

Оригинальное исследование.

Европейский Журнал Прикладной Физиологии, 2000 г. №81. С. 449-454.

ГОРМОНАЛЬНЫЕ ОТВЕТЫ НА ВИБРАЦИЮ ВСЕГО ТЕЛА У МУЖЧИН

Bosco C., Iacovelli M., Cardinale M., Tsarpela O., Bonifazi M., Tihanyi J., Viru J., De Lorenzo A., Viru A.

Рим, Италия

Реферат. Целью нашего исследования было оценить острые ответы сывороточных гормонов и нервно-мышечных свойств при воздействии вибрации всего тела (WBV, whole-body vibration – вибрация всего тела, англ.). 14 испытуемых мужского пола (средний возраст 25 лет) подвергались воздействию вертикальной синусоидальной WBV 10 раз по 60 сек. с 60-секундными перерывами между сетами (после 5 сетов перерыв длился 6 мин). Тестирование нервно-мышечных характеристик состояло из прыжкового теста и теста на слайд-станке (slide machine, авт.), выполненном с дополнительной нагрузкой, составляющей 160% от веса тела испытуемого. Показатели с нижних конечностей снимались двукратно: до и сразу после WBV воздействия. Измерялись средняя скорость, ускорение, средняя сила и мощность, и одновременно снималась среднеквадратическая электромиограмма (ЭМГ_{ср}) с широкой латеральной и прямой мышц бедра. Также был произведен забор крови для определения сывороточных концентраций тестостерона (Т), гормона роста (ГР) и кортизола (К). Результаты показали значительное увеличение плазменной концентрации Т и ГР, в то время как уровень К в крови снизился. Было обнаружено одновременное увеличение мощности, производимой мышцами-разгибателями бедра, и снижение среднеквадратической ЭМГ-активности. На улучшение нервно-мышечной эффективности указывало снижение отношения между ЭМГ_{ср} и мощностью. Показатели прыжкового теста также выросли. Таким образом, можно заключить, что биологический механизм, вызываемый вибрацией, подобен эффекту тренинга взрывной силы (к примеру, прыжки). В основе увеличения взрывной силы может лежать повышение синхронизированной активации моторных единиц и/или улучшение координации в деятельности мышц-синергистов с одновременным торможением работы мышц-антагонистов. Данные результаты отчетливо показывают, что WBV ведет к острым реакциям со стороны гормонального статуса и нервно-мышечных характеристик. Вероятно, воздействие WBV вызывало биологическую адаптацию, взаимосвязанную с эффектом нервной потенциации, подобные тем, что возникают после резистивных тренировок и тренинга взрывной силы. Затрагивая механизмы проприоцептивной обратной связи и специфические

нервные компоненты, WBV ведет к улучшению нервно-мышечных характеристик. Более того, хотя гормональные ответы (характеризующиеся увеличением концентрации гормона роста и тестостерона и снижением концентрации кортизола) и улучшение нервно-мышечной эффективности были одновременными, но независимыми друг от друга, предполагается, что в основе данных феноменов могут лежать общие механизмы.

Ключевые слова: ЭМГ, гормон роста, прыжковые характеристики, тестостерон, вибрация всего тела.

Введение

Как показали недавние исследования, вибрация оказывает действие на нервно-мышечный аппарат. Острое воздействие WBV приводит к увеличению силы и мощности мышц нижних конечностей, и скорости движений. После 10-минутного воздействия вибрации кривые скорость/сила (V/F) и мощность/сила (W/F) смещались вправо (Bosco, 1999). У 12 хорошо-тренированных боксеров после пяти повторений 1-минутной вибрации, приложенной к рукам, находящимся в положении полу-сгибания, было обнаружено увеличение механической мощности верхних конечностей. Среднеквадратическая электромиограмма (ЭМГ_{ср}), снятая после действия вибрации, не изменялась, однако снижалось отношение показателей ЭМГ к механической мощности (ЭМГ/W), показывающее увеличение нейрональной эффективности (Bosco, 1999). Помимо таких острых эффектов, вибрация может вызывать длительные адаптационные изменения в механике скелетных мышц. Так, ежедневные 5-кратные серии вертикальной синусоидальной вибрации продолжительностью 90 секунд каждая через 10 дней значительно увеличивали прыжковые характеристики (Bosco, 1998). Данные результаты говорят о том, что вибрация вызывает кратковременную и долговременную нейрогенную адаптацию. Более того, предыдущие исследования показали, что вибрация облегчает возникновение коленного сухожильного рефлекса при действии ее на четырехглавую мышцу бедра (Burke, 1996), управляет α -мотонейронами через Ia петлю (Kasai, 1992) и активирует рецепторы мышечных веретен (Rothmuller, Cafarelli, 1995). Однако возможно, что вибрация непосредственно воздействует на мышечную ткань. Так, у крыс наблюдалась гипертрофия медленных и быстрых мышечных волокон, вызванная действием вибрации (Neeking, 1992, 1996).

