к мышце или сухожилию стимулирует мышечные (12, 14). Активация этих рецепторов облегчает активацию alpha-мотонейронов, что вызывает рефлекторное мышечное сокращение (тонический вибрационный рефлекс) (12, 14). Этот ответ осуществляется через моно- и полисинаптические пути и сопровождается ростом активации двигательных единиц (6, 15). Многие исследования выявили, что тренинг WBV, при котором субъекты выполняют изолированные упражнения на вибрирующей платформе, ведет к улучшению мышечной силы или мышечной деятельности (3, 11, 19, 20, 24, 25). Некоторые исследования не выявили прироста силы после WBV (9, 10). Хотя WBV предлагается как метод альтернативного силового тренинга для нетренированных субъектов (7, 11, 19, 20), пока мало что известно о эффективности нейромышечной системы во время вибрации. Пока только несколько исследований было посвящено регистрации EMG во время WBV.

Одно исследование выявило, что вибрация, приложенная к руке во время максимального динамического сгибания в локте почти вдвое увеличивала величину EMG в m. biceps brachii, по сравнению с таким же упражнением, но без вибрации (2). В некоторых исследованиях сообщалось об увеличении активности в мышцах ноги, когда субъекты стояли на платформе при WBV (8, 16). Однако, ответы разных мышц при различных упражнениях пока не были исследованы. Во-первых, не ясно являются ли специфические упражнения на платформе WBV более эффективными в активации мышц, чем другие упражнения. Во-вторых, не ясно сколько мышц активируется во время WBV по сравнению с изолированным максимальным произвольным сокращением той же мышцы. В результате, это исследование направлено на изучение степени увеличения активности в разных мышцах ноги при WBV у субъектов, выполняющих 3 стандартных изометрических упражнений без нагрузки: высокий присед (HS), низкий присед (LS) и присед на одной ноге (OL). Во-первых, предполагалось, что при всех упражнениях активность мышц ноги будет выше при их выполнении на платформе. Во-вторых, предполагалось, что величина Second, it is hypothesized that the вызванной WBV активности будет зависеть от типа приседа. Чувствительность мышечных веретен, которые, как предполагается, основные участники рефлекторной мышечной активации (12, 14), выше в напряженных и предварительно активированных мышцах (4, 5). Поэтому ожидалось, что упражнение, вызывающее большую силу или высокую преактивацию мышцы приведет к значительному увеличению мышечной активности во время WBV по сравнению с упражнением в условиях короткой и более расслабленной той же мышцы. Наконец, насколько степень мышечной активации при WBV приближается к таковой при изолированном произвольном сокращении (MVC) в одной и той же мышце. Лучшее понимание мышечной активации при выполнении упражнения на платформе, несомненно, поможет определить потенциал программ WBV при восстановлении и тренинге.

Методы

Экспериментальный подход к проблеме. Чтобы проверить обе гипотезы, сформулированные во введении, в исследовании анализировали активность мышц ноги во время WBV, когда субъекты выполняли стандартные изометрические упражнения без нагрузки: HS, LS и OL. Мышечную активность в rectus femoris, vastus lateralis, vastus medialis и gastrocnemius регистрировали с помощью поверхностной EMG при разных упражнениях с WBV и без таковой (control [CO]) при вибрации 35 Hz (Power Plate). Для сравнения мышечную активацию регистрировали во время максимальных изолированных произвольных сокращений.

Субъекты

50 мужчин студентов-добровольцев физического факультета (возраст 21.2 ± 0.8 лет, рост 179.1 ± 5.9 см, вес 76.7 ± 7.6 кг) приняли участие в исследовании. Протии противопоказаниями были: острая грыжа, серьезные

нервно-мышечные проблемы в анамнезе, диабет или эпилепсия. Все субъекты дали письменное согласие на участие в работе. Исследование одобрено этическим комитетом в соответствии с Хельсинской декларацией.

