

УДК 612.886

ВЛИЯНИЕ БАЛАНС-ТРЕНИРОВКИ НА РЕГУЛЯЦИЮ ПОСТУРАЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ ФИЗИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДЕВУШЕК

© 2023 г. А. А. Мельников¹, *, П. А. Смирнова², А. М. Федоров³, М. В. Малахов⁴

¹ФГБОУ ВО “Российский университет спорта “ГЦОЛИФК”, 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 15.01.2023 г.

После доработки 19.03.2023 г.

Принята к публикации 07.04.2023 г.

Целью работы было изучить влияние баланс-тренировки на регуляцию равновесия моноопорной позы молодых физически активных девушек (17–21 год). 13 девушек в течение 10 нед. (3 раза в неделю) тренировали способность сохранять равновесие позы на неустойчивых (баланс-тренажерах) и ограниченных по площади опорах, и 13 девушек составили “Контроль”. Устойчивость моноопорной позы анализировали по скорости и площади колебаний общего центра давления (ОЦД) в статических (в стойке на неподвижной стабилотренировке с открытыми (ОГ) и закрытыми (ЗГ) глазами) и полудинамических условиях (в стойке на низком с ОГ и ЗГ и высоком пресс-папье с ЗГ). Силовые способности мышц ног и растяжимость мышц голени регистрировали с помощью функциональных тестов. Проприоцептивную чувствительность определяли как ошибку воспроизведения наклона прямым телом в голеностопном суставе. По сравнению с группой “Контроль” у тренированных девушек установлено более существенное увеличение силовой выносливости сгибателей и разгибателей бедра, точность воспроизведения наклона вертикальным телом, а также устойчивости моноопорной позы в статических и полудинамических положениях только с ЗГ. Размер эффекта баланс-тренировки был наибольшим в повышении постуральной устойчивости на пресс-папье с ЗГ. Предположительными механизмами совершенствования постуральной устойчивости является увеличение силовых способностей мышц ног и специфической проприоцептивной чувствительности постуральной системы.

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

DOI: 10.31857/S0131164623700340, **EDN:** XGX CSP

Баланс-тренировка — это методика физической тренировки, направленная на развитие способности сохранять равновесие (т.е. баланс) вертикального тела [1]. В литературных источниках можно встретить и другие названия этой тренировки, например, “сенсомоторная”, “нейромышечная” или “проприоцептивная” [2, 3]. Баланс-тренировка включает упражнения как на устойчивой твердой, так и неустойчивой (т.е. подвижной) или податливой (на поролоновой) опорах с или без дестабилизирующих воздействий на человека с целью увеличения трудности условий сохранения постурального баланса для стимуляции его развития [1, 2, 4].

Применение упражнений на развитие постурального баланса показывает эффективность в

снижении риска падений у пожилых людей [5]; предотвращении спортивных травм связочного аппарата коленного [6] и голеностопного суставов [7] и ускорения их восстановления после повреждений. Баланс-тренировка эффективна в улучшении физических способностей и спортивных результатов у спортсменов разных специализаций. Так, установлено, что баланс-тренировка была эффективна в совершенствовании скорости челночного бега [8], результативности специальных спортивных навыков (бросков в корзину, передачи и дриблинга мяча) у юных баскетболистов [9], увеличении высоты прыжка, мышечной силы, а также скорости развития силы мышц нижних конечностей [10, 11]. Наконец, баланс-тренировка оказалась эффективной в развитии стати-

ческого и динамического постурального баланса [1, 2, 5, 11].

Несмотря на значительное количество работ, исследующих влияния баланс-тренировки, физиологические механизмы ответственные за эти и другие позитивные эффекты остаются полностью не изученными. Кроме того, учитывая специфичность тренировочных воздействий на регуляцию позы [12], остается не ясным, какова величина эффекта баланс-тренировки на статическое и динамическое равновесие позы. Повышение устойчивости вертикальной позы по данным работы [10, 11], может быть, связано с повышением скорости развития силы постуральных мышц, что сокращает время постуральных коррекций для обеспечения баланса. С другой стороны, регуляция вертикальной позы включает механизмы на основе обратной связи, в которых проприоцепция вносит ведущий сенсорный вклад [13]. Разными авторами предложено, что позитивные эффекты баланс-тренировки обусловлены совершенствованием проприоцептивной чувствительности постуральных мышц, однако данный механизм полностью не исследован [3]. Таким образом, целью настоящей работы было оценить эффект 10-недельной баланс-тренировки на статическую и полудинамическую устойчивость вертикальной позы. Можно предположить, что баланс-тренировка увеличит в большей мере полудинамическую устойчивость и важным механизмом будет повышение проприоцептивной чувствительности.

