

УДК 612.886

ВЛИЯНИЕ СИЛОВОЙ ТРЕНИРОВКИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ НА ПОСТУРАЛЬНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ФИЗИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДЕВУШЕК

© 2022 г. А. А. Мельников¹, *, П. А. Смирнова², А. М. Федоров³, М. В. Малахов⁴

¹ФГБОУ ВО Российский государственный университет

физической культуры спорта молодежи и туризма, Москва, Россия

²ФГБОУ ВО Ярославский государственный педагогический университет

имени К.Д. Ушинского, Ярославль, Россия

³Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия

⁴ФГБОУ ВО Ярославский государственный медицинский университет Минздрава РФ,
Ярославль, Россия

*E-mail: meln1974@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.01.2022 г.

После доработки 12.05.2022 г.

Принята к публикации 27.05.2022 г.

Целью работы было изучить влияние силовой тренировки на постуральную устойчивость молодых физически активных девушек ($n = 38$, 17–21 год). 19 девушек в течение 10 нед. (3 раза в неделю) тренировали силовые способности нижних конечностей и 19 девушек составили группу “Контроль”. Устойчивость моноопорной позы анализировали по колебаниям общего центра давления (ОЦД) и колебаниям углов в голеностопном и коленном суставах в тестах: 1) на стабиллоплатформе с открытыми (ОГ) и закрытыми (ЗГ) глазами; 2) на низком пресс-папье ($h = 10$ см) с ОГ и ЗГ и 3) на высоком пресс-папье ($h = 30$ см) с ЗГ. Силовые способности регистрировали с помощью функциональных тестов. Компонентный состав всего тела и нижних конечностей определяли с помощью биоимпедансного анализа. По сравнению с группой “Контроль” у тренированных девушек установлено увеличение силовых способностей без признаков гипертрофии мышц, а также тенденция ($p < 0.09$) к увеличению стабильности коленного сустава в стойке на низком пресс-папье. Точность воспроизведения наклона вертикальным телом после тренировки не изменилась. Однако снижение колебаний ОЦД и углов в голеностопном суставе в стойках на стабиллоплатформе и на низком пресс-папье, а также увеличение времени равновесия на высоком пресс-папье, выявленные после силовой тренировки, не отличались от изменений этих показателей в группе “Контроль”. Таким образом, несмотря на повышение стабильности коленного сустава, силовая тренировка мышц нижних конечностей практически не влияет на регуляцию статического (на твердой опоре) и полудинамического (на подвижном пресс-папье) равновесия.

Ключевые слова: постуральная устойчивость, стабилография, статическое и полудинамическое равновесие, силовая тренировка, моноопорная поза, пресс-папье.

DOI: 10.31857/S0131164622700059

Многими исследованиями показана повышенная статическая устойчивость вертикальной позы у спортсменов разной направленности тренировочного процесса: стрелков, различных игроков, гимнастов, борцов, лыжников и представителей других видов [1, 2]. Однако механизмы, лежащие в основе повышенной постуральной способности большинства спортсменов, полностью не выяснены.

Система постуральной регуляции – это сложная многоуровневая система, включающая центральный аппарат управления, сенсорные системы и исполнительный нервно-мышечный аппарат [3].

Спортивная тренировка оказывает влияние на все эти компоненты и ведет к росту ее эффективности. Одна из гипотез предполагает, что регуляция позы совершенствуется вместе с развитием силовых способностей постуральных мышц. Действительно, установлена повышенная скорость и амплитуда колебаний общего центра давления тела (ОЦД) у пожилых лиц с возрастной саркопенией [4, 5] или при снижении силовых способностей у переболевших полиомиелитом [6]. Напротив, у тяжелоатлетов устойчивость позы, особенно в условиях отсутствия зрительной информации и на податливой опоре, значительно выше, чем у

молодых испытуемых, не занимающихся спортом [7], указывая на возможное влияние силовых способностей на баланс позы. Увеличение силы постуральных мышц будет снижать напряжение центрального аппарата системы регуляции позы, т.е. активность нервных процессов для генерации необходимой силы мышц, что проявляется в повышении устойчивости позы. Так, повышение скорости колебаний ОЦД сочетается с большими относительными величинами электромиографической активности и крутящего момента мышц голени во время постуральных тестов [4].

Однако результаты экспериментальных работ, изучавших эффект силовой тренировки, противоречивы. Одни исследования показывают эффективность силовой тренировки, например, у пожилых испытуемых с исходно низкими силовыми способностями [5]. Механизмы, опосредующие эффект силовой тренировки, могут быть связаны: с ростом скорости развития напряжения мышц и своевременностью коррекций позы [8], снижением напряжения центрального звена регуляции позы и автоматизацией процесса управления [4], а также с повышением проприоцептивной чувствительности, а значит и точности постуральных коррекций [6].

Напротив, другие исследования, выполненные на молодых испытуемых, не смогли обнаружить позитивных изменений в регуляции статической позы под влиянием силовой тренировки [9].

Цель настоящей работы – оценить эффективность силовой тренировки мышц нижних конечностей, обеспечивающих постуральную функцию, в совершенствовании статической и полудинамической устойчивости позы у молодых физически активных девушек.

МЕТОДИКА

Организация исследования. В исследовании на добровольной основе принимали участие практически здоровые девушки-студентки ($n = 38$, 18–21 год) без заболеваний центральной и периферической нервно-мышечной системы и органов зрения, ведущие физически активный образ жизни. 19 девушек вошли в группу “Контроль” и 19 – в экспериментальную группу “Сила”.

Обследования всех показателей выполняли до и после 10-недельной программы силовой тренировки. Контрольная группа вела привычный образ жизни и занималась физическими упражнениями в рамках дисциплины “физическая культура” университета (дважды в неделю). Экспериментальная группа тренировалась по программе скоростно-силовой тренировки на мышцы нижних конечностей (3 раза в неделю по 60–80 мин). Каждое занятие включало: 15 мин общей разминки (беговые и прыжковые упражнения, разми-

ночные упражнения на суставы ног и туловища); плиометрические упражнения (15–20 мин, прыжки с гимнастической скамейки, прыжки на скамейку с выпрыгиванием вверх, прыжки вверх и в длину с одной и двух ног; использовали дополнительные отягощения весом 3–5–7 кг); упражнения со штангой и гантелями (15–20 мин, приседание со штангой, выпады с гантелями, 10–30 повторных максимумов, то есть вес спортивного снаряда, максимальное количество повторений с которым составляет 10–30 раз); упражнения на силовых тренажерах (15–20 мин, сгибание и разгибание ног в коленном суставе, сопротивление составляло 5–20 повторных максимумов); общеразвивающие упражнения (5 мин). Упражнения выполняли повторным методом силовой тренировки. Интервал отдыха между подходами варьировал от 1 мин после низкоинтенсивных упражнений до 3–4 мин после околоразмаксимальных сопротивлений.

Оценка состава тела выполнена с помощью биоимпедансного анализатора ABC-01 и программы полисигментного анализа ABC-01-0454 (“Медасс”, Москва). Длину и массу тела измеряли медицинскими весами и ростометром. Биоимпедансные измерения выполнялись в положении испытуемого лежа на 10–12 мин горизонтального положения с наложением токового и измерительного электродов на оба запястья рук и оба голеностопа ног. В программе ABC-01-0454 рассчитывали следующие показатели: жировую (ЖМ в кг) и безжировую (БЖМ в кг) массу всего тела и нижних конечностей. Для анализа использовали среднее значение ЖМ и БЖМ обеих конечностей.

Статическую устойчивость вертикальной позы определяли на твердой и неподвижной стабиллоплатформе (“Neurocor Trast-M”, Россия, частота дискретизации сигнала 500 Гц) с помощью оценки колебаний ОЦД в моноопорной стойке на неведущей ноге с открытыми (ОГ, 40 с) и закрытыми (ЗГ, 40 с) глазами, вторая нога была согнута в коленном суставе (около 100 град), руки были скрещены и прижаты к груди. В положении ОГ испытуемые фиксировали взгляд на окружности (радиус 10 см), расположенной на расстоянии 2 м от платформы.