Анализ EMG

Сигналы поверхностной EMG (Noraxon Myosystem 2000, Scottsdale, AZ) от rectus femoris, vastus lateralis, vastus medialis и gastrocnemius (medial) доминантной ноги регистрировали биполярными электродами, расположенными на 20-мм диске (Blue Sensor Ag/AgCl). Electroды располагали по длине в средней части брюшка мышцы с межэлектродным расстоянием (center-to-center) 25 мм. Референтный электрод крепили на предплечье правой руки. Сигналы EMG усиливали (31,000), фильтровали (15 Hz–10 kHz) и стандартизировали при 2,000 Hz (CED Power 1401, Cambridge Electronic Devices, Cambridge, UK) с целью последующего анализа. ЭМГ-кабели закрепляли для устранения двигательных артефактов.

Протокол воздействия

После установки электродов, начинали разминку со стандартного 5 мин педалирования на эргометре без сопротивления. До начала WBV протокола регистрировали мышечную активность во время выполнения изолированных MVCs, которые были изометрическими. Активность отводили от мышц: rectus femoris, vastus lateralis и vastus medialis muscle во время изолированного разгибания ноги в колене между 90° и 125° когда субъекты лежали на столе на спине. Колени находились на краю терапевтического стола. Максимальное произвольное сокращение m. gastrocnemius производили путем сгибания стопы, когда субъекты лежали на спине, и угол ступни был 90°. Мышечную активность регистрировали во время 3 стандартных изометрических сокращений с и без WBV: HS (колено под углом 125°, бедро под углом 140°), LS (угол колена и бедра 90°) и OL (угол колена 125°, угол бедра 140°). Положение строго контролировали во время всех упражнений. В дополнение, субъекты удерживали прямой спину. Каждый субъект был ознакомлен с условиями всех упражнений и стимулом до начала тестирования. ЭМГ регистрировали, когда субъекты занимали правильную позу (HS, LS или OL) на вибрационной платформе (Power Plate). В контроле мышечную активность регистрировали в течение 30 сек, когда субъекты стояли на платформе без вибрации. При WBV, мышечную активность регистрировали в течение 5 сек до действия WBV. В следующие 20 сек производили WBV при частоте 35 Hz и амплитуде 2.5 мм. После окончания 20 сек воздействия WBV, субъекты не изменяли свою позу еще в течение 5 сек. Только после этого прекращали регистрировать ЭМГ. Четыре сета каждого типа упражнений выполняли субъекты и 3 упражнения были включены в оба экспериментальных условия, т.е. контроль и WBV. Между каждым упражнением и между каждым сетом субъекты отдыхали на стуле в течение 1 мин, чтобы разгрузить мышечные веретена и устранить остаточные эффекты вибрации.

Анализ данных

Исходный ЭМГ сигнал был трансформирован в усредненный (rms). Средняя величина EMGrms в диапазоне 20 сек (колебание между 5 и 25 сек регистрации) была компьютеризирована для каждого упражнения и каждой группы мышц как в контроле, так и при WBV. Средняя величина EMGrms 4-х сетов каждого упражнения использовалась при статанализе. Эффект WBV мышечную активность назывался *вибрационным эффектом* и определялась как вызванное WBV увеличение EMGrms по сравнению с контролем. Мышечная активность в контроле и WBV были также выражены относительно измеряемых величин MVC (%MVC): для HS и DL приседа, мышечная активность четырехглавой мышцы бедра (rectus femoris, vastus lateralis и vastus medialis) была выражена относительно мышечной активности во время максимального разгибания ноги при величине угла колена в 125°; для LS, мышечная активность четырехглавой мышцы бедра выражалась относительно мышечной активности во время максимального разгибания ноги под углом колена 90°. Активность m. Gastrocnemius отражалась относительно мышечной активности во время максимального сгибания стопы под углом голеностопного сустава 90°. Данные представлены как средние величины $\pm SE$.

Статанализ

Статанализ проведен путем вариантного анализа для повторных измерений (2 [условие] x 3[тип упражнения]). После установления значимости величины F , проводили анализ выявленных эффектов вибрации при каждом упражнении и значимое различие эффекта вибрации всех упражнений. Коэффициент Bonferroni применяли для уточнения величины p во взаимосвязи с числом выявленных отличий. Все анализы выполнялись с помощью статпакета Statistica, version 6 (Statsoft, Inc., Tulsa, OK). Значимым уровнем был $p \leq 0.05$.