МЕТОДИКА

К исследованию на добровольной основе были привлечены здоровые физически активные девушки-студентки ($n = 26$, 19.8 ± 1.1 лет). 13 девушек вошли в группу “Контроль” (вес — 63 ± 15 кг; рост — 163 ± 7 см) и 13 чел. с такими же антропометрическими данными (вес — 63 ± 11 кг; рост — 165 ± 6 см) составили экспериментальную группу “Баланс”.

Организация исследования. Определение всех показателей выполняли до и после 10-недельной программы баланс-тренировки. Группа “Контроль” два раза в неделю занималась физическими упражнениями по программе дисциплины “Физическая культура”. Группа “Баланс” тренировалась по программе постепенно-возрастающей тренировки способности сохранять устойчивость позы на неустойчивых и ограниченных по площади опорах (3 раза в неделю по 50–60 мин). Занятия включали статодинамические упражнения на гимнастической скамье, балансирующих досках, подушках и пресс-папье разной кривизны. Каждое занятие включало: 1) общие разминочные беговые и прыжковые упражнения, общеразвивающие упражнения на суставы ног и туловища (12–15 мин); стойки и ходьба с заданием

по гимнастической скамейке (10 мин); упражнения на баланс-подушке в стойке на двух и одной ноге (10 мин); упражнения в стойке на двух ногах на доске, лежащей на ролике (10 мин); упражнения в стойке на двух и одной ноге на пресс-папье разной высоты (12–15 мин). Упражнения выполняли повторным методом. Интервал отдыха между подходами к баланс-снаряду варьировался от 15 с до 2 мин. На каждом снаряде испытуемые выполняли от 3 до 6 попыток (3–5 мин).

Статическую устойчивость моноопорной позы определяли в стойке на неведущей ноге на твердой и неподвижной стабиллоплатформе “Стабилан — 01” (ЗАО ОКБ “Ритм”, Россия): а) с открытыми (ОГ, 30 с) и б) закрытыми (ЗГ, 30 с) глазами. Вторая нога была согнута в коленном суставе (около 100 град), руки были скрещены и прижаты к груди. В положении ОГ испытуемые смотрели на круг на расстоянии 2 м от платформы.

Полудинамическую устойчивость моноопорной позы (положение испытуемого такое же, как и в тесте на статическую устойчивость) определяли в двух тестах на подвижном в сагиттальной плоскости пресс-папье разной высоты, размещенном на стабиллоплатформе: 1) низком ($r = 60$ см, $h = 10$ см) в стойке с ОГ (30 с) и ЗГ (30 с) и 2) высоком ($r = 60$ см, $h = 30$ см) пресс-папье в стойке с ЗГ (до падения). На низком пресс-папье регистрировали колебания общего центра давления (ОЦД). На высоком пресс-папье определяли средние значения показателей колебаний ОЦД за три попытки, а также среднее время сохранения равновесия до потери равновесия.

Для анализа постуральной устойчивости использовали: ЛСС (мм/с) — линейную среднюю скорость колебаний ОЦД; ЛССф/с — ЛСС во фронтальной/сагиттальной плоскостях; S (мм²) — 95% площадь колебаний ОЦД; SD ф/с (мм) — среднее квадратическое отклонение колебаний ОЦД (амплитуда колебаний) во фронтальной/сагиттальной плоскости.

Специфическую (или постуральную) проприоцептивную чувствительность определяли как способность к активному воспроизведению угла наклона прямым телом в голеностопном суставе (ГСС) в биопорном положении. Тест включал этапы: 1) 10 с вертикальная 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 согнутого 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 5 с с возвращением в исходное вертикальное положение.

Воспроизведение наклона прямым телом выполняли трижды. Для оценки специфической проприоцептивной чувствительности определяли абсолютную среднюю (за три попытки) ошибку (в мм) воспроизведения отклонения ОЦД от целевого уровня. Эффективность данной методики была апробирована ранее в работе [14].

Силовые способности определяли с помощью функциональных тестов: 1) прыжок в длину с места (см); 2) сгибание в положении сидя (максимальное число повторений с отягощением 30 кг) и разгибания в положении лежа на животе (максимальное число повторений с отягощением 40 кг) обеих ног в коленном суставе на силовых тренажерах. *Пассивную растяжимость мышц* задней поверхности голени тестировали с помощью определения амплитуды дорсального сгибания стопы — *DROM-теста (Dorsiflexion range of motion test)*. В тесте испытуемый, стоя и касаясь коленом и носком стопы стены, выполнял выпад назад второй ногой, сгибал опорную ногу в коленном и голеностопном суставах без отрыва колена от стены, плавно отодвигая носок стопы от стены. Измеряется расстояние от стены до носка стопы согнутой ноги [15].