Полудинамическую устойчивость моноопорной позы определяли в двух тестах на подвижном в сагиттальной плоскости пресс-папье разной высоты: 1) низким ($h = 10$ см) и 2) высоким ($h = 30$ см). К полудинамическому равновесию относят способность сохранять ОЦД в пределах базы опоры, подвижной (качающейся) относительно любой оси [9]. На *низком пресс-папье* ($h = 10$ см, $r = 60$ см), размещенном на стабиллоплатформе, регистрировали колебания ОЦД в моноопорной стойке с открытыми (40 с) и закрытыми (40 с) глазами. На *высоком пресс-папье* ($h = 30$ см, $r = 60$ см) в

моноопорной стойке с закрытыми глазами определяли только среднее время (с) стояния в трех попытках. Высокое пресс-папье использовали с целью определения максимальной способности к постуральному балансу на одной ноге. Обычная молодая девушка на данном пресс-папье могла простоять до потери равновесия около 10 с.

Для анализа постуральной устойчивости на стабиллоплатформе и на низком пресс-папье использовали следующие показатели: 1) средняя линейная скорость ОЦД (V -ОЦД, мм/с); 2) 95% площадь колебаний ОЦД (S -ОЦД, мм²).

Кинематический анализ моноопорной позы. Во время постуральных тестов на стабиллоплатформе (и на низком пресс-папье) синхронно с ОЦД определяли колебания углов в коленном (КС) и голеностопном (ГСС) суставах опорной конечности с помощью трех датчиков-гироскопов (*“Neurocor Trast-M”*), закрепленных эластичной лентой на тыльной стороне стопы, латеральных сторонах голени и бедра. Для анализа использовали показатели колебаний углов в КС и ГСС опорной конечности в сагиттальной и фронтальной плоскости: 1) среднеквадратическое отклонение (или амплитуда) (SDc /ф-ГСС и SDc -КС в град); 2) средняя угловая скорость колебаний (Vc /ф-ГСС и Vc -КС в град/с).

Специфическую (или постуральную) проприоцептивную чувствительность определяли как способность к активному воспроизведению угла наклона прямым телом в голеностопном суставе. Тест включал несколько этапов: 1) 10 с вертикальная биопорная стойка с ЗГ на стабиллоплатформе; 2) наклон прямым телом (руки прижаты по бокам к туловищу) путем сгибания в ГСС вперед до касания грудью ограничителя, расположенного на расстоянии 5 см от груди (2–3 с); 3) запоминание в течение 5 с согнутой в ГСС статической вертикальной позы с ЗГ – рабочая поза; 4) возврат в исходное вертикальное положение с ЗГ с сохранением вертикальной позы 5 с; 5) самостоятельное воспроизведение рабочей позы по команде экспериментатора в течение пяти секунд с возвращением в исходное вертикальное положение. Воспроизведение наклона прямым телом выполняли трижды. Для оценки специфической проприоцептивной чувствительности определяли: абсолютную среднюю (за три попытки) ошибку воспроизведения отклонения ОЦД (в мм), абсолютную среднюю ошибку воспроизведения угла в голеностопном (ГСС) и тазобедренном (ТБС) суставах (в мм). Эффективность данной методики была апробирована авторами ранее [10].

Силовые способности определяли с помощью функциональных тестов: 1) прыжок в длину с места (см); 2) время бега на 12 м с автоматической регистрацией времени с помощью *Apple iPad* и приложения *“SprinterTimer”*; 3) силовых тестов:

сгибание (максимальное число повторений с отягощением 30 кг) и разгибание (максимальное число повторений с отягощением 40 кг) обеих ног в коленном суставе на специальном силовом тренажере.

Статистика. Результаты в таблицах представлены как медиана (Me) \pm межквартильный диапазон (25–75%). Двухфакторный анализ для повторных измерений (*ANOVA*) использовали для определения различий в динамике показателей состава тела и силовых способностей между группами “Контроль” и “Сила”. Для всех показателей определяли степень изменения за экспериментальный период относительно исходного уровня (Δ , %). По данным критерия *Shapiro-Wilk* значительная часть показателей имела ненормальное распределение. Сравнительный анализ между группами выполняли с помощью критерия *Mann-Whitney*. Различия до и после экспериментального периода в группах выполняли с помощью парного теста *Wilcoxon*. Корреляционный анализ проводили с изменениями показателей за экспериментальный период (Δ) с помощью ранговой корреляции *Spearman (r)*. Различия в количестве испытуемых, выполнивших тест “Стойка на низком пресс-папье с ЗГ”, между группами до тренировки анализировали с помощью критерия Хи-квадрат (χ^2), а различия в количестве испытуемых до и после тренировки по этому тесту внутри групп оценивали по критерию МакНемара. Расчеты выполняли в программе *Statistica v12*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изменение состава тела под влиянием 10-недельной силовой тренировки. Группы не различались по показателям состава тела (масса и длина тела, жировая масса (БЖМ) тела, жировая масса (ЖМ) тела, БЖМ и ЖМ нижних конечностей в кг) как до, так и после тренировки. Однако за период тренировки в группе “Сила” увеличилась МТ ($+0.6 \pm 1.1$ кг, $p = 0.026$ по сравнению с исходным уровнем и -0.4 ± 1.1 кг, $p > 0.05$ по сравнению с исходным уровнем в группе “Контроль”, $p = 0.008$ между группами), главным образом за счет БЖМ тела (рис. 1, А), изменение ЖМ тела в группе “Сила” было не значимо (рис. 1, Б). Таким образом, в группе “Сила” отмечался легкий анаболический эффект на уровне всего тела.

Несмотря на тренировку существенных изменений БЖМ (рис. 1, В) и ЖМ (рис. 1, Г) нижних конечностей в кг по отношению к исходному уровню мы не выявили. Также не выявлено существенных различий между группами в изменениях (Δ) БЖМ и ЖМ нижних конечностей за период наблюдения. Таким образом, какой-либо гипертрофии тренируемых мышц нижних конечностей методом биоимпедансометрии после тренировки, несмотря на небольшой позитивный сдвиг

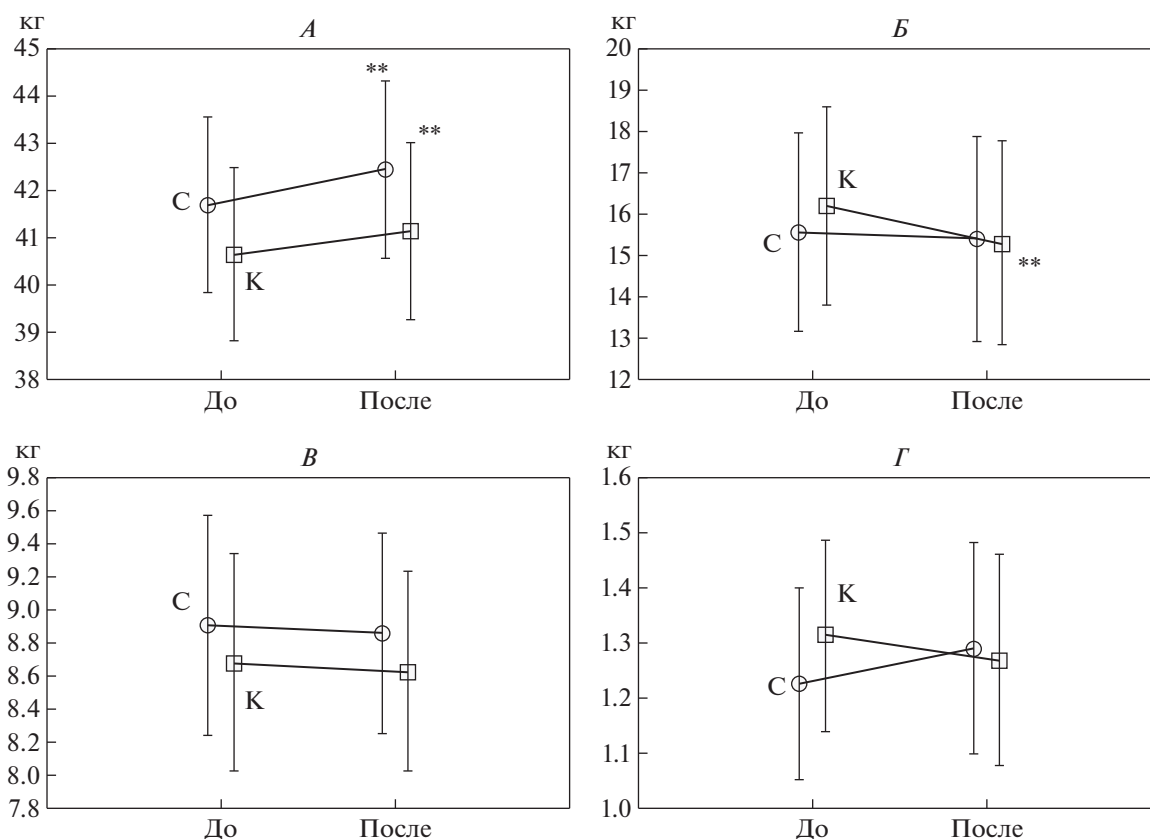


Рис. 1. Изменения состава тела в группах “Сила” (С) и “Контроль” (К) после 10-недельной силовой тренировки ($M \pm 95\%$ Дов. Инт.).