Результаты

M. rectus femoris

Как видно на Figure 1a и Table 1, представленная мышечная активность m. rectus femoris во время разных упражнений и активность EMGrms были всегда выше при WBV, чем в контроле без вибрации. Статанализ подтверждает эти наблюдения: выявлен значимый эффект «условия» ($F(2)=9.6$, $p < 0.001$). Сравнительный анализ выявил существенное увеличение ($p < 0.001$) вызванной активности EMGrms при WBV в HS (+115.1 \pm 16.3%), LS (+49.1 \pm 6.7%) и OL (+151 \pm 19.5%). Дополнительно, выявлено достоверное различие в эффекте вибрации большинства упражнений по фактору «условие упражнения» ($F(2)=11.2$, $p < 0.001$). Эффект вибрации на OL был значительно выше при сравнении ($p < 0.01$) с HS и LS. Эффект вибрации при HS не был значимым ($p > 0.05$) для LS.

M. Vastus Medialis

Как показано на Figure 1b и Table 1, представленная мышечная активность m. vastus medialis во время разных упражнений, активность EMGrms были выше при WBV по сравнению с контролем без вибрации ($F(2)=18.8$, $p <$

0.001). Сравнительный анализ выявил достоверное различие ($p < 0.001$) вызванного WBV увеличения активности EMGrms при HS (+102.0 +14.4%), LS (+59.0+7.4%) и OL (+124.7+9.9%). Дополнительно, выявлено существенное различие в эффекте вибрации в большинстве упражнений ($F(2)= 23.1, p < 0.001$). Эффект вибрации при OL был выше ($p < 0.001$), чем при HS и LS. Эффект вибрации при HS не был значимым ($p > 0.05$) при LS

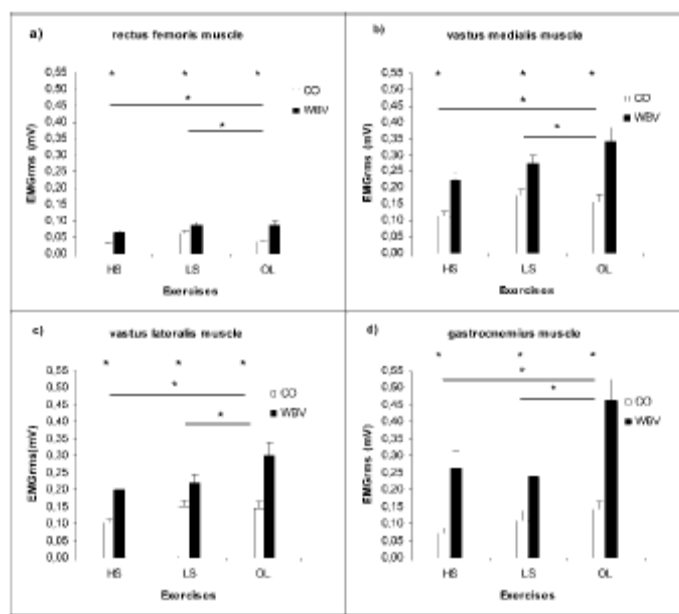


FIGURE 1. Электромиография (mV) при высоком приседе (HS), низком приседе (LS) и приседе на одной ноге (OL) в м. rectus femoris (a), vastus medialis (b), vastus lateralis (c) и gastrocnemius (d) в контроле (CO) и WBV.

*Значительное увеличение мышечной активности CO-WBV ($p < 0.05$).

* Значительное различие в эффекте вибрации между упражнениями ($p < 0.05$). Средние величины $\pm SE$.

* Для HS и OL, активность м. quadriceps выражена относительно мышечной активности во время максимального разгибания ноги под углом в коленном суставе 125° ; для LS активность м. quadriceps выражена относительно мышечной активности во время максимального разгибания ноги под углом коленного сустава 90° . Активность м. Gastrocnemius выражена относительно мышечной активности во время сгибания стопы под углом 90° . HS - высокий присед; LS - низкий присед; OL – присед на одной ноге; CO - контроль; WBV – вибрация всего тела; EMGrms - электромиография приседа; MVC – максимальное произвольное изометрическое сокращение.