Статистика. По данным критерия *Shapiro-Wilk* значительная часть стабилеографических показателей имела ненормальное распределение, поэтому они представлены как медиана (*Me*) и межквартильный размах [25–75%]. Сравнение показателей между группами выполняли с помощью критерия *Mann-Whitney*. Значимость изменений показателей после экспериментального периода в группах определяли с помощью парного критерия *Wilcoxon*. Для всех показателей определяли величину изменения за экспериментальный период относительно исходного уровня (Δ , %). Двухфакторный анализ для повторных измерений (*ANOVA*) использовали для определения различий в динамике функциональных показателей за период эксперимента между группами “Контроль” и “Баланс”. Корреляционный анализ проводили с изменениями показателей за экспериментальный период (Δ) с помощью ранговой корреляции *Spearman* (r). Размер эффекта баланс-тренировки на *S*, *SDф*, *SDс*, *ЛСС*, *ЛССс* и *ЛССф* для стойки на стабилеплатформе с ОГ, с ЗГ, стойка на низком пресс-папье с ОГ, с ЗГ определяли с помощью стандартизированной разницы Коэна (*D*). Величину *D* рассчитывали по формуле: $D = (\Delta(\text{Баланс}) - \Delta(\text{Контроль})) / SD_0$; где $\Delta(\text{Баланс})$ — изменение показателя за экспериментальный период в группе “Баланс”, $\Delta(\text{Контроль})$ — изменение показателя за экспериментальный период в группе “Контроль”, SD_0 — общее стандартное отклонение [16]. Для каждого постратурального условия определяли среднее *D*. Для высокого пресс-папье с ЗГ *D* рассчитывали для времени сохране-

ния равновесия и ЛСС. Расчеты выполняли в программе *Statistica v12*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Силовые способности и подвижность голеностопного сустава. После баланс-тренировки в группе “Баланс” не изменились растяжимость мышц задней поверхности голени (рис. 1, А) и расстояние в прыжке в длину с места (рис. 1, Б). Однако силовая выносливость сгибателей (рис. 1, В, $p < 0.01$) и разгибателей бедра (рис. 1, Г, $p < 0.01$) существенно увеличилась. Причем прирост силовой выносливости сгибателей ($p < 0.05$) и разгибателей ($p < 0.01$) в группе “Баланс” был выше, чем в группе “Контроль”.

Специфическая проприоцептивная чувствительность. После баланс-тренировки в группе “Баланс” на 32.2% ($p = 0.028$) уменьшилась ошибка воспроизведения наклона вертикальным телом с ЗГ и стала практически меньше на уровне $p < 0.1$, чем в группе “Контроль” (рис. 2, А). Однако точность воспроизведения вертикальной позы после возвращения из наклона существенно не изменялась (рис. 2, Б). Между увеличением силовой выносливости разгибателей и снижением ошибки наклона установлена корреляция ($r = -0.46$; $p < 0.05$).

Статическая устойчивость позы после баланс-тренировки. После 10-недельного периода никаких изменений стабилеографических показателей в стойке с ОГ и ЗГ в группе “Контроль” не произошло (табл. 1). В группе “Баланс” в стойке с ОГ на стабилеплатформе многие позитивные изменения: снижение *S*-ОГ (–23.2%; $p < 0.05$), *SDy*-ОГ (–18.1, $p < 0.1$), *ЛСС*-ОГ (–18.1; $p < 0.1$) и *ЛССф*-ОГ (–6.6%; $p < 0.1$) — не отличались от изменений в группе “Контроль”, указывая на отсутствие существенных изменений статического равновесия при наличии зрительной информации.

Напротив, устойчивость позы на стабилеплатформе в условиях ЗГ в группе “Баланс” была существенно повышена: уровни *S*-ЗГ (–21.4%; $p < 0.01$, табл. 1), *SDx*-ЗГ (–9.6%; $p < 0.05$) снизились в группе по отношению к уровню до тренировки, а степень снижения существенно ($p < 0.05$) отличалась от изменений этих показателей в группе “Контроль”. Кроме того, снижение *SDy* (–12.6%; $p < 0.01$), *ЛСС* (–33.5%; $p < 0.05$), *ЛССс* (–16.8%; $p < 0.05$) в группе “Баланс” было больше, чем в группе “Контроль”, но на уровне тенденции ($p < 0.1$).