А – безжировая масса (БЖМ, кг) тела ($ANOVA p = 0.270$), Б – жировая масса (ЖМ, кг) тела ($ANOVA p = 0.031$), В – БЖМ конечностей (кг) ($ANOVA p = 0.976$), Г – ЖМ конечностей (кг) ($ANOVA p = 0.340$). ** – $p < 0.01$ – значимость различий по сравнению с исходным уровнем до тренировки, вычисленная по апостериорному критерию наименьшей значимой разницы. $ANOVA p$ – различия в динамике показателей за период тренировки между группами К и С.

БЖМ всего тела в группе “Сила”, мы не зафиксировали.

Силовые способности нижних конечностей. До тренировки группы не различались по силовым показателям. После 10-недельной тренировки группа “Сила” во всех силовых тестах показало существенное улучшение по сравнению с группой “Контроль” (во всех функциональных тестах $p < 0.05$ по данным $ANOVA$, рис. 2).

Как результат, у девушек группы “Сила” после 10-недельной тренировки показатели в тестах “разгибание и сгибание ног в коленных суставах” стали существенно больше ($p < 0.05$, рис. 2, В, Г), а прыжок в длину стал больше на уровне тенденции ($p = 0.063$, рис. 2, Б), чем в группе “Контроль”.

Статическая устойчивость позы после силовой тренировки

Моноопорная стойка на стабилонплатформе с открытыми глазами. Группы не различались по

каким-либо показателям колебаний ОЦД, коленного и голеностопного суставов в моноопорной стойке как до, так и после силовой тренировки (табл. 1). Кроме того, несмотря на снижение V -ОЦД ($p < 0.05$), V_c -КС ($p < 0.1$), $SD\phi$ -ГСС ($p < 0.05$) и $V\phi$ -ГСС ($p < 0.01$) после тренировки в группе “Сила”, отличий от изменений этих показателей в группе “Контроль” не выявлено.

Изменения стабиллографических и кинематических показателей в стойке на платформе с ОГ не коррелировали с изменением состава тела или нижних конечностей (все $p > 0.1$). Из всех силовых показателей только прирост разгибания ног в колене значимо коррелировал с ΔV_c -ГСС-ОГ на платформе ($r = -0.33$; $p = 0.042$). Слабые связи выявлены между увеличением длины прыжка с: 1) ΔSD_c -ГСС-ОГ ($r = -0.30$; $p = 0.067$) и 2) $\Delta V\phi$ -ГСС-ОГ ($r = -0.31$; $p = 0.052$).

Моноопорная стойка на платформе с закрытыми глазами. Группы не различались ни по стабиллографическим, ни по кинематическим показателям устойчивости моноопорной позы в стойке

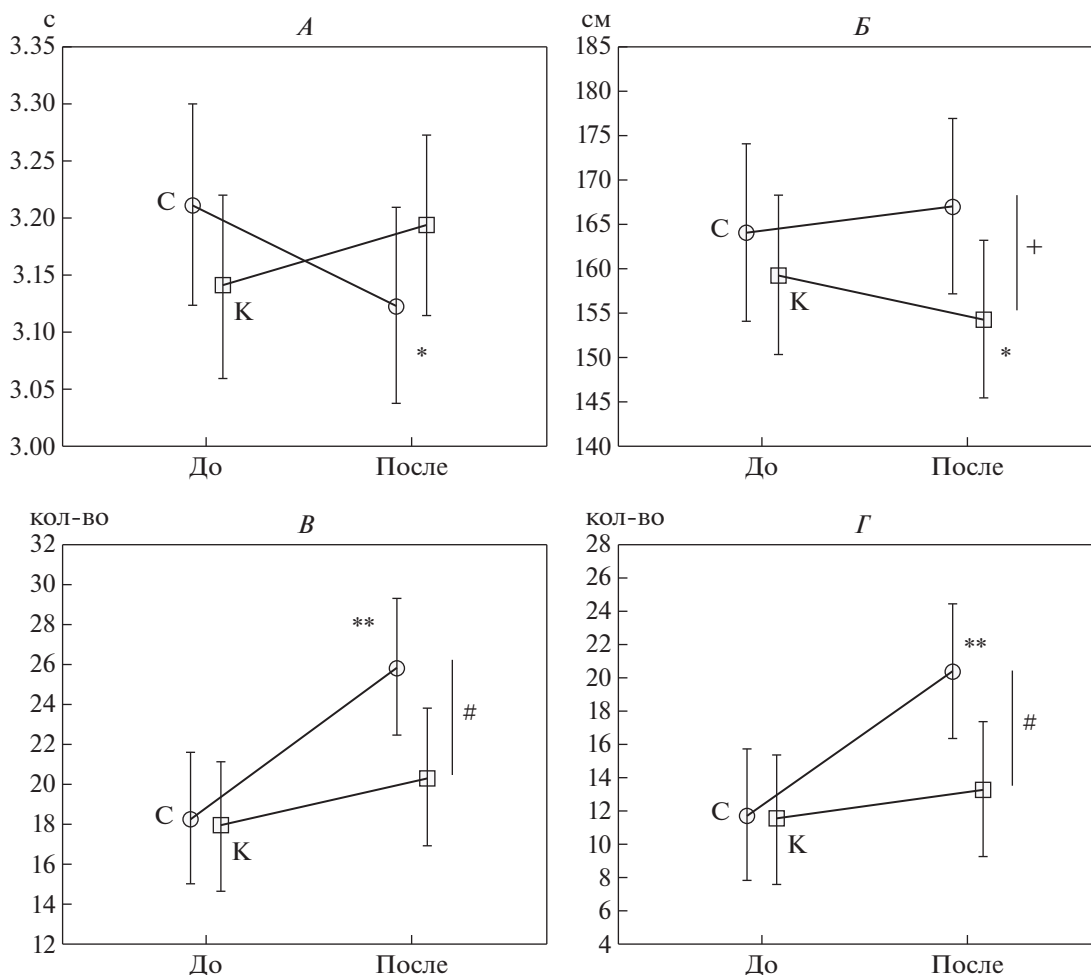


Рис. 2. Изменение силовых показателей в группах “Сила” (С) и “Контроль” (К) после 10-недельной силовой тренировки ($M \pm 95\%$ Дов. Инт.).

А – время бега на 12 м ($ANOVA p = 0.003$), Б – прыжок в длину с места ($ANOVA p = 0.018$), В – разгибание ног в колене на тренажере с сопротивлением 40 кг ($ANOVA p = 0.024$), Г – сгибание ног в колене на тренажере с сопротивлением 30 кг ($ANOVA p = 0.001$). */** – $p < 0.05/0.01$ – значимость различий по сравнению с исходным уровнем до тренировки, вычисленная по апостериорному критерию наименьшей значимой разницы. $ANOVA p$ – различия в динамике показателей за период тренировок между группами К и С. +/# – $p < 0.1/0.05$ между группами К и С после тренировки.

с 3Г как до, так и после тренировки (табл. 2). После силовой тренировки в группе “Сила” по сравнению с исходным уровнем снизились (табл. 2): $V_{с-КС-3Г}$ ($p < 0.05$), $SD_{ф-ГСС-3Г}$ ($p < 0.01$) и $V_{ф-ГСС-3Г}$ ($p < 0.01$), а также амплитуда (SD) колебаний ОЦД во фронтальной плоскости ($-5.54 \pm \pm 22.2\%$, $p = 0.018$, результаты не показаны). Однако эти изменения в группе “Сила” не отличались от динамики этих показателей в группе “Контроль” (табл. 2).

Изменения стабилеографических и кинематических показателей в стойке на платформе с 3Г не коррелировали с изменением состава тела или нижних конечностей (все $p > 0.1$). Из функциональных тестов только прирост результата в тесте “Прыжок в длину с места” слабо коррелировал с $\Delta SD_{ф-ГСС-Пл-3Г}$ ($r = -0.38$; $p = 0.018$).