† Значительное увеличение мышечной активности CO-WBV ($p < 0.05$). Средние величины $\pm SE$.

Table 1. Muscle activity of the rectus femoris, vastus medialis, vastus lateralis, and gastrocnemius muscles in HS, LS, and OL in the CO and the WBV conditions presented in absolute values (EMGrms) and as a percentage of the muscle activity during an isolated MVC (100%). Values are mean $\pm SE$ *

	Rectus femoris		Vastus medialis		Vastus lateralis		Gastrocnemius	
	EMGrms (mV)	% MVC	EMGrms (mV)	% MVC	EMGrms (mV)	% MVC	EMGrms (mV)	% MVC
HS	MVC	0.2329 \pm 0.0329	0.5410 \pm 0.0116	0.2737 \pm 0.0501	1.0929 \pm 0.1873			
	CO	0.0285 \pm 0.0031	0.1130 \pm 0.0127	30.7 \pm 23	0.1020 \pm 0.0136	27.3 \pm 38	0.0728 \pm 0.0151	3.9 \pm 0.9
	WBV	0.0670 \pm 0.0071†	0.2350 \pm 0.0256†	41.6 \pm 5.1†	0.1260 \pm 0.0265†	53.0 \pm 8.2†	0.2512 \pm 0.0604†	15.6 \pm 4.7†
LS	MVC	0.2752 \pm 0.0273	0.5335 \pm 0.0549	0.2823 \pm 0.0421	1.0929 \pm 0.1873			
	CO	0.0604 \pm 0.0060	0.1718 \pm 0.0170	31.0 \pm 26	0.1471 \pm 0.0158	37.5 \pm 3.7	0.1045 \pm 0.0216	5.6 \pm 1.4
	WBV	0.0696 \pm 0.0060†	0.2790 \pm 0.0277†	50.5 \pm 5.4†	0.2206 \pm 0.0287†	56.6 \pm 7.9†	0.2532 \pm 0.0467†	12.6 \pm 2.6†
OL	MVC	0.2329 \pm 0.0329	0.5410 \pm 0.0116	0.2737 \pm 0.0501	1.0929 \pm 0.1873			
	CO	0.0371 \pm 0.0039	0.1574 \pm 0.0179	29.1 \pm 42	0.1431 \pm 0.0192	38.3 \pm 6.9	0.1381 \pm 0.0286	7.4 \pm 1.4
	WBV	0.0675 \pm 0.0069†	0.2462 \pm 0.0269†	63.8 \pm 8.4†	0.2079 \pm 0.0413†	62.4 \pm 16.0†	0.4685 \pm 0.0972†	25.1 \pm 4.4†

* For HS and OL, quadriceps muscle activity was expressed relative to muscle activity during maximal leg extension at a knee angle of 125° ; for LS, quadriceps muscle activity was expressed relative to muscle activity during maximal leg extension at a knee angle of 90° . Gastrocnemius muscle activity was expressed relative to muscle activity during maximal plantar flexion of the foot at an ankle angle of 90° . HS = high squat; LS = low squat; OL = 1-legged squat; CO = control; WBV = whole-body vibration; EMGrms = electromyography root-mean-square; MVC = maximal voluntary contraction.

† Significant increase in muscle activity CO-WBV ($p < 0.05$). Values are mean $\pm SE$.

M. Vastus Lateralis

Как показано на Figure 1c и Table 1, представленная мышечная активность м. vastus lateralis во время разных упражнений, активность EMGrms были выше при WBV, чем в контроле без вибрации ($F(2)=8.9, p < 0.001$). Сравнительный анализ выявил достоверное различие ($p < 0.001$) увеличения активности EMGrms при WBV в условии HS (+92.5 \pm 14.8%), LS (+51.7 \pm 7.8%) и OL (+115.3 \pm 15.2%). Кроме того, выявлено достоверное различие большинства упражнений ($F(2) = 19.5, p < 0.001$). Эффект вибрации при OL был выше ($p < 0.01$) по сравнению с HS и LS. Эффект вибрации при HS был не значимым ($p > 0.05$) по сравнению с LS.