Корреляционный анализ выявил, что изменение силовой выносливости сгибателей коррелировало с изменением *SDф*-ЗГ ($r = -0.50$; $p < 0.01$) и *S*-ЗГ ($r = -0.51$; $p < 0.01$), указывая на некоторый вклад прироста силовых показателей в снижении

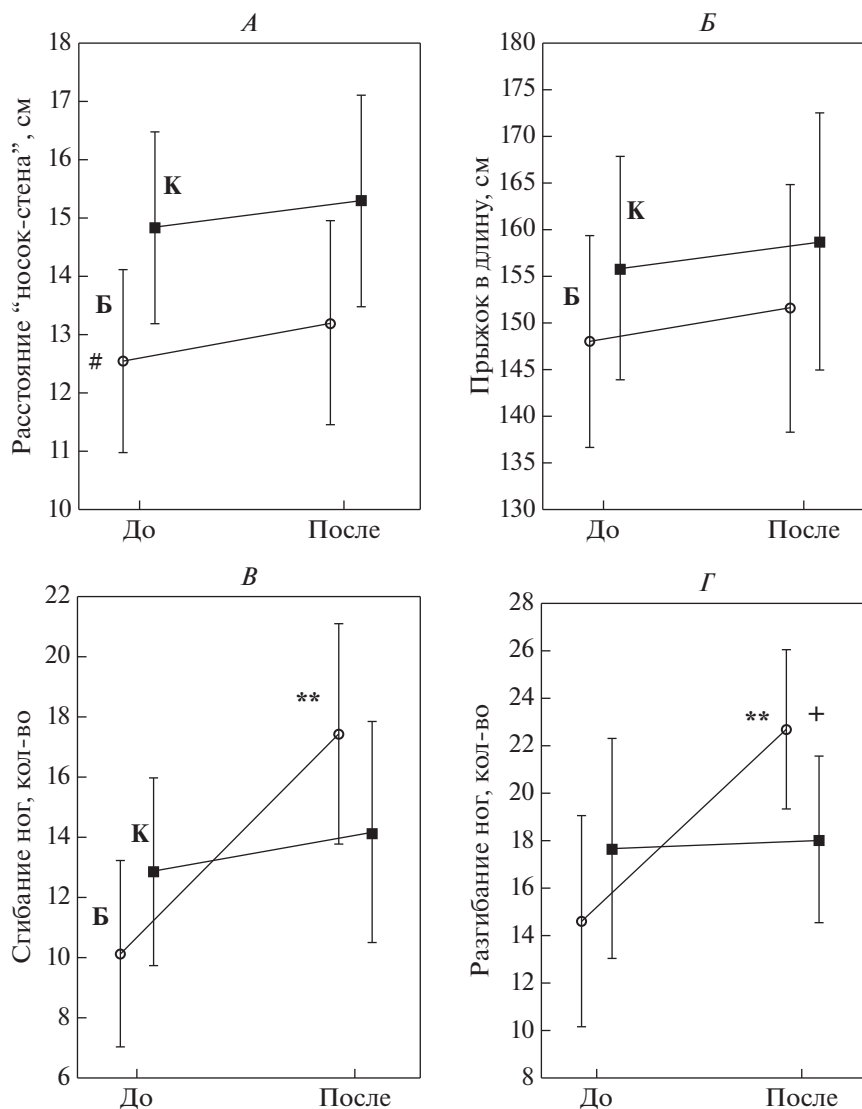


Рис. 1. Силовые способности и подвижность голеностопного сустава в группах до и после баланс-тренировки.

А – расстояние от носка стопы до стены в *DROM*-тесте. Б – расстояние в тесте "Прыжок в длину с места". В – количество сгибаний ног в коленном суставе с сопротивлением 30 кг. Г – количество разгибаний ног в коленном суставе с сопротивлением 40 кг. (Средняя арифметическая $\pm 95\%$ Доверительный интервал). Б – группа "Баланс"; К – группа "Контроль"; ** – $p < 0.01$ по сравнению с уровнем До; +/# – $p < 0.05/0.1$ между группами "Баланс" и "Контроль".

амплитуды колебаний ОЦД в стойке на неподвижной стабилоплатформе с ЗГ.

Полудинамическая устойчивость моноопорной позы на низком пресс-папье после баланс-тренировки. В результате баланс-тренировки у тренирующихся девушек в стойке на низкой пресс-папье с ОГ снизились: *S*-ПП-ОГ (–47.2%; $p < 0.01$, табл. 2), *SDx*-ПП-ОГ (–4.5%; $p < 0.05$), *SDy*-ПП-ОГ (–21.7%; $p < 0.01$). Однако выявленные изменения колебаний ОЦД не отличались от динамики этих показателей в группе "Контроль". Таким образом, баланс-тренировка существенно не влияла на полудинамическую устойчивость позы на пресс-папье в условиях ОГ.