Вопрос в том, вызывает ли вибрационная физическая нагрузка адаптационные изменения и изменения в функции эндокринной системы. Показано, что кратковременные интенсивные упражнения, такие как 60-секундные последовательные прыжки (Bosco, 1996), анаэробные циклические упражнения (Schwarz, 1990) и поднятие тяжестей (Schwab, 1993) вызывают моментальные гормональные ответы. В то же время оказалось, что существует определенная взаимосвязь между концентрацией гормонов в крови и краткосрочной физической работой: у спортсменов,

имеющих наиболее высокие спринтерские показатели и характеристики взрывной силы, базальный уровень тестостерона также значительно выше (Kraemer, 1995; Bosco, 1996). Показано, что такие гормональные ответы имеют непосредственное значение не только в процессах острой адаптации, но и вызывают долговременные тренировочные эффекты (Inoue, 1994; Kraemer, 1996). Подобным образом гормональные изменения способствуют улучшению нервно-мышечной функции при повторяющемся воздействии вибрации.

Целью настоящего исследования было оценить возможность WBV вызывать изменения в плазменной концентрации гормонов, что, как известно, связано с адаптацией мышечной активности.

Методы и материалы

Объект исследования.

Объект исследования составили 14 физически активных добровольцев мужского пола (средний возраст 25 лет, вес – 89,9 кг, рост – 177,4 см). Тренировочная программа состояла из трех сессий в неделю. Каждый из испытуемых был заранее проинформирован о протоколе исследования, и было получено их письменное согласие на участие в эксперименте. Протокол составлен согласно Этическим нормам, принятым Комитетом Итальянского общества исследований в области спорта. Добровольцы, имевшие в анамнезе переломы или травмы костей, из исследования были исключены. Протокол включал выполнение прыжков, тест на механическую мощность с одновременным ЭМГ-анализом мышц-разгибателей нижних конечностей, а также забор крови, что было выполнено двукратно: до и сразу после 10-минутного воздействия WBV.

Тестовые процедуры.

Первый забор крови был произведен после измерения роста и веса. Затем испытуемые выполняли разминочные упражнения, включающие 5 минут работы на велоэргометре со скоростью 25 км/ч («Newform», Италия) и дальнейшего 5-минутного статического растяжения четырехглавых мышц бедра и икроножных мышц.

Прыжковый тест.

Как после разминочных упражнений, так и после воздействия вибрации были выполнены три попытки прыжкового теста. Для записи времени полета (t_f) и времени контакта (t_c) использовалась резистивная платформа (Bosco, 1983), соединенная с цифровым датчиком (точность измерения ± 0.001 ; «Ergojump», Psion XP, MA.GI.CA., Рим, Италия). Чтобы избежать неточностей в измерении, были минимизированы латеральные и горизонтальные смещения, положение рук во время выполнения теста – на бедрах. Во время прыжкового теста угловое смещение коленного сустава было стандартизировано таким образом, что требуемый угол сгибания в коленном суставе был ориентировочно 90 градусов. Увеличение центра

тяжести над землей (высота в метрах) рассчитывалось по отношению ко времени полета, используя закон баллистики

$$h = t_f^2 \cdot g \cdot 8 \square^{-1} \text{ (м)},$$

где g – ускорение свободного падения (9.81 м/с^2). Для статистики использовался результат наилучшей попытки.