Полудинамическая устойчивость позы после силовой тренировки

Моноопорная стойка на низком пресс-мате с открытыми глазами. Практически по всем показателям (за исключением повышенной $V_{КС-с}$ до тренировки в группе “Сила”) группы не различались как до, так и после силовой тренировки (табл. 3). Наибольшие различия на уровне тенденции в динамике показателей между группами отмечены в коленном суставе: амплитуда ($\Delta SD_{КС-с}$, $p = 0.098$) и скорость ($\Delta V_{КС-с}$, $p = 0.062$) колебаний в КС после тренировки в группе “Сила” снизились несколько больше, чем в группе “Контроль”. Однако изменения других показателей за период тренировки не различались между группами.

Таблица 1. Стабилографические и кинематические показатели устойчивости позы на стабиллоплатформе с открытыми глазами $Me [25-75\%]$

Показатели	“Сила”	“Контроль”	<i>p</i>
Общий центр давления			
<i>V</i> -ОЦД-ОГ, мм/с (до)	32.3 [26.9–36.7]	30.6 [26.3–35.6]	0.274
<i>V</i> -ОЦД-ОГ, мм/с (после)	29.8 [24.3–36.9]	26.0 [22.3–33.5]	0.255
ΔV -ОЦД-ОГ, %	–11.2 [–18.6–2.0]*	–14.7 [–19.1–5.0]**	0.381
<i>S</i> -ОЦД-ОГ, мм ² (до)	328 [223–433]	312 [214–397]	0.231
<i>S</i> -ОЦД-ОГ, мм ² (после)	265 [227–307]	245.0 [181–349]	0.599
ΔS -ОЦД-ОГ, %	–14.1 [–47.6–18.8]	1.0 [–25.0–21.4]	0.231
Коленный сустав			
<i>SDc</i> -КК-ОГ, град (до)	0.75 [0.43–1.21]	0.65 [0.48–0.99]	0.672
<i>SDc</i> -КК-ОГ, град (после)	0.55 [0.31–0.94]	0.61 [0.42–0.89]	0.530
ΔSDc -КК-ОГ, %	–19.64 [–53.38–44.62]	9.07 [–53.75–44.62]^	0.804
<i>Vc</i> -КК-ОГ, град/с (до)	2.08 [1.34–3.03]	1.96 [1.61–2.67]	0.530
<i>Vc</i> -КК-ОГ, град/с (после)	2.09 [1.53–2.98]	1.81 [1.41–2.85]	0.726
ΔVc -КК-ОГ, %	–5.22 [–21.74–8.60]*	–10.21 [–24.36–12.46]	0.884
Голеностопный сустав			
<i>SDc</i> -ГСС-ОГ, град (до)	0.73 [0.61–0.97]	0.69 [0.55–1.77]	0.521
<i>SDc</i> -ГСС-ОГ, град (после)	0.74 [0.57–1.14]	0.75 [0.61–1.15]	0.815
ΔSDc -ГСС-ОГ, %	–9.86 [–26.97–13.85]	3.41 [–30.43–53.45]	0.365
<i>SDф</i> -ГСС-ОГ, град (до)	1.47 [0.92–2.83]	1.65 [1.15–2.34]	0.683
<i>SDф</i> -ГСС-ОГ, град (после)	1.15 [0.74–2.08]	1.55 [0.91–1.98]	0.793
$\Delta SDф$ -ГСС-ОГ, %	–26.32 [–40.14–3.48]**	–2.99 [–33.76–13.98]	0.381
<i>Vф</i> -ГСС-ОГ, град/с (до)	6.69 [3.89–9.84]	5.54 [4.26–9.41]	0.726
<i>Vф</i> -ГСС-ОГ, град/с (после)	4.67 [3.31–7.70]	5.19 [3.48–7.64]	0.849
$\Delta Vф$ -ГСС-ОГ, %	–26.93 [–37.12–2.31]**	–19.21 [–27.09–3.86]*	0.579
<i>Vc</i> -ГСС-ОГ, град/с (до)	2.28 [1.85–3.27]	2.07 [1.80–2.69]	0.231
<i>Vc</i> -ГСС-ОГ, град/с (после)	2.61 [1.98–3.23]	2.28 [1.75–2.86]	0.465
ΔVc -ГСС-ОГ, %	2.54 [–20.18–24.89]	–4.58 [–12.72–35.51]	0.484

Примечание: *V*-ОЦД – скорость колебаний ОЦД; Δ – изменение за период тренировки; *SDф*/*SDc* – амплитуда колебаний угла в суставе по фронтали/по сагиттали; *Vc*/*Vф* – скорости колебаний суставных углов по сагиттали/по фронтали; КК – коленный сустав; ГСС – голеностопный сустав; ОГ – открытые глаза; ^/*/** – $p < 0.1/0.05/0.01$ по сравнению с исходным периодом; *p* – значимость различий между группами.

Прирост БЖМТ слабо коррелировал с ΔSDc -КК-ПП-ОГ ($r = -0,31$; $p = 0.048$), корреляций с изменением ЖМ и БЖМ ног не выявлено (все $p > 0.1$). Со стороны силовых показателей, только прирост количества разгибаний ног в колене коррелировал с уменьшением: 1) *SDф*-ГСС-ПП-ОГ ($r = -0.34$; $p = 0.030$) и 2) *Vф*-ГСС-ПП-ОГ ($r = -0.29$; $p = 0.074$).

Моноопорная стойка на низком пресс-папье с закрытыми глазами. Тест на низком пресс-папье оказался достаточно сложным поструральным заданием – простоять 40 с. Тест не выполнили до тренировки в группе “Сила” 47% (9/19) девушек, а в группе “Контроль” – 33% (7/21) ($p = 0.5$ между

группами “Сила” и “Контроль” по тесту χ^2). После программы тренировки тест не прошли в группе “Сила” 16% девушек (3/19, $p < 0.09$ по тесту МакНемара между до и после), в группе “Контроль” – 29% девушек (6/21, $p = 0.81$ по тесту МакНемара между до и после). Различия между группами в количестве испытуемых, прошедших этот тест, было не существенно.

Стабилометрический анализ выполнен на 10 испытуемых группы “Сила” и 11 контрольных девушек, которые прошли тест полностью до и после программы тренировки. В группе “Сила” после тренировки выявлено снижение следующих показателей: *S*-ОЦД-ПП-3Г на 27.2% на

Таблица 2. Стабилографические и кинематические показатели устойчивости моноопорной позы на платформе с закрытыми глазами после 10-недельной силовой тренировки (*Me* 25–75%)

Показатели	“Сила”	“Контроль”	<i>p</i>
Общий центр давления			
<i>V</i> -ОЦД-ЗГ, мм/с (до)	71.2 [58.0–81.5]	63.3 [51.3–71.6]	0.416
<i>V</i> -ОЦД-ЗГ, мм/с (после)	67.6 [48.7–84.4]	59.11 [43.6–74.4]	0.371
ΔV -ОЦД-ЗГ, %	–4.6 [–22.9–10.1]	–4.7 [–16.0–6.4]	0.914
<i>S</i> -ОЦД-ЗГ, мм ² (до)	813 [686–1322]	724 [521–1088]	0.498
<i>S</i> -ОЦД-ЗГ, мм ² (после)	692 [605–1179]	679 [504–1027]	0.551
ΔS -ОЦД-ЗГ, %	–13.5 [–27.9–17.6]	–5.1 [–19.0–15.3]	0.570
Коленный сустав			
<i>SDc</i> -Кс-ЗГ, град (до)	1.35 [0.58–1.91]	1.46 [0.83–2.32]	0.735
<i>SDc</i> -Кс-ЗГ, град (после)	0.97 [0.65–1.52]	1.05 [0.74–0.80]	0.456
ΔSDc -Кс-ЗГ, %	–37.7 [–59.3–47.7]	–12.1 [–34.1–11.7]	0.626
<i>Vc</i> -Кс-ЗГ, град/с (до)	5.44 [3.29–7.43]	4.16 [3.57–5.49]	0.371
<i>Vc</i> -Кс-ЗГ, град/с (после)	4.79 [3.23–6.35]	4.14 [3.14–5.72]	0.524
ΔVc -Кс-ЗГ, %	–10.9 [–29.4–12.03]*	–3.4 [–13.8–8.17]	0.303
Голеностопный сустав			
<i>SDc</i> -ГСС-ЗГ, град (до)	1.15 [0.79–1.71]	1.07 [0.86–0.53]	0.860
<i>SDc</i> -ГСС-ЗГ, град (после)	1.34 [0.73–1.81]	1.12 [0.91–1.38]	0.787
ΔSDc -ГСС-ЗГ, %	5.6 [–28.6–98.6]	17.3 [–35.0–57.0]	0.828
<i>SDф</i> -ГСС-ЗГ, град (до)	3.56 [1.88–6.85]	3.49 [2.70–4.68]	0.807
<i>SDф</i> -ГСС-ЗГ, град (после)	3.26 [1.54–4.70]	3.42 [2.58–3.99]	0.588
$\Delta SDф$ -ГСС-ЗГ, %	–18.8 [–38.6–4.0]**	–5.3 [–23.3–14.1]	0.233
<i>Vф</i> -ГСС-ЗГ, град/с (до)	14.70 [12.0–28.4]	16.50 [12.0–18.8]	0.725
<i>Vф</i> -ГСС-ЗГ, град/с (после)	12.45 [7.91–21.22]	14.73 [8.90–18.03]	0.903
$\Delta Vф$ -ГСС-ЗГ, %	–20.1 [–33.7–2.3]**	–10.4 [–19.9–14.8]	0.267
<i>Vc</i> -ГСС-ЗГ, град/с (до)	4.95 [3.71–8.20]	4.10 [3.41–5.22]	0.198
<i>Vc</i> -ГСС-ЗГ, град/с (после)	5.26 [4.14–7.25]	4.76 [3.31–6.32]	0.343
ΔVc -ГСС-ЗГ, %	–8.1 [–28.9–32.5]	1.4 [–16.0–34.4]	0.432