После тренировки в стойке на пресс-папье с ЗГ в группе "Баланс" существенно снизились уровни: *S*-ПП-ЗГ (–30.4%; $p < 0.05$, табл. 2), *SDx*-ПП-ЗГ (–17.0%; $p < 0.05$), ЛСС-ПП-ЗГ (–22.4%; $p < 0.05$), ЛССф-ПП-ЗГ (–24.4%; $p < 0.05$), ЛССс-ПП-ЗГ (–22.9%; $p < 0.05$). Причем все эти изменения существенно отличались от динамики данных показателей в группе "Контроль". Корреляционный анализ выявил взаимосвязь между снижением *S*-ПП-ЗГ с повышением точности воспроизведения наклона вертикальным телом ($r = 0.40$; $p = 0.05$).

Полудинамическая устойчивость моноопорной позы на высоком пресс-папье. После баланс-трени-

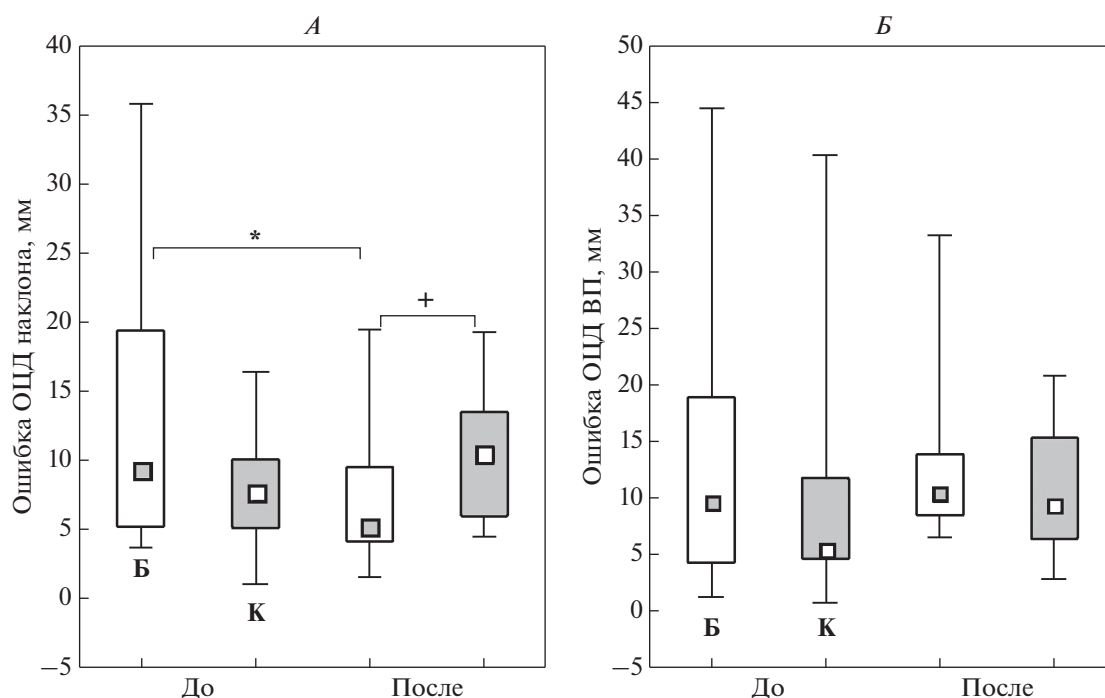


Рис. 2. Специфическая проприоцептивная чувствительность в группах до и после баланс-тренировки.

А — ошибка (мм) воспроизведения положения общего центра давления (ОЦД) в наклоне. Б — ошибка (мм) воспроизведения положения ОЦД вертикальной позы после наклона. Б — группа “Баланс”, К — группа “Контроль” ($Me \pm [25-75\%] \pm (Min-Max)$). * — $p < 0.05$ по сравнению с уровнем До; + — $p < 0.1$ между группами “Баланс” и “Контроль”; ВП — вертикальная поза.

ровки время сохранения равновесия на высоком пресс-папье в группе “Баланс” увеличилось на 266% (или на 32.4 с $p < 0.01$) по сравнению с уровнем до нагрузки и стало существенно больше, чем в группе “Контроль” ($p = 0.001$, рис. 3, А). Амплитуды колебаний ОЦД (SDc -ППВ-ЗГ и $SDф$ -ППВ-ЗГ, рис. 3, Б, В) за период тренировки не изменилась, однако скорость ЛСС-ППВ-ЗГ снизилась на 13.9% ($p < 0.05$, рис. 3, Г) и стала меньше, чем в группе “Контроль” ($p < 0.01$).