Воспроизводимость прыжкового теста

Воспроизводимость увеличения центра тяжести во время прыжкового теста была высокой, $r=0.90$ (Bosco, Viitasalo, 1982).

Измерение механической мощности

После прыжкового теста все испытуемые, кто был хорошо ознакомлен с упражнением, выполнили максимальные динамические пресс-упражнения на слайд-станке («Newform», Италия) с дополнительной нагрузкой плюс 160% веса тела испытуемого, что соответствует 70% от максимальной нагрузки для одного повторения (1RM). Было выполнено пять попыток с 1-минутным интервалом между каждой из них. Первые две-три попытки потребовались для достижения параметров плато; две последние попытки каждого сета записанных измерений усреднялись и использовались в статистическом анализе, согласно рекомендациям Tornvall (1963) и Bosco (1995). Во время выполнения теста вертикальное смещение нагрузки контролировалось сенсорным датчиком (шифровальщиком) («MuscleLab – Bosco System», Ergotest Technology, Langensund, Норвегия), соединенным с персональным компьютером. Сенсор передавал сигнал при смещении нагрузки испытуемым на каждые 3 мм. Отсюда, было возможным вычислять несколько параметров, таких как средняя скорость, ускорение, средняя сила и средняя мощность, соответствующие смещению нагрузки (более подробно – см. Bosco et al., 1985). Однако было показано, что мощность – наиболее чувствительный из всех исследуемых механических параметров, поэтому только он один рассматривался в статистическом анализе (Bosco, 1995).

ЭМГ-анализ.

Сигнал снимался с биполярных поверхностных электродов, фиксированных вдоль брюшка широкой латеральной и прямой мышц бедра во время пресс-упражнений (расстояние между электродами 1.2 см). Использовался усилитель (увеличение сигнала $\times 600$ раз, входной импеданс 2 ГОм, коэффициент подавления синфазного сигнала 100 дБ, 6 полосовых фильтров на 1500 Гц; «Biochip Grenoble», Франция). MuscleLab-шифровальщик конвертировал усиленный ЭМГ-поток в среднеквадратический сигнал (ср) через встроенную обходную сеть (частотная характеристика 450 кГц, усредненная константа 100 мс, суммарная погрешность $\pm 0.5\%$). ЭМГср выражается как функция времени. С момента как среднеквадратический ЭМГ-сигнал использовался совместно с биомеханическими параметрами, измеряемыми с помощью «MuscleLab», они отбирались одновременно на частоте 100 Гц. Испытуемые были одеты в

кожаный костюм для предупреждения последствий случайного контакта с кабелями. Для сбора и хранения полученной информации использовался персональный компьютер (PC 486 DX - 33 МГц). Значения, полученные с широкой латеральной и прямой мышц бедра, были усреднены, как предложено Bosco и Viitasalo (1982) и Viitasalo и Bosco (1982).

Достоверность измерений механической мощности и ЭМГ.

В таблице 1 даны среднее значение, SD, коэффициент корреляции (r) и коэффициент вариации (CV) результатов двух последних попыток (попытка 4 и попытка 5). CV показали ранжирование результатов от 6 до 12%, в то время как корреляционные коэффициенты были высокими (r = 0.90, 0.92 и 0.94 для W, ЭМГ_{ср} и ЭМГ/W, соответственно; P < 0.001).

Таблица 1. Достоверность двух последовательных попыток (попытка 4 и 5). Средняя (SD) мощность выражается как функция массы тела, ЭМГ_{ср} и ЭМГ/W, измеренных во время теста на слайд-станке с нагрузкой 100% массы тела испытуемого (n=12) до вибрационного воздействия. (r – коэффициент корреляции Пирсона, CV – коэффициент вариации для повторяющихся измерений).

Переменные	Попытка 4	Попытка 5	r	CV
W (Вт/кг)	11.6 (2.5)	11.3 (1.8)	0.90*	6.1
ЭМГ _{ср} (мкВ)	157.1 (71.5)	145.2 (70.6)	0.92*	12.3
ЭМГ _{ср} /W (мкВ/Вт)	13.6 (7.8)	12.9 (7.2)	0.94*	11.2

* P < 0.001

Измерение гормонов.