Примечание: ЗГ – закрытые глаза. Остальные обозначения см. в табл. 1.

уровне тенденции ($p = 0.06$), *V*-Кс-ПП-ЗГ на 20.0% ($p < 0.05$), *SDф*-ГСС-ПП-ЗГ на 22.8% ($p < 0.05$), *Vф*-ГСС-ПП-ЗГ на 20.1% ($p < 0.05$) по сравнению с исходным уровнем (табл. 4). Однако различия по ΔSD -Кс-ПП-ЗГ ($p = 0.079$) и ΔV -Кс-ПП-ЗГ ($p = 0.079$) между группами “Сила” и “Контроль” были на уровне тенденции (табл. 4).

Корреляционный анализ выполнен на участниках, которые смогли пройти тест до и после тренировки ($n = 21$). Существенная корреляция обнаружена только между ΔSDc -Кс-ПП-ЗГ и Δ Время бега на 12 м ($r = 0.46$; $p = 0.038$).

Моноопорная стойка на высоком пресс-папье с закрытыми глазами. Группы не различались по времени удержания моноопорной стойки на высоком пресс-папье ни до, ни после 10-недельной силовой тренировки (рис. 3). После курса трени-

ровки в группе “Сила” время баланса увеличилось статистически существенно, но всего на 3.8 с ($p = 0.040$ по сравнению с исходным уровнем). Однако это увеличение не отличалось от изменения в группе “Контроль” (+1.9; –4.0–5.3 с. *Me*: 25–75%, $p = 0.18$).

Значимых корреляций между изменением времени сохранения устойчивости на высоком пресс-папье с ЗГ и изменением антропометрии и силовых показателей за период силовой тренировки не выявлено.

Специфическая проприоцептивная чувствительность. Оценка точности воспроизведения наклона вертикальным телом в голеностопном суставе не выявила существенных изменений ошибки воспроизведения ОЦД, ошибки воспроизведения углов в ТБС и в ГСС (рис. 4) ни в кон-

Таблица 3. Изменение стабиллографических и кинематических показателей устойчивости позы на низком пресс-папье с открытыми глазами после 10-недельной силовой тренировки (*Me* 25–75%)

Показатели	“Сила”	“Контроль”	<i>p</i>
Общий центр давления			
<i>V</i> -ОЦД-ПП-ОГ, мм/с (до)	38.7 [27.5–43.3]	34.9 [31.6–40.0]	0.570
<i>V</i> -ОЦД-ПП-ОГ, мм/с (после)	35.1 [25.1–40.3]	30.7 [26.4–36.5]	0.787
ΔV -ОЦД-ПП-ОГ, %	–8.9 [–15.6–4.1]*	–16.5 [–20.7–3.1]**	0.330
<i>S</i> -ОЦД-ПП-ОГ, мм ² (до)	338 [224–402]	361 [236–479]	0.892
<i>S</i> -ОЦД-ПП-ОГ, мм ² (после)	314 [274–351]	222 [175–321]	0.151
ΔS -ОЦД-ПП-ОГ, %	–12.6 [–33.5–28.8]	–23.0 [–54.0–14.7]*	0.401
Коленный сустав			
<i>SDc</i> -КК-ПП-ОГ, град (до)	0.82 [1.45–1.11]	0.61 [1.54–0.79]	0.136
<i>SDc</i> -КК-ПП-ОГ, град (после)	0.56 [0.40–1.04]	0.72 [0.62–1.04]	0.162
ΔSDc -КК-ПП-ОГ, %	–34.4 [–67.5–5.2]**	1.3 [–37.9–25.7]	0.098
<i>Vc</i> -КК-ПП-ОГ, град/с (до)	3.52 [2.73–5.16]	2.37 [1.92–3.22]	0.036
<i>Vc</i> -КК-ПП-ОГ, град/с (после)	2.46 [1.88–3.16]	2.12 [1.84–3.27]	0.855
ΔVc -КК-ПП-ОГ, %	–20.7 [–49.6–10.9]**	–12.1 [–29.8–37.3]	0.062
Голеностопный сустав			
<i>SDc</i> -ГСС-ПП-ОГ, град (до)	1.48 [1.00–1.77]	1.71 [1.03–2.12]	0.508
<i>SDc</i> -ГСС-ПП-ОГ, град (после)	1.47 [0.88–1.64]	1.34 [0.93–1.70]	1.000
ΔSDc -ГСС-ПП-ОГ, %	–12.0 [–36.5–19.9]	–11.3 [–42.3–23.8]*	0.704
<i>SDф</i> -ГСС-ПП-ОГ, град (до)	1.65 [1.26–2.45]	1.71 [1.37–2.10]	0.921
<i>SDф</i> -ГСС-ПП-ОГ, град (после)	1.55 [1.00–2.04]	1.57 [0.97–1.88]	1.000
$\Delta SDф$ -ГСС-ПП-ОГ, %	–9.4 [–39.2–2.5]*	–14.2 [–36.4–2.9]^	0.811
<i>Vф</i> -ГСС-ПП-ОГ, град/с (до)	6.45 [4.83–9.68]	6.62 [5.27–9.34]	0.899
<i>Vф</i> -ГСС-ПП-ОГ, град/с (после)	4.95 [3.34–7.17]	6.92 [3.54–8.07]	0.375
$\Delta Vф$ -ГСС-ПП-ОГ, %	–20.6 [–36.9–2.5]**	–16.0 [–30.7–0.8]^	0.508
<i>Vc</i> -ГСС-ПП-ОГ, град/с (до)	5.16 [3.28–6.08]	4.53 [3.52–6.28]	0.499
<i>Vc</i> -ГСС-ПП-ОГ, град/с (после)	3.98 [3.28–4.97]	4.22 [2.95–5.81]	0.910
ΔVc -ГСС-ПП-ОГ, %	–16.3 [–28.8–9.2]**	–19.62 [–30.0–2.6]*	0.855

Примечание: ПП – пресс-папье; ОГ – открытые глаза. Остальные обозначения см. в табл. 1.

трольной, ни в группе “Сила” после периода силовой тренировки.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Главной целью настоящей работы было изучить влияние силовой тренировки поструральных мышц нижних конечностей на статическое и полудинамическое равновесие моноопорной позы у молодых испытуемых. Результаты авторов данной статьи показали, что силовая тренировка не оказывает существенного влияния ни на статическую, ни на полудинамическую устойчивость моноопорной позы. Однако отмечалась устойчивая тенденция к снижению амплитуды и скорости колебаний коленного сустава в стойке на подвижной опоре.