Повышение проприоцептивной чувствительности, т.е. снижение ошибки воспроизведения угла наклона, коррелировало с уменьшением ЛСС в стойке на высоком пресс-папье с ЗГ ($r = 0.45$; $p < 0.05$).

Величина эффекта баланс-тренировки на статическое и полудинамическое равновесие. Стандартизированная разница Коэна (D) в стойке на пресс-папье с ЗГ составила: для SDc -ПП-ЗГ $D = 0.43$, для $SDф$ -ПП-ЗГ $D = 0.82$, для ЛСС-ПП-ЗГ $D = 1.02$, для ЛССс-ПП-ЗГ $D = 0.81$, для ЛССф-ПП-ЗГ $D = 0.83$ и для S-ПП-ЗГ $D = 0.85$ (среднее значение $D = -0.79 \pm 0.20$); в стойке на пресс-папье с ОГ для SDc -ПП-ОГ $D = 0.51$, для $SDф$ -ПП-ОГ $D = 0.56$, для ЛСС-ПП-ЗГ $D = 0.30$, для ЛССс-ПП-ОГ $D = 0.20$, для ЛССф-ПП-ОГ $D = 0.40$ и для S-ПП-ОГ $D = 0.51$ (среднее значение $D = -0.40 \pm 0.16$; $p < 0.01$ по сравнению с D на пресс-папье с

ЗГ). В стойке на стабиллоплатформе с ОГ для SDc $D = -0.43$, для $SDф$ $D = -0.34$, для ЛСС $D = -0.34$, для ЛССс $D = -0.16$, для ЛССф $D = -0.41$ и для S $D = -0.34$ (среднее значение $D = -0.36 \pm 0.11$, $p < 0.001$ по сравнению с D на пресс-папье с ЗГ); в стойке на стабиллоплатформе с ЗГ для SDc -ЗГ $D = -0.54$, для $SDф$ -ЗГ $D = -0.48$, для ЛСС-ЗГ $D = -0.67$, для ЛССс-ЗГ $D = -0.30$, для ЛССф-ЗГ $D = -0.81$ и для S-ЗГ $D = -0.44$ (среднее значение $D = -0.54 \pm 0.18$; $p < 0.05$ по сравнению с D на пресс-папье с ЗГ). В тесте на высоком пресс-папье с ЗГ для ЛСС-ППВ-ЗГ $D = 0.80$, а для времени равновесия $D = 1.43$. В целом, величина эффекта баланс-тренировки увеличивалась в порядке: статическое равновесие с ОГ $\leq$ полудинамическое равновесие с ОГ $\leq$ статическое равновесие с ЗГ $<$ полудинамическое равновесие с ЗГ.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенное исследование позволяет выделить главные результаты: 1) баланс-тренировка эффективно увеличивает статическое и полудинамическое равновесие моноопорной позы у физических активных девушек; 2) эффект баланс-тренировки был наибольшим в совершенствовании полудинамического равновесия в условиях отсутствия зрительной информации; 3) важными

Таблица 1. Стабилографические показатели устойчивости моноопорной позы на стабильной платформе до и после баланс-тренировки ($Me [25-75\%]$)