M. Gastrocnemius

Как показано на Figure 1d и Table 1, представленная мышечная активность м. gastrocnemius во время различных упражнений, активность EMGrms были выше при WBV, чем в контроле без вибрации ($F(2)=19.4, p < 0.001$). Сравнительный анализ выявил существенное увеличение активности EMGrms ($p < 0.001$) при WBV в условии HS (+301.3+48.8%), LS (+134.1+20.6%) и OL (+360.6+57.5%). К тому же, выявлено существенное различие

эффекта вибрации в большинстве упражнений ($F(2)=26.5, p < 0.001$). Эффект вибрации при OL был выше ($p < 0.01$) по сравнению с HS и LS. Эффект вибрации при HS был выше ($p < 0.05$), чем при LS.

Максимальное произвольное сокращение

Table 1 представляет мышечную активность разных мышц в контроле и при WBV, выраженную в процентах относительно мышечной активности изолированного MVC. Все мышцы показывали существенное увеличение ($p < 0.05$) в активности (%MVC), вызванное WBV. Во время упражнений WBV, мышечная активность выраженная в процентах от величин MVC (100%) варьировала в зависимости от упражнения: между 26.5 и 34.6% в м. rectus femoris; между 41.6 и 63.8% в м. vastus medialis; между 53.0 и 82.4% в м. vastus lateralis и между 12.6 и 25.1% в м. gastrocnemius. Во время WBV EMG в м. vastus medialis и vastus lateralis при OL была выше 63.8+8.4% и 82.4+16.0% от величин MVC, соответственно.

Обсуждение

Это первое исследование в котором внимание уделено увеличению активности мышц ноги под влиянием WBV во время выполнения стандартных изометрических упражнений: HS, LS и OL. Первая гипотеза этого исследования была подтверждена, так как мышечная активность (EMGrms) существенно возрастала во время WBV при 35 Hz во всех мышцах и при всех упражнениях относительно фона. В подтверждение второй гипотезы величина этого увеличения мышечной активности, вызванной WBV (эффект вибрации) различался во всех упражнениях и всех мышцах, варьируя между $+39.9 \pm 17.5\%$ и $+360.6 \pm 57.5\%$. Величина эффекта вибрации была выше при OL, чем при HS и LS. Во время WBV активация мышц ноги варьировала между 12.6 и 82.4% от величин MVC.