Программа силовой подготовки любительского уровня оказалась эффективной в увеличении силовых показателей, но не в увеличении мышечной массы. После силовой тренировки увеличилась скорость бега на дистанции 12 м, а также возросло количество сгибаний и разгибаний ног в коленном суставе с субмаксимальным весом. Однако существенных различий в БЖМ и ЖМ конечностей по сравнению с группой “Контроль” не выявлено. Следовательно, прирост силовых способностей произошел в основном за счет совершенствования центрально-нервных факторов регуляции силы тренируемых мышц, например, повышения частоты нервных импульсов, рекрутзации двигательных единиц, межмышечной координации сокращений и других процессов. Действительно, показано, что прирост силы

Таблица 4. Изменение стабиллографических и кинематических показателей устойчивости позы на низком пресс-папье с закрытыми глазами после 10-недельной силовой тренировки (*Me* 25–75%)

Показатели	“Сила” (<i>n</i> = 10)	“Контроль” (<i>n</i> = 11)	<i>p</i>
Общий центр давления			
<i>V</i> -ОЦД-ПП-ЗГ, мм/с (до)	78.5 [70.8–101.5]	84.5 [72.2–104.1]	0.699
<i>V</i> -ОЦД-ПП-ЗГ, мм/с (после)	83.0 [67.0–88.8]	89.1 [64.9–103.7]	0.504
ΔV -ОЦД-ПП-ЗГ, %	–4.2 [–15.3–10.2]	–1.9 [–13.1–4.3]	0.916
<i>S</i> -ОЦД-ПП-ЗГ, мм ² (до)	1944 [1220–2566]	1846 [1226–2521]	0.972
<i>S</i> -ОЦД-ПП-ЗГ, мм ² (после)	1612 [1267–1790]	1816 [1629–2622]	0.098
ΔS -ОЦД-ПП-ЗГ, %	–27.2 [–42.4–3.4] [^]	–1.7 [–26.0–20.3]	0.130
Коленный сустав			
<i>SDc</i> -КК-ПП-ЗГ, град (до)	1.60 [1.02–2.10]	1.78 [1.15–3.17]	0.903
<i>SDc</i> -КК-ПП-ЗГ, град (после)	1.84 [1.00–3.04]	2.79 [1.55–3.88]	0.307
ΔSDc -КК-ПП-ЗГ, %	–12.2 [–46.9–58.8]	37.8 [0.9–118.0]	0.079
<i>Vc</i> -КК-ПП-ЗГ, град/с (до)	7.30 [6.53–9.59]	7.46 [5.86–8.98]	0.967
<i>Vc</i> -КК-ПП-ЗГ, град/с (после)	6.62 [4.97–7.88]	7.42 [5.23–11.18]	0.307
ΔVc -КК-ПП, %	–20.0 [–30.6–7.9]*	7.2 [–23.3–26.7]	0.079
Голеностопный сустав			
<i>SDc</i> -ГСС-ПП-ЗГ, град (до)	3.82 [2.94–5.12]	4.55 [3.65–5.19]	0.597
<i>SDc</i> -ГСС-ПП-ЗГ, град (после)	3.67 [3.23–4.16]	4.13 [3.65–4.53]	0.170
ΔSDc -ГСС-ПП-ЗГ, %	–13.2 [–39.6–24.5]	–0.4 [–18.7–20.6]	0.549
<i>SDф</i> -ГСС-ПП-ЗГ, град (до)	5.15 [3.30–6.03]	5.11 [3.67–5.99]	0.860
<i>SDф</i> -ГСС-ПП-ЗГ, град (после)	3.70 [2.54–4.67]	4.13 [2.92–5.94]	0.170
$\Delta SDф$ -ГСС-ПП-ЗГ, %	–22.8 [–37.5–1.5]*	–19.2 [–36.2–32.7]	0.504
<i>Vф</i> -ГСС-ПП-ЗГ, град/с (до)	19.06 [15.35–20.68]	18.97 [16.58–22.38]	0.916
<i>Vф</i> -ГСС-ПП-ЗГ, град/с (после)	14.61 [12.83–16.43]	16.66 [12.59–24.64]	0.418
$\Delta Vф$ -ГСС-ПП-ЗГ, %	–21.1 [–29.8–4.3]*	–17.6 [–32.9–9.1]	0.860
<i>Vc</i> -ГСС-ПП-ЗГ, град/с (до)	12.27 [11.96–17.64]	14.09 [10.47–16.64]	0.972
<i>Vc</i> -ГСС-ПП-ЗГ, град/с (после)	11.91 [11.33–13.70]	13.08 [10.34–15.88]	0.597
ΔVc -ГСС-ПП-ЗГ, %	–5.9 [–29.4–5.5]	–3.1 [–21.4–17.5]	0.460

Примечание: ПП – пресс-папье; ЗГ – закрытые глаза. Остальные обозначения см. в табл. 1.

мышц после первых 2-х мес. тренировок, в основном, происходит за счет нервных адаптаций и мало связан с гипертрофией мышц [11].

Силовая тренировка и статическая устойчивость позы. Статический баланс – это способность сохранять ОЦД в пределах фиксированной и неподвижной базы опоры, например, на твердой опоре [9, 12]. Мы измеряли статическую устойчивость позы в моноопорной стойке на не ведущей конечности, поскольку это более сложное задание на равновесие, требующее значительной активации постуральной системы по сравнению с биоопорным положением. Время моноопорного баланса является надежным маркером для выявления постурального дефицита и предиктором падений у пожилых лиц [13].

Результаты показали, что после курса силовой тренировки в стойке на платформе с ОГ произошло уменьшение *V*-ОЦД ($p < 0.05$), а также стабилизация голеностопного сустава по фронтالي: уменьшились *SDф*-ГСС ($p < 0.05$) и *Vф*-ГСС ($p < 0.01$). Однако эти позитивные сдвиги не отличались от изменений в контрольной группе. В стойке с ЗГ существенных изменений стабиллографических показателей за период тренировки не произошло, но увеличилась стабильность коленного и голеностопного составов. Однако эти изменения также не отличались от сдвигов в группе “Контроль”. Таким образом, увеличение силовых способностей нижних конечностей после курса силовой тренировки не оказывало существенного влияния на повышение статической

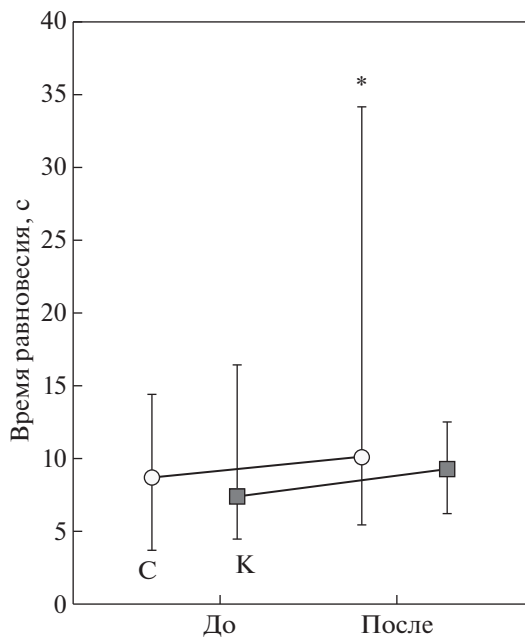


Рис. 3. Изменение устойчивости моноопорной стойки на высоком пресс-папье с закрытыми глазами после курса силовой тренировки. С – группа “Сила”, К – группа “Контроль”, * – $p < 0.05$ по сравнению со значениями до тренировки. Различие между изменениями времени равновесия в группах по критерию *Mann-Whitney* $p = 0.18$.

устойчивости вертикальной позы, а снижение колебаний ОЦД и суставов в группах может быть обусловлено эффектом обучения, связанного с повторением батареи тестов на равновесие во время тестирования.

Силовая тренировка не вызвала существенно-го повышения и полудинамического равновесия моноопорной позы в стойке на низком пресс-папье с ОГ и ЗГ. Кроме того, несмотря на существенный прирост времени сохранения равновесия позы на высоком пресс-папье (в среднем на 3.8 с, $p = 0.040$, рис. 3) после программы тренировки, никаких отличий от группы “Контроль” также не выявлено.

Эти результаты согласуются с данными других работ, которые так же, как и мы, не смогли выявить позитивных изменений статической устойчивости в обычных постральных тестах (в би- и моноопорных стойках) после программ силовой направленности [5, 9, 14].