Показатели	Контроль ($n = 13$)	Баланс ($n = 13$)	p
Стабильная платформа, ОГ			
S -ОГ, мм ² (до)	317 [260–393]	429 [301–545]	0.265
S -ОГ, мм ² (после)	286 [218–476]	310* [250–428]	0.496
ΔS -ОГ, %	–6.5 [–29.0–37.2]	–23.2 [–41.6–16.4]	0.289
$SD\phi$ -ОГ, мм (до)	4.1 [3.6–4.3]	4.5 [3.7–5.5]	0.514
$SD\phi$ -ОГ, мм (после)	3.7 [3.2–5.3]	4.0 [3.8–4.3]	0.978
$\Delta SD\phi$ -ОГ, %	2.0 [–23.0–41.2]	–12.1 [–23.5–1.9]	0.369
SDc -ОГ, мм (до)	5.9 [4.5–6.6]	5.8 [5.0–9.2]	0.314
SDc -ОГ, мм (после)	5.2 [4.1–6.4]	5.4 ⁺ [4.9–6.8]	0.242
ΔSDc -ОГ, %	–13.9 [–29.5–34.0]	–18.1 [–28.5–8.6]	0.724
ЛСС-ОГ, мм/с (до)	30.7 [27.9–37.1]	25.0 [21.8–31.7]	0.149
ЛСС-ОГ, мм/с (после)	29.9 [25.4–34.3]	21.7 ⁺ [21.4–29.4]	0.047
Δ ЛСС-ОГ, %	–4.5 [–24.5–24.3]	–18.1 [–25.5–0.3]	0.496
ЛССф-ОГ, мм/с (до)	20.6 [17.4–23.5]	16.9 [15.4–21.5]	0.149
ЛССф-ОГ, мм/с (после)	21.2 [16.6–25.6]	15.2 ⁺ [13.7–18.8]	0.032
Δ ЛССф-ОГ, %	–2.3 [–23.4–33.3]	–6.6 [–30.2–4.1]	0.568
ЛССс-ОГ, мм/с (до)	19.0 [16.9–23.1]	15.2 [13.0–19.3]	0.142
ЛССс-ОГ, мм/с (после)	17.2 [15.8–19.2]	13.5 ⁺ [11.9–16.3]	0.061
Δ ЛССс-ОГ, %	–3.5 [–19.9–5.6]	–13.8 [–32.6–3.3]	0.497

Таблица 1. Окончание

Показатели	Контроль ($n = 13$)	Баланс ($n = 13$)	p
Стабилоплатформа, 3Г			
S -3Г, мм ² (до)	2195 [1657–2687]	1838 [1595–2347]	0.568
S -3Г, мм ² (после)	2212 [1767–2828]	1492** [1262–1629]	0.006
ΔS -3Г, %	–2.2 [–19.5–21.5]	–21.4 [–37.8–16.4]	0.028
$SD\phi$ -3Г, мм (до)	11.1 [9.5–12.3]	10.6 [9.9–12.1]	0.849
$SD\phi$ -3Г, мм (после)	11.3 [10.1–12.8]	10.2* [9.1–10.5]	0.036
$\Delta SD\phi$ -3Г, %	0.2 [–8.4–12.7]	–9.6 [–16.6–6.5]	0.041
SDc -3Г, мм (до)	13.7 [11.8–14.9]	12.0 [11.2–13.0]	0.221
SDc -3Г, мм (после)	13.2 [12.1–15.7]	10.4** [9.2–11.3]	0.004
ΔSDc -3Г, %	–6.6 [–15.8–15.4]	–12.6 [–22.3–8.7]	0.068
ЛСС-3Г, мм/с (до)	97.1 [73.5–118.1]	79.22 [71.7–91.6]	0.265
ЛСС-3Г, мм/с (после)	87.8 [72.8–109.3]	60.9* [50.4–71.7]	0.003
Δ ЛСС-3Г, %	0.9 [–10.4–5.5]	–33.5 [–43.3–4.7]	0.097
ЛССф-3Г, мм/с (до)	59.1 [44.9–69.2]	52.3 [47.1–55.5]	0.135
ЛССф-3Г, мм/с (после)	58.9 [44.3–69.4]	42.7* [35.2–48.2]	0.017
Δ ЛССф-3Г, %	1.3 [–13.3–10.4]	–13.4 [–31.4–0.6]	0.068
ЛССс-3Г, мм/с (до)	64.2 [48.8–79.8]	48.2 [44.1–56.2]	0.082
ЛССс-3Г, мм/с (после)	55.5 [43.4–71.3]	35.4* [30.8–44.4]	0.002
Δ ЛССс-3Г, %	–1.0 [–11.7–2.8]	–16.8 [–45.6–0.4]	0.265

Примечание: S – 95% площадь колебаний ОЦД; $SD\phi$ – среднее квадратическое отклонение колебаний общего центра давления (ОЦД) во фронтальной/сагиттальной плоскости; ЛССс/ф – линейная средняя скорость колебаний ОЦД в сагиттальной/фронтальной плоскости; Δ – изменение за период тренировки; ОГ – открытые глаза; 3Г – закрытые глаза ⁺/*/** – $p < 0.1/0.05/0.01$ по сравнению с исходным периодом; p – значимость различий между группами.