Cardinale и Lim (8) показали, что увеличение EMGrms на 34% в м. vastus lateralis, когда субъекты стояли на платформе при 30 Hz и амплитуде 10 mm в позиции высокого приседа (HS). Это увеличение активности конечно ниже, по сравнению с таковым при WBV в м. vastus lateralis на $92.5 \pm 14.8\%$ при HS. Справедливо заключить, что это различие в эффекте вибрации обусловлено различием в дизайне исследования: частота вибрации (30 Hz против 35 Hz), амплитуда вибрации (10 mm против 2.5 mm) и угол колена (100° против 125°). Несмотря на это, в обоих исследованиях показано увеличение мышечной активности (EMGrms) при WBV, что можно объяснить стимуляцией мышечных веретен и рекрутировкой ранее неактивных двигательных единиц и синхронизацией активных двигательных единиц (13, 15). В контексте второй гипотезы следует подчеркнуть, что величина вызванной действием WBV мышечной активации была разной в упражнениях. Эти данные совпадают с ответами ЭМГ мышц руки и плеча на вибрацию во время разных позиций сверления (21). По-видимому, мышцы с большей длиной или большей степенью преактивации больше подвергаются действию вибрации (21). Два основных фактора были определены как потенциальные посредники эффектов вибрации: (а) длина мышцы и (б) мышечная преактивация (13, 16). Эффект вибрации выше в более растянутых мышцах, поскольку это увеличивает чувствительность мышечных веретен во время растяжения (4, 17). Очевидно, что длина односуставных мышц (vastus lateralis и vastus medialis) больше, когда колено находится в более согнутом положении. Однако, в этих мышцах эффект вибрации не значительный во время Низкого приседа по сравнению с высоким приседом. К сожалению, изменение положения от HS к LS изменяет, которые могут маскировать эффект длины. Дальнейшие исследования сравнения упражнений с более выраженным и лучше контролируемым различием в длине мышц, вероятно, позволят выявить действие длины мышцы на величину вибрационного эффекта. Однако, Это исследование было сфокусировано на эффекте вибрации при традиционных упражнениях WBV. Второй фактор, который может играть роль в вибрационной чувствительности мышцы, это степень начальной мышечной активности во время индивидуального упражнения в условиях контроля. В одном исследовании показано, что тонический вибрационный рефлекс возрастал по мере начального уровня сокращения мышцы (18). Предполагалось, что эффект вибрации будет больше в упражнениях, в которых рецепторы находятся в преактивированном состоянии до начала вибрации, поскольку мышечные веретена более чувствительны к вибрации во время произвольного сокращения по сравнению с расслабленной мышцей (5,22). В настоящем исследовании увеличение мышечной активности, вызванное WBV было более значительным в положении OL по сравнению с позициями HS и LS. Когда вес всего тела на одной ноге (OL), а не на двух (HS), то имеет место небольшое увеличение в мышечной активности ($p < 0.05$). Даже незначительная преактивация может вести к увеличению чувствительности мышечных веретен вследствие alpha-gamma коактивации (5) и может, таким образом, объяснить больший эффект вибрации при OL по сравнению с HS. Однако большая преактивация при LS по сравнению с OL не ведет к большему эффекту вибрации у исполнителя. Таким образом, ясно, что уровень преактивации не объясняет всей картины. В этом аспекте, можно утверждать, что гипотезы, рассматривающие механизмы действия WBV на мышечную активацию, такие как влияние мышечной длины и мышечной преактивации, (4, 5), в основном базируются на данных изолированной мышечной вибрации (2, 3, 7, 11, 25). Это сохраняет неясность в отношении связи этих данных с WBV (9, 10). В настоящем исследовании эффект вибрации зависел от расстояния между мышцей и вибрирующей платформой. Например, при высоком приседе (HS, Figure 1) относительная мышечная активность, вызванная в м. gastrocnemius была выше ($+301.3 \pm 48.8\%$) по сравнению с бедренными мышцами более отдаленными от платформы: м. rectus femoris ($+115.1 \pm 16.3\%$), м. vastus medialis ($+102.0 \pm 14.4\%$) и м. vastus lateralis ($+92.5 \pm 14.8\%$). Очевидно, что в мышцах, расположенных ближе к WBV платформе, вибрационный стимул меньше демпфируется вследствие неподвижности мышцы и скелетного сегмента (16). Данные этого исследования, несомненно, показали существенное увеличение мышечной активности во время WBV против

контроля. Положение на одной ноге вызывает наибольший эффект вибрации. Определяя потенциальную роль упражнений WBV силовых стимулов, следует подчеркнуть, что важны как амплитуда вибрационного эффекта, так и общая степень мышечной активации. Во время WBV мышечная активность м. vastus medialis и vastus lateralis при OL достигала прироста на 63.8±8.4% и 82.4±16.0% от величин MVC. При HS и LS активность м. vastus lateralis и vastus medialis во время WBV была между 41.6±5.1% и 58.8±7.9% от величин MVC. Мышечная активность м. rectus femoris во время WBV достигала менее чем 50% от максимальной активации во всех упражнениях (Table 1). Возникает вопрос, а достаточны ли эти низкие и средние уровни мышечной активности в качестве силовых стимулов, особенно когда мы рассматриваем факт, что мышечная активация во время WBV оценивается как процент от активации MVC, зарегистрированной от изолированного мышечного сокращения. В недавнем исследовании показано значительная мышечная активность во время максимального изометрического приседа по сравнению с более изолированной активацией четырехглавой мышцы путем максимального разгибания ноги (1). Если мышечная активность во время WBV в настоящем исследовании оценивалась относительно величин максимального приседа, то мышечная активация будет вероятно как низкая. Вопреки средне-низкому уровню мышечной активации во время WBV, несколько исследований четко показали, что тренинг WBV ведет к улучшению силы экстензоров колена и выполнения прыжка, сравнимому с данными после резистивного тренинга средней интенсивности (11, 19, 20). В плацебо исследовании те же самые параметры вибрации (35 Hz и 2.5 mm) вызывали рост силы после 12 недель тренинга WBV у нетренированных женщин (20 3 1-minute vibration exposure per session) и это не было связано с выполнением упражнений на платформе без вибрационной нагрузки (11). В другом исследовании по программе WBV (30 Hz, 8 mm, 8 3 1-minute vibration exposure per session) не выявлено улучшения показателей мышц после 11 недель тренинга WBV (10). Многие авторы предполагают, что силовой эффект после тренинга WBV может быть связан с нервными адаптациями в отсутствие морфофизиологических адаптаций мышцы (3, 7, 11, 20). Нервная адаптация может объяснить, каким образом различные исследования находят улучшение мышечных показателей (23) после тренинга WBV, даже когда мышечная активация во время WBV в некоторых мышцах скорее низкая, чем средняя. В заключении, в настоящем исследовании анализировалось вызванное WBV увеличение мышечной активности мышц ноги во время изометрических стандартных упражнений без нагрузки: HS, LS и OL. Результаты ясно показали во всех упражнениях значительное увеличение активности (EMGrms) в тестируемых мышцах ноги во время WBV при 35 Hz по сравнению с контролем. Результаты OL были выше, чем при HS и LS. Во время WBV активация мышц ноги варьировала между 12.6 и 82.4% от величин MVC.