Первые заборы крови были произведены в 8 часов утра из локтевой вены, испытуемые предварительно имели физический покой в течение одних суток и воздержание от приема пищи на протяжении 12 часов. Повторные заборы крови были сделаны сразу после окончания вибрационного воздействия. Испытуемых попросили сесть рядом с вибрационной машиной, где заранее был подготовлен необходимый медицинский инструментарий для забора крови. Заборы крови были произведены спустя 1 минуту после окончания вибрационного воздействия. Сыворотка замораживалась до проведения лабораторных измерений при температуре -20°C. Сывороточные концентрации тестостерона (Т) и кортизола (К) измерялись с помощью радиоиммунного анализа с использованием наборов реагентов производства «Diagnostic Products Corporation», Лос-Анжелес, Калифорния, США. Гормон роста (ГР) измерялся наборами реагентов для радиоиммунного анализа, полученных с использованием радия (Помеция, Италия). Все измерения были выполнены на радиоиммунном анализаторе «COBRA 5005» («Packard Instruments», Меридэн, США). Коэффициенты вариации для повторных выборок составили: 3.63% для Т, 5.1% для К и 2.1% для ГР.

Воздействие.

Испытуемые подверглись воздействию вертикальной синусоидальной WBV с использованием аппарата «NEMES 30 L» (КБ «Ergotest», Миккели, Финляндия). Частота вибрации, использованной в настоящем исследовании, была установлена на уровне 26 Гц (смещение ± 4 мм, ускорение 17 g). Испытуемые подвергались воздействию 10 раз по 60 секунд с 60-секундными перерывами между каждым воздействием. После 5 сетов вибрации следовал 6-минутный перерыв, после чего назначалась вторая серия из пяти вибрационных воздействий. При воздействии WBV испытуемый обеими стопами стоял на вибрационной платформе, угол сгибания в коленном суставе – 100 градусов. Чтобы избежать повреждений, во время всех вибрационных воздействий использовалась гимнастическая обувь.

Статистические методы.

Использовались стандартные методы статистики, включая вычисление средних (\bar{x}) и SD. Коэффициент корреляции Пирсона (r) использовался для анализа достоверности повторных измерений. SD и CV повторных измерений рассчитывались по следующей формуле (Thorstesson, 1976):

$$CV = (200 \times SD/\sqrt{2}) \times (x_1 + x_2)^{-1},$$

где x_1 и x_2 – средние величины двух последующих измерений, и SD – стандартное отклонение средних различий между повторными измерениями. Достоверность различий между средними величинами до и после вибрационного воздействия оценивалась с использованием критерия t Стьюдента для парных наблюдений. Уровень статистической достоверности установлен для $P \leq 0.05$.

Результаты

WBV воздействие вызывало значительное увеличение плазменных концентраций тестостерона ($p=0.026$) и гормона роста ($p=0.014$), в то время как концентрация кортизола в крови значительно снижалась ($P=0.03$, Таблица 2). Механическая мощность W (производительность) мышц-разгибателей бедра, измеренная во время пресс-упражнений на слайд-станке, значительно увеличилась ($p=0.003$), в то время как ЭМГ_{ср}, снятая с мышц нижних конечностей во время теста, снизилась по сравнению со значениями до воздействия ($p=0.008$, см. Таблица 3). В результате уменьшилось отношение ЭМГ_{ср}/ W ($p \leq 0.001$, см. Рисунок 1). Также вибрационное воздействие позитивно отразилось на прыжковых характеристиках, что выразилось в их значительном улучшении ($p \leq 0.001$, см. Таблица 3).

Таблица 2. Острое действие WBV на концентрацию кортизола, тестостерона и гормона роста в крови. Даны средние значения (SD).

Параметр	До вибрации	После вибрации	P
Кортизол, нмоль/л	682 (255)	464 (257)	0.03

Тестостерон, нмоль/л	22.7 (6.6)	24.3 (6.6)	0.026
Гормон роста, нг/мл	6.2 (16.2)	28.6 (29.6)	0.014

Таблица 3. Средняя механическая мощность (W), ЭМГ_{ср} и прыжковые характеристики до и после вибрационного воздействия. Статистическая достоверность проанализирована с использованием критерия t Стьюдента для парных наблюдений.