В частности, в работе [14] не обнаружено повышения статической устойчивости в би- и моноопорных стойках у пожилых испытуемых после интервальной тренировки и одновременного роста пиковой мощности в максимальном велоэргометрическом тесте. В исследовании [9] сравнивали эффект силовой и проприоцептивной тренировки на статический, полудинамический и динамический баланс у здоровых молодых испытуемых. Авторы установили, что ни силовая, ни проприоцептивная тренировки не вызывали улучшения статического моноопорного баланса, однако отмечался существенный прирост полудинамического и динамического баланса. В другой работе [5] был показан парадоксально меньший эффект ($\approx 1\%$) высоких силовых нагрузок по сравнению с эффектом (улучшение $\approx 10\%$) тренировки с малыми сопротивлениями, но максимальной скоростью упражнений в совершенствовании полудинамического баланса у здоровых пожилых лиц. Авторы предположили, что для по-

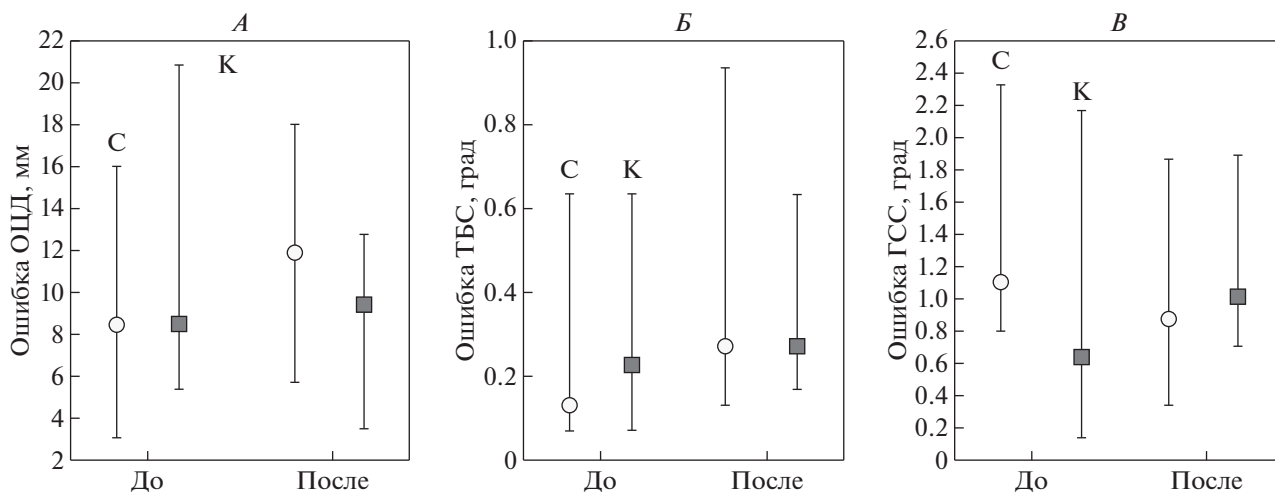


Рис. 4. Специфическая проприоцептивная чувствительность после курса силовой тренировки ($Me [25-75\%]$). А – ошибка воспроизведения положения общего центра давления (ОЦД). Б – ошибка воспроизведения угла в тазобедренном суставе (ТБС). В – ошибка воспроизведения угла в голеностопном суставе (ГСС). С – группа “Сила”, К – группа “Контроль”.

стуральной регуляции большее значение имеет скорость сокращения мышц, чем максимальная сила или силовая выносливость. Отсутствие эффекта 2-недельной баллистической тренировки мышц ног на статический и динамический баланс вопреки увеличению силовых показателей было показано также у подростков 15–17 лет [15]. В системном обзоре 37 исследований обнаружили слабые связи у детей ($r = 0.11$, $p = \text{нд}$), молодых ($r = 0.20$, $p = 0.07$) и пожилых здоровых лиц ($r = 0.27$, $p < 0.001$) между показателями силы или мощности и статической устойчивостью моноопорной позы [16]. Несмотря на корреляции, авторы сделали вывод о независимости силовых и поструральных способностей.

Механизмы отсутствия эффекта силовой тренировки на поструральное равновесие. Причины отсутствия влияния взрослых силовых способностей поструральных мышц ног на статическую и полудинамическую устойчивость позы могут быть обусловлены следующими обстоятельствами. Во-первых, увеличение силовых способностей выше минимально необходимого порога, вероятно, не оказывает дополнительного влияния на управление вертикальной позой. В обычных условиях стояния для сохранения равновесия требуются невысокие силовые способности, поэтому резерв максимальной силы не используется для сохранения статического равновесия [1, 9]. Как правило, связь между силой поструральных мышц и колебаниями позы проявляется при исходно сниженных силовых способностях поструральных мышц: у пожилых лиц или при заболеваниях, сопровождающихся саркопенией/гиподинамией [4–6]. Поскольку в нашем эксперименте участвовали молодые физически активные девушки с нормальным уровнем силовых способностей мышц ног, то дополнительная силовая тренировка не вызвала значительного эффекта в поструральной регуляции.

Во-вторых, нервные адаптации, вызванные силовыми упражнениями, по-видимому, не используются системой поструральной регуляции во время заданий на равновесие вследствие их специфичности тренировочным упражнениям. Действительно, регуляция позы, в большей мере, основана на согласованности и эффективности сенсомоторных процессов управления поструральными мышцами, а не на способности к максимальным сокращениям. Силовая тренировка ведет к нервным адаптациям, которые отличны от перестроек, вызванных специфической поструральной тренировкой [17, 18]. Так, силовая тренировка вызывает рост возбудимости α -мотонейронов в непривычных поструральных тестах. Напротив, после баланс-тренировки возбудимость в поструральных тестах [17, 18] или рефлекторная активность на механическое растяжение икроножных мышц [19] снижаются. Специфичность

перестроек возбудимости α -мотонейронов, во многом, обусловлена нисходящими корково-спинномозговыми влияниями: усилением или ослаблением торможения активности Ia-афферентов во время поструральных заданий после баланс-тренировки и силовой тренировки соответственно. Схожим образом возбудимость α -мотонейронов снижается с увеличением координационной сложности поструральных заданий: от положения лежа к нормальной стойке и к тандемной стойке [20], хотя некоторые авторы не выявили такой зависимости [21].

Косвенно на независимость регуляции позы от силовых способностей указывало отсутствие корреляций между изменениями *стабилографических показателей* в поструральных тестах и приростом силовых способностей за период эксперимента. Нами обнаружены только слабые корреляции ($r = -0.30$ – -0.40 ; $p < 0.1$ – 0.02) между изменением *кинематических* (амплитуды и скорости колебаний углов в голеностопном суставе в стойке на платформе и пресс-папье) и изменением силовых показателей (прыжок в длину с места и разгибание ног на тренажере).

В-третьих, силовая тренировка не вызвала увеличения специфической проприоцептивной чувствительности в тесте на воспроизведение наклона вертикальным телом в голеностопном суставе. Ошибка воспроизведения ОЦД, а также ошибки воспроизведения углов в ТБС и ГСС не изменились после тренировочной программы (рис. 4). Проприоцептивная чувствительность вносит наибольший вклад, около 70%, в устойчивость вертикальной позы в статических условиях стояния по сравнению с вестибулярной (10%) и зрительной (20%) сенсорными системами [22]. Следовательно, силовая тренировка оказалась малоэффективной в совершенствовании соматосенсорного фактора поструральной устойчивости, что также указывает на слабое влияние силовой тренировки на способность к поструральному равновесию.

Полученные нами результаты подтверждаются литературными данными. Как правило, существенное влияние на регуляцию позы оказывают специфические упражнения, имеющие биомеханическое сходство с тестируемыми заданиями на равновесие [23]. Напротив, упражнения, отличные от применяемых в исследовании, либо слабо, либо вообще не влияют на тестируемые поструральные способности [16, 24]. Следовательно, нервно-мышечные адаптации, обеспечиваемые силовой тренировкой, вероятно, малоэффективны для совершенствования поструральной регуляции.