Практическое применение

Это исследование анализировало мышечную активацию во время WBV. Субъекты выполняли наиболее общие и часто используемые изометрические упражнения на вибрирующей платформе (35 Hz и 2.5 мм): HS, LS и OL. Тренерам и физиотерапевтам полезно знать, что все 3 упражнения WBV вызывают значительное увеличение в активности мышц ноги по сравнению с такими же упражнениями без WBV. Это отчетливое увеличение в мышечной активности, вызванное WBV (вибрационный эффект), разное в разных упражнениях и в разных мышцах (варьирует между +139.9±17.5% и +360.6±57.5%). Упражнение OL более эффективно для инициации дополнительной мышечной активности во время WBV. Мышцы ноги, расположенные ближе к платформе (gastrocnemius против rectus femoris) показывают больший эффект вибрации. Во время WBV активация мышц варьирует между 12.6 и 82.4% от величин, зарегистрированных во время изолированного MVC этой же мышцы. Хотя активация мышц ноги во время WBV достигала порядка 82.4% от величин MVC при упражнениях OL, мышечная активность при упражнениях LS и HS была низкой или умеренной. Это указывает на то, что мышечно-скелетное проявление при WBV в некоторых группах мышц во время упражнений приседа довольно ограничено. Однако WBV может иметь высокое влияние на нейромышечную систему (3, 7, 11, 19). Это, вероятно, объясняет, каким образом в нескольких предыдущих исследованиях происходило улучшение мышечной силы и мышечной функции после WBV у нетренированных субъектов (11, 19, 20, 25). Настоящее исследование проливает свет на совершенствование нейромышечной системы при WBV. Эта информация может помочь профессионалам здоровья, фитнеса и терапии определить потенциальные программы восстановления и тренинга WBV.

REFERENCES

1. BEHM, D.G., J.E. POWER, AND E.J. DRINKWATER. Muscle activation is enhanced with multi- and uni-articular bilateral versus unilateral contractions. *Can. J. Appl. Physiol.* 28:38–52. 2003.
2. 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.* 79:306–311. 1999.
3. BOSCO, C., M. IACOVELLI, M.O. TSARPELA, M. CARDINALE, M. BONIFAZI, J. TIHANYI, M. VIRU, A. DE LORENZO, AND A. VIRU. Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81:449–454. 2000.
4. BURKE, D., K.E. HAGBARTH, L. LOFSTEDT, AND B.G. WALLIN. The responses of human muscle spindle endings to vibration of non-contracting muscles. *J. Physiol.* 261:673–693. 1976.
5. BURKE, D., K.E. HAGBARTH, L. LOFSTEDT, AND B.G. WALLIN. The responses of human muscle spindle endings to vibration during isometric contraction. *J. Physiol.* 261:695–711. 1976.
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. CARDINALE, M., AND C. BOSCO. The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 31:3–7. 2003.
8. CARDINALE, M., AND J. LIM. Electromyography activity of vastus lateralis muscle during whole-body vibrations of different frequencies. *J. Strength Cond. Res.* 17:621–624. 2003.