Переменные	До	После	P□
W, Вт/кг	11.4 (2.2)	12.2 (2.1)	0.003
ЭМГ _{ср} , мкВ	151.8 (48.5)	136.4 (49.7)	0.008
Прыжковый тест, см	36.1 (5.2)	37.5 (5.1)	0.001

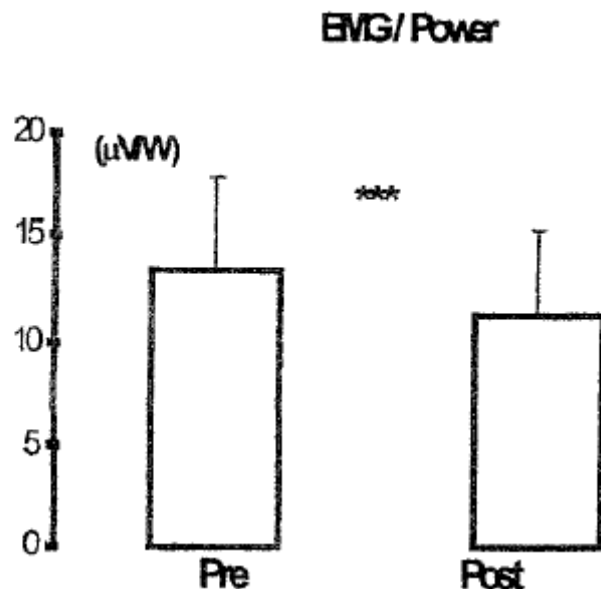


Рисунок 1. ЭМГ/мощность – отношение электромиограмма/средняя механическая мощность, записанное до (Pre) и после (Post) вибрационного воздействия на мышцы-разгибатели нижних конечностей во время пресс-упражнения на слайд-станке, выполненного с нагрузкой 160% массы тела испытуемого. **Статистически значимые различия до и после воздействия (P □ 0.001).

Обсуждение

Полученные результаты показывают, что острое воздействие WBV вызывает увеличение концентрации тестостерона и гормона роста в крови. Поскольку уровень кортизола снижается, гормональный ответ на вибрацию не воспроизводится ни как общая стрессовая реакция, ни как ответ, характерный для высокоинтенсивных нагрузок (Viru, 1994). При традиционных упражнениях скорая эндокринная активация вызывается прямым влиянием центральной моторной команды на гипоталамические

нейросекреторные и автономные центры. В дальнейшем такое воздействие подкрепляется позитивной петлей обратной связи от проприо- и метаборецепторов мышц (Kjaer, 1992). Хотя при действии вибрации определенные корковые влияния исключить нельзя (Bosco, 1998), при этом все же участвуют другие эфферентные пути, что были показаны при выполнении произвольных мышечных сокращений (Burke, 1996). Эксперименты на частично кураризированных испытуемых показали увеличение влияния центральной моторной команды, которая взаимосвязана с усиленной активацией гипоталамо-адренкортикальной и симпатoadреналовой систем, а также с повышением секреции ГР (Kjaer, 1987). Малые дозы эпидуральной анестезии использовались, чтобы заблокировать проведение импульсов по тонким чувствительным нервным волокнам, оставляя интактной функцию более толстых и всей двигательной системы в целом. При этом существенная роль обратной нервной связи от работающих мышц показана для ответа таких гормонов, как кортикотропин и β -эндорфин, но не для соматотропина, инсулина, глюкагона и катехоламинов (Kjaer, 1989). Таким образом, отсутствие К-ответа может объясняться недостаточным стимулирующим влиянием как со стороны корковых двигательных центров, так и от скелетных мышц. Однако снижение уровня К позволяет нам предположить существование некоторого тормозного влияния на гипоталамические нейросекреторные центры, возможно, со стороны серотонинергических структур гиппокампа (Knigge, Hays, 1963). Выраженные ответы касательно продукции тестостерона и соматотропина определяют различия в активации разных нейросекреторных структур гипоталамуса. Эти факты указывают и на определенные различия в контроле функции эндокринной системы со стороны ЦНС при действии вибрации.