Несмотря на отсутствие прироста стабилографических показателей устойчивости позы, силовая тренировка привела к снижению амплитуды ($p < 0.05$) и скорости ($p < 0.05$) колебаний коленного сустава в стойке на подвижной опоре в усло-

виях ОГ и ЗГ. Причем динамика этих показателей различалась между группами на уровне тенденции: $p < 0.09-0.06$. Поскольку с ростом сложности тестов на равновесие вертикальной позы амплитуда и особенно скорость колебаний в суставах опорных конечностей повышаются [25], то снижение SD-КС и V-КС в стойке на пресс-папье является позитивной адаптацией, направленной, на повышение постральной устойчивости. Как правило, рост стабильности суставов повышает устойчивость позы в сложных условиях стояния [9]. Однако в нашей работе повышение стабильности коленного сустава во время стойки на подвижной опоре было не достаточным для увеличения устойчивости всей позы. Вероятно, для этого необходимы дополнительные механизмы, улучшающие нейромышечные регуляции в других суставах тела и конечностях, в первую очередь, в голеностопном суставе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Силовая тренировка постральных мышц нижних конечностей у молодых здоровых испытуемых способствует увеличению стабильности коленного сустава в стойке на подвижной опоре, однако практически не оказывает влияния на статическое, т.е. в стойке на устойчивой платформе, и полудинамическое, т.е. в стойке на подвижном пресс-папье, постральное равновесие, а также не изменяет специфическую проприоцептивную чувствительность в постральном тесте. Можно полагать, что нервно-мышечные адаптации, вызванные силовыми упражнениями, не имеющие биомеханического и динамического сходства с постральными упражнениями на равновесие, не могут быть прямо использованы системой регуляции позы, по крайней мере, у молодых испытуемых с нормальным уровнем развития физических способностей.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с положениями биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г., ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Ярославского государственного педагогического университета им. К.Д. Ушинского (Ярославль).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие на участие в предстоящем экспериментальном исследовании.

Благодарности. Авторы выражают благодарность директору Государственного училища (техникум) олимпийского резерва по хоккею г. Ярославля Е.А. Крошевой за помощь в организации проведения эксперимента.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Paillard T. Relationship between sport expertise and postural skills // *Front. Physiol.* 2019. V. 10. P. 1428.
2. Andreeva A., Melnikov A., Skvortsov D. et al. Postural stability in athletes: The role of sport direction // *Gait Posture.* 2021. V. 89. P. 120.
3. Massion J. Postural control system // *Curr. Opin. Neurobiol.* 1994. V. 4. № 6. P. 877.
4. Billot M., Simoneau E.M., Van Hoecke J., Martin A. Age-related relative increases in electromyography activity and torque according to the maximal capacity during upright standing // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2010. V. 109. № 4. P. 669.
5. Orr R., de Vos N.J., Singh N.A. et al. Power training improves balance in healthy older adults // *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 2006. V. 61. № 1. P. 78.
6. Butler A.A., Lord S.R., Rogers M.W., Fitzpatrick R.C. Muscle weakness impairs the proprioceptive control of human standing // *Brain Res.* 2008. V. 1242. P. 244.
7. Bryanton M.A., Bilodeau M. The effect of vision and surface compliance on balance in untrained and strength athletes // *J. Mot. Behav.* 2019. V. 51. № 1. P. 75.
8. Izquierdo M., Aguado X., Gonzalez R. et al. Maximal and explosive force production capacity and balance performance in men of different ages // *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1999. V. 79. № 3. P. 260.
9. Blackburn T., Guskiewicz M., Petschauer M.A., Prentice W.E. Balance and joint stability: the relative contributions of proprioception and muscular strength // *J. Sport Rehabil.* 2000. V. 9. № 4. P. 315.
10. Мельников А.А., Смирнова П.А., Николаев Р.Ю. и др. Влияние стретчинг-тренировки нижних конечностей на устойчивость вертикальной позы // *Физиология человека.* 2021. Т. 47. № 3. С. 31. Melnikov A.A., Smirnova P.A., Nikolaev R. Yu. Influence of stretching training of the lower limbs on the postural stability // *Human Physiology.* 2021. V. 47. № 3. P. 270.
11. Häkkinen K., Alen M., Kallinen M. et al. Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2000. V. 83. № 1. P. 51.
12. Horak F.B. Clinical measurement of postural control in adults // *Phys. Ther.* 1987. V. 67. № 12. P. 1881.
13. Vellas B.J., Wayne S.J., Romero L. et al. One-leg balance is an important predictor of injurious falls in older persons // *J. Am. Geriatr. Soc.* 1997. V. 45. № 6. P. 735.
14. Sculthorpe N.F., Herbert P., Grace F. One session of high-intensity interval training (HIIT) every 5 days, improves muscle power but not static balance in lifelong sedentary ageing men: A randomized controlled trial // *Medicine (Baltimore).* 2017. V. 96. № 6. P. e6040.
15. Granacher U., Muehlbauer T., Doerflinger B. et al. Promoting strength and balance in adolescents during physical education: effects of a short-term resistance

- training // *J. Strength Cond. Res.* 2011. V. 25. № 4. P. 940.
16. Muehlbauer T., Gollhofer A., Granacher U. Associations between measures of balance and lower-extremity muscle strength/power in healthy individuals across the lifespan: A systematic review and meta-analysis // *Sports Med.* 2015. V. 45. № 12. P. 1671.
 17. Taube W., Kullmann N., Leukel C. et al. Differential reflex adaptations following sensorimotor and strength training in young elite athletes // *Int. J. Sports Med.* 2007. V. 28. № 12. P. 999.
 18. Schubert M., Beck S., Taube W. et al. Balance training and ballistic strength training are associated with task-specific corticospinal adaptations // *Eur. J. Neurosci.* 2008. V. 27. № 8. P. 2007.
 19. Gruber M., Taube W., Gollhofer A. et al. Training-specific adaptations of H- and stretch reflexes in human soleus muscle // *J. Mot. Behav.* 2007. V. 39. № 1. P. 68.
 20. Chalmers G.R., Knutzen K.M. Soleus H-reflex gain in healthy elderly and young adults when lying, standing, and balancing // *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 2002. V. 57. № 8. P. B321.
 21. Солопова И.А., Денискина Н.В., Казенников О.В. и др. Исследование возбудимости спинальных α -мотонейронов при стоянии в обычных и усложнённых условиях // *Физиология человека.* 2003. Т. 29. № 4. С. 133.
 22. Solopova I.A., Deniskina N.V., Kazennikov O.V. et al. Study of spinal α motor neuron excitability during standing under normal and complicated conditions // *Human Physiology.* 2003. V. 29. № 4. P. 505.
 23. Horak F.B. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? // *Age Ageing.* 2006. V. 35. Suppl 2. P. ii7.
 24. Giboin L.S., Gruber M., Kramer A. Task-specificity of balance training // *Hum. Mov. Sci.* 2015. V. 44. P. 22.
 25. Kümme J., Kramer A., Giboin L.S., Gruber M. Specificity of balance training in healthy individuals: A systematic review and meta-analysis // *Sports Med.* 2016. V. 46. № 9. P. 1261.
 26. Kilby M.C., Molenaar P.C., Newell K.M. Models of postural control: shared variance in joint and com motions // *PLoS. One.* 2015. V. 10. № 5. P. e0126379.

The Influence of Lower Limbs Strength Training on the Postural Stability of Physically Active Girls

A. A. Melnikov^{a, *}, P. A. Smirnova^b, A. M. Fedorov^c, M. V. Malahov^d

^aRussian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism, Moscow, Russia

^bYaroslavl State Pedagogical University named after K.D. Ushinsky, Yaroslavl, Russia

^cCherepovets State University, Cherepovets, Russia

^dYaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russia

*E-mail: meln1974@yandex.ru

The aim of the work was to study the influence of strength training on postural stability of young physically active girls ($n = 38$, 17–21 years old). Half of the girls ($n = 19$) trained the strength abilities of the lower extremities for 10 weeks (3 times a week) and the other half of the girls ($n = 19$) made up the “Control”. To assess the one-leg posture stability, fluctuations of the center of pressure (COP) and fluctuations of the angles in the ankle and knee joints were determined in the tests: 1) on a stabiloplatfom with eyes open (EO) and eyes closed (EC); 2) on a low see-saw ($h = 10$ cm) with EO and EC; 3) on a high ($h = 30$ cm) see-saw with EC. Strength abilities were recorded using functional tests. The composition of the whole body and lower limbs were determined using bioimpedance analysis. Compared with the “Control” group, trained girls showed an increase of strength abilities without signs of muscle hypertrophy, as well as a tendency ($p < 0.09$) to the increased stability of the knee joint in standing on a low see-saw. The accuracy of the reproduction of the vertical body incline did not change after training. However, decreases of fluctuations in COP and angles in the ankle joint during stance on the stabiloplatfom and on a low see-saw, as well as an increase in the balance time on a high see-saw, revealed after strength training, did not differ from the changes in these indicators in “Control”. Thus, despite the increased stability of the knee joint, strength training of the leg muscles has practically no effect on the regulation of static (on the solid support) and semi-dynamic (on the movable see-saw) postural balance.

Keywords: postural stability, stabilography, static and semi-dynamic balance, strength training, one-leg posture, see-saw.