9. DE RUITER, C.J., R.M. VAN DER LINDEN, M.J.A. VAN DER ZIJDEN, A.P. HOLLANDER, AND A. DE HAAN. Short-term effects of whole-body vibration on maximal voluntary isometric knee extensor force and rate of force rise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 88:472–475. 2003.
10. DE RUITER, C.J., S.M. VAN RAAK, J.V. SCHILPEROORT, A.P. HOLLANDER, AND A. DE HAAN. The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors. *Eur. J. Appl. Physiol.* 90:595–600. 2003.
11. DELECLUSE, C., M. ROELANTS, AND S. VERSCHUEREN. Strength increase following whole-body vibration compared to resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35:1033–1041. 2003.
12. HAGBARTH, K.E., AND G. EKLUND. Tonic vibration reflexes (TVR) in spasticity. *Brain Res.* 2:201–203. 1966.
13. ISSURIN, V.B., AND G. TENENBAUM. Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *J. Sport Sci.* 17:177–182. 1999.
14. 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.
15. MARTIN, B.J., AND H. PARK. Analysis of the tonic vibration reflex: Influence of vibration variables on motor unit synchronization and fatigue. *Eur. J. Appl. Physiol.* 75:504–511. 1997.
16. MESTER, J., P. SPITZENFEIL, J. SCHWARZER, AND F. SEIFRIZ. Biological reaction to vibration: Implications for sport. *J. Sci. Med. Sport* 2:211–226. 1999.
17. NORDIN, M., AND K.E. HAGBARTH. Effects of preceding movements and contractions on the tonic vibration reflex of human finger extensor muscles. *Acta Physiol. Scand.* 156:435–440. 1996.
18. PARK, H.S., AND B.J. MARTIN. Contribution of the tonic vibration reflex to muscle stress and muscle fatigue. *Scand. J. Work Environ. Health* 19:35–42. 1993.
19. ROELANTS, M., C. DELECLUSE, M. GORIS, AND S. VERSCHUEREN. Effects of 24 weeks whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *Int. J. Sports Med.* 25:1–5. 2004.
20. ROELANTS, M., C. DELECLUSE, AND S. VERSCHUEREN. Whole body vibration training increases knee-extension strength and speed of movement in older women. *J. Am. Geriatr. Soc.* 52: 901–908. 2004.
21. ROHMERT, W., H. WOS, S. NORLANDER, AND R. HELBIG. Effects of vibration on arm and shoulder muscles in three body postures. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 59:243–248. 1989.
22. ROLL, J.P., J.P. VEDEL, AND E. RIBOT. Alteration of proprioceptive messages induced by tendon vibration in man: A microneurographic study. *Exp. Brain Res.* 76:213–222. 1989.
23. SALE, D.G. Influence of exercise training on motor unit activation. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 15:95–151. 1987.
24. TORVINEN, S., P. KANNUS, H. SIEVAˆNEN, T.A.H. JAˆRVINEN, M. PASANEN, S. KONTULAINEN, T.L.N. JAˆRVINEN, M. JAˆRVINEN, P. OJA, AND I. VUORI. Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 22:145–152. 2002.
25. TORVINEN, S., P. KANNUS, H. SIEVAˆNEN, T.A.H. JAˆRVINEN, M. PASANEN, S. KONTULAINEN, T. JAˆRVINEN, T.L.N. JAˆRVINEN, M. JAˆRVINEN, P. OJA, AND I. VUORI. Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:1523–1528. 2002.

Acknowledgments

We are grateful to Guus van der Meer, Jelte Tempelaars, and Nick De Poot for placing the WBV platform at our disposal (Power Plate). We also thank Dirk Maes and Vincent Weyten for helping with the data acquisition. The cooperation of the subjects is greatly appreciated.

Address correspondence to Sabine M.P. Verschueren, Ph.D., sabine.verschueren@faber.kuleuven.be.