Дизайн проведенного исследования не позволяет нам в полной мере комментировать метаболические эффекты К, ГР и Т во время вибрации. Однако определенное внимание стоит уделить влиянию вибрации на мышечную мощность и прыжковые показатели, поскольку механические характеристики мышц-разгибателей нижних конечностей значительно возрастали уже после 10-минут WBV. Однако разумное объяснение такого улучшения найти не легко, принимая во внимание, что спортсмены в настоящем исследовании достаточно хорошо были знакомы с данным типом упражнения, поэтому определенный эффект двигательного научения мог отсутствовать. Улучшение в мышечной деятельности разгибателей нижних конечностей показан после нескольких недель тяжелого резистивного тренинга (Coyle, 1981; Hakkinen, Komi, 1985). Такие адаптационные эффекты связаны с улучшениями в нервно-мышечной функции, вызванными повышением активности высших двигательных центров (Milner-Brown, 1985). Результаты настоящего эксперимента также показывают, что WBV вызывает увеличение нервно-мышечной эффективности, что демонстрируется снижением ЭМГ-активности мышц-разгибателей нижних конечностей и повышением мышечной производительности (W). Сходные результаты были получены в недавнем исследовании у хорошо-

тренированных боксеров: вибрация, приложенная к мышцам рук (5 раз длительностью 60 секунд), увеличивала их механическую мощность W , хотя и не изменяла ЭМГср. Отсюда уменьшалось и ЭМГ/ W отношение (Bosco, 1999). Снижение ЭМГ-активности, ассоциированное с увеличением производимого усилия, отмечается в конце долговременной программы резистивного тренинга (Komi, 1978). У спортсменов, тренирующихся с субмаксимальными нагрузками, ранжируемыми в пределах 70-80% от 1RM, максимальный ЭМГ-ответ снижался в начале тренировочной программы (Hakkinen, Komi, 1985). Таким образом, биологическая адаптация, вызываемая действием WBV и связанная с эффектом нейронной потенциации, подобна той, что возникает при резистивном и взрывном тренинге. Как известно, специфический тренинг в первую очередь оказывает воздействие на нейрональные компоненты и механизмы проприоцептивной обратной связи (Bosco, 1983; Hakkinen, Komi, 1985). При этом существует несколько механизмов, благодаря которым тренировка взрывной силы способствует нервной активации, к примеру, повышение синхронизированной активности двигательных единиц (Milner-Brown, 1985). В добавлении к этому, не исключается улучшение координированного сокращения мышц-синергистов с одновременным торможением активности антагонистов. Какой бы ни была основная причина, как оказалось, существует врожденный механизм, увеличивающий нервно-мышечную активацию после специфического взрывного тренинга.

С другой стороны, возможно непосредственное влияние тестостерона на структуры нервной системы. Как показано в экспериментах на птицах, действие T выражается в повышении регуляции ацетилхолиновых рецепторов в мышцах (Bleisch, 1984), что может быть связано с механизмами захвата ионов кальция (Rolling, 1996). У людей обнаружена положительная связь между базальным уровнем T и скоростными характеристиками и показателями взрывной силы (Bosco, 1996). В конце концов, продолжительность периода стимуляции также важна. Адаптивный ответ скелетной мускулатуры человека на искусственную гипергравитацию (1.1 g) на протяжении всего лишь 3 недель уже вызывал заметные улучшения в нервно-мышечной функции мышц-разгибателей нижних конечностей (Bosco, 1985). Более длительное центробежное воздействие (в течение 3 месяцев), равное 2 g, способствовало конверсии типов мышечных волокон (Martin, Romond, 1985). В настоящем исследовании, несмотря на то, что общая продолжительность воздействия WBV составляла лишь 10 минут, величина гравитационного поля была невероятно высокой (17g). Эквивалентом данной нагрузки могло бы служить выполнение прыжков с высоты 100 см в количестве 200 раз дважды в неделю на протяжении 5 месяцев, при этом на выполнение одного такого прыжка затрачивалось бы 150 мс, а развиваемое ускорение составило бы всего лишь 5 g (Bosco, 1992).

В заключение сообщаем, что острое воздействие WBV вызывает увеличение плазменной концентрации тестостерона и гормона роста и снижение уровня кортизола в крови. При этом улучшение нервно-мышечной

эффективности и увеличение концентрации Т были одновременными, но независимыми ответами, однако данные два феномена могут иметь общие механизмы.

Литература

- Adlercreutz H, Härkönen M, Kuoppasalmi K, Kosunen K, Näveri H, Rehunen S (1976) Physical activity and hormones. *Adv Cardiol* 18: 144-157
- Bleisch W, Lukie VN, Nottebohm F (1984) Modification of synapses in androgen-sensitive muscle. Hormonal regulation of acetylcholine receptor number in the songbirds syrinx. *J Neurosci* 4: 786-793
- Bosco C (1985) Adaptive responses of human skeletal muscle to simulated hypergravity condition. *Acta Physiol Scand* 124: 507-513
- Bosco C (1992) The effects of extra-load permanent wearing on morphological and functional characteristics of leg extensor muscles. Ph.D. Thesis, Université Jean-Monnet de Saint Etienne, France
- Bosco C, Viitasalo J (1982) Potentiation of myoelectrical activity of human muscles in vertical jumps. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 22: 549-562
- Bosco C, Luhtanen P, Komi PV (1983) A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol* 50: 273-282
- Bosco C, Belli A, Astrua M, Tihanyi J, Pozzo R, Kellis S, Tsarpela O, Foti C, Manno R, Tranquilli C (1995) Dynamometer for evaluation of dynamic muscle work. *Eur J Appl Physiol* 70: 379-386
- Bosco C, Tihanyi J, Rivalta L, Parlato G, Tranquilli C, Pulverenti G, Foti C, Viru M, Viru A (1996a) Hormonal responses to strenuous jumping effort. *Jpn J Physiol* 46: 93-98
- Bosco C, Tihanyi J, Viru A (1996b) Relationships between field fitness test and basal serum testosterone and cortisol levels in soccer players. *Clin Physiol* 16: 317-322
- Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O, Colli R, Tihanyi J, von Duvillard SP, Viru A (1998) The influence of whole body vibration on jumping performance. *Biol Sport* 15: 157-164
- Bosco C, Colli R, Introini E, Cardinale M, Tsarpela O, Madella A, Tihanyi J, Viru A (1999a) Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* 19: 183-187
- Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O (1999b) Influence vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur J Appl Physiol* 79: 306-311
- Bosco C, Colli R, Introini E, Cardinale M, Tsarpela O, Madella A, Tihanyi J, Viru A (1999a) Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* 19: 183-187
- Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O (1999b) Influence vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur J Appl Physiol* 79: 306-311
- Brooks S, Burrin J, Cheetham ME, Hall GM, Yeo T, Williams C (1988) The response of the catecholamines and β -endorphin to brief maximal exercise in man. *Eur J Appl Physiol* 57: 230-234

- Buono MJ, Yeager JE, Hodgden JA (1986) Plasma adrenocorticotropin and cortisol responses to brief high-intensity exercise in humans. *J Appl Physiol* 61: 1337-1339
- Burke JR, Schuttan MC, Koceja DM, Kamen G (1996) Age dependent effects of muscle vibration and the Jendrassik maneuver on the patellar tendon reflex response. *Arch Phys Med Rehabil* 77: 600-604
- Coyle E, Feirin C, Rotkis T, Cote R, Roby F, Lee W, Wilmore J (1981) Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *J Appl Physiol* 51: 1437-1442
- Fatell PA, Kjaer M, Bach FW, Galbo H (1987) Beta-endorphin and adrenocorticotropin response to supramaximal treadmill exercise in trained and untrained males. *Acta Physiol Scand* 130: 619-625
- Häkkinen K, Komi PV (1985) 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
- Inoue K, Yamasaki S, Fushiki T, Okada Y, Sugimoto E (1994) Androgen receptor antagonist suppresses exercise-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol* 69: 88-91
- Kasai T, Kawanishi M, Yahagi S (1992) The effects of wrist muscle vibration on human voluntary elbow flexion-extension movements. *Exp Brain Res* 90: 217-220
- Kjaer M (1992) Regulation of hormonal and metabolic responses during exercise in humans. *Exerc Sport Sci Rev* 20: 161-184
- Kjaer M, Secher NH, Galbo H (1987) Role of motor center activity for hormonal changes and substrate mobilization in humans. *Am J Physiol* 253: R687-R697
- Kjaer M, Secher NH, Bach FW, Sheikh S, Galbo H (1989) Hormonal and metabolic responses to exercise in humans: effect of sensory nervous blockade. *Am J Physiol* 257: E95-E101
- Knigge KM, Hays M (1963) Evidence of inhibitive role of hippocampus in neural regulation of ACTH release. *Proc Soc Exp Biol Med* 114: 67-69
- Komi PV, Viitasalo JT, Rauramaa R, Vihko V (1978) Effect of isometric strength training on mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. *Eur J Appl Physiol* 40: 45-55
- Kraemer WJ, Patton JF, Knuttgen HG, Marchitelli LJ, Cruthirds C, Damokosh A, Harman EA, Frykman PN, Dziados JE (1989) Hypothalamic-pituitary-adrenal response to short-duration high-intensity cycle exercise. *J Appl Physiol* 66: 161-166
- Kraemer WJ, Marchitelli L, Gordon SE, Harman E, Dziados JE, Mello R, Frykman P, McCurry D, Fleck SJ (1990) Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* 69: 1442-1450
- Kraemer WJ, Häkkinen K, Newton RV, Patton J, Harman EA, Dohi K, Dush I, Dziados JE (1995) Factors in various strength and power performance in men. In: *Proceeding of the XVth Congress of the International Society of Biomechanics*. Jyväskylä, University of Jyväskylä, pp 508-509
- Kraemer WJ, Fleck SJ, Evans WJ (1996) Strength and power training: physiological mechanisms of adaptation. *Exerc Sports Sci Rev* 24: 363-397

- Martin WD, Romond EH (1975) Effects of chronic rotation and hypergravity on muscle fibers of soleus and plantaris muscles of rat. *Exp Neurol* 49: 758-771
- Milner-Brown HS, Stein RB, Lee RG (1975) Synchronization of human motor units: possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroencephalogr Clin Neurophys* 38: 245-254
- Näveri H, Kuoppasalmi K, Härkönen M (1985) Plasma glucagon and catecholamines during exhaustive short-term exercise. *Eur J Appl Physiol* 53: 308-311
- Necking LE, Dahlin LB, Frieden J, Lundborg G, Lundstrom R, Thornell LE (1992) Vibration-induced muscle injury. An experimental model and preliminary findings. *J Hand Surg* 17: 270-274
- Necking LE, Lundstrom R, Lundborg G, Thornell LE, Frieden J (1996) Skeletal muscle changes after short term vibration. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 30: 99-103
- Rolling GL, Hurst E, Fell RD, Roheleder M (1996) Effects of testosterone propionate on strength and eccentric induced muscle damage. *Med Sci Sports Exerc* 28: S113
- Rothmuller C, Cafarelli E (1995) Effects of vibration on antagonist muscle coactivation during progressive fatigue in humans. *J Physiol (Lond)* 485: 857-864
- Schwab R, Johnson GO, Housh TJ, Kinder JE, Weir JP (1993) Acute effects of different intensities of weight-lifting on serum testosterone. *Med Sci Sports Exerc* 25: 1381-1386
- Schwarz L, Kindermann W (1990) β -endorphin, adrenocorticotrophic hormone, cortisol and catecholamines during aerobic and anaerobic exercises. *Eur J Appl Physiol* 61: 165-171
- Thorstensson A (1976) Muscle strength, fiber types and enzyme activities in man. *Acta Physiol Scand* 98 [Suppl 443]: 1-45
- Tornvall G (1963) Assessment of physical capabilities with special reference to the evaluation of the maximal working capacity. *Acta Physiol Scand* 58 [Suppl 201]: 1-101
- Viitasalo JT, Bosco C (1982) Electromechanical behaviour of human skeletal muscles in vertical jumps. *Eur J Appl Physiol* 48: 253-261
- Viru A (1994) Molecular cellular mechanisms of training effects. *J Sports Med Phys Fitness* 34: 309-322