Таблица 2. Стабилографические показатели устойчивости моноопорной позы на низком пресс-папье (ПП) до и после баланс-тренировки (*Me* [25–75%])

Показатели	Контроль (<i>n</i> = 13)	Баланс (<i>n</i> = 13)	<i>p</i>
Низкое пресс-папье, ОГ			
<i>S</i> -ПП-ОГ, мм ² (до)	300 [398–554]	309 [466–625]	0.341
<i>S</i> -ПП-ОГ, мм ² (после)	280* [345–402]	237** [327–362]	0.430
ΔS -ПП-ОГ, %	–30.6 [–19.8–18.4]	–47.2 [–29.9–22.4]	0.109
<i>SD</i> ф-ПП-ОГ, мм (до)	4.2 [3.8–4.8]	4.8 [4.3–5.1]	0.097
<i>SD</i> ф-ПП-ОГ, мм (после)	4.3 [3.9–4.8]	4.4* [3.7–4.8]	0.978
ΔSD ф-ПП-ОГ, %	3.3 [–7.3–17.2]	–4.5 [–16.3–1.0]	0.077
<i>SD</i> с-ПП-ОГ, мм (до)	7.1 [5.2–8.2]	7.2 [5.8–8.5]	0.624
<i>SD</i> с-ПП-ОГ, мм (после)	5.4* [4.5–6.2]	4.9** [4.5–5.6]	0.430
ΔSD с-ПП-ОГ, %	–22.9 [–30.3–6.1]	–21.7 [–36.0–16.7]	0.369
ЛСС-ПП-ОГ, мм/с (до)	28.6 [32.8–42.1]	27.0 [30.2–33.0]	0.201
ЛСС-ПП-ОГ, мм/с (после)	30.2 [34.9–41.9]	23.1 [25.7–35.2]	0.036
Δ ЛСС-ПП-ОГ, %	–15.0 [–1.2–10.3]	–24.7 [–15.8–14.2]	0.201
ЛССф-ПП-ОГ, мм/с (до)	21.5 [16.7–28.8]	18.8 [17.4–21.0]	0.463
ЛССф-ПП-ОГ, мм/с (после)	21.4 [19.5–28.6]	15.9 [14.8–23.3]	0.115
Δ ЛССф-ПП-ОГ, %	–8.0 [–14.0–12.4]	–10.1 [–24.7–1.9]	0.265
ЛССс-ПП-ОГ, мм/с (до)	21.0 [18.7–26.7]	17.9 [16.7–21.6]	0.087
ЛССс-ПП-ОГ, мм/с (после)	21.7 [19.2–23.9]	15.2 [13.5–21.4]	0.011
Δ ЛССс-ПП-ОГ, %	0.0 [–17.2–12.2]	–14.5 [–24.0–3.4]	0.341

Таблица 2. Окончание

Показатели	Контроль ($n = 13$)	Баланс ($n = 13$)	p
Низкое пресс-папье, 3Г			
S -ПП-3Г, мм ² (до)	3373 [2072–3879]	4891 [2542–5510]	0.149
S -ПП-3Г, мм ² (после)	2946 [2362–4666]	2478.5* [2328–3377]	0.314
ΔS -ПП-3Г, %	5.8 [–31.5–33.1]	–30.4 [–49.9–8.4]	0.047
$SD\phi$ -ПП-3Г, мм (до)	10.3 [9.4–11.1]	11.7 [10.3–13.0]	0.077
$SD\phi$ -ПП-3Г, мм (после)	10.7 [10.0–12.7]	9.2* [8.9–12.2]	0.115
$\Delta SD\phi$ -ПП-3Г, %	10.1 [–5.7–15.4]	–17.0 [–19.1–6.7]	0.007
SDc -ПП-3Г, мм (до)	22.1 [15.8–26.1]	22.0 [16.8–28.0]	0.683
SDc -ПП-3Г, мм (после)	20.3 [16.9–25.8]	19.1+ [18.0–20.2]	0.463
ΔSDc -ПП-3Г, %	2.2 [–23.8–18.6]	–14.0 [–27.2–0.4]	0.463
ЛСС-ПП-3Г, мм/с (до)	111.0 [90.9–125.3]	112.3 [86.3–135.0]	0.764
ЛСС-ПП-3Г, мм/с (после)	110.4 [92.7–144.7]	74.4* [64.8–100.0]	0.006
Δ ЛСС-ПП-ОГ, %	5.5 [–4.4–20.7]	–22.4 [–48.8–10.5]	0.011
ЛСС ϕ -ПП-3Г, мм/с (до)	68.1 [55.5–85.1]	61.6 [57.5–75.4]	0.497
ЛСС ϕ -ПП-3Г, мм/с (после)	71.0 [59.1–88.3]	45.5* [42.4–64.7]	0.017
Δ ЛСС ϕ -ПП-3Г, %	1.6 [–7.7–11.7]	–24.6 [–34.8–15.9]	0.013
ЛССс-ПП-3Г, мм/с (до)	73.6 [54.2–81.5]	65.8 [51.5–73.5]	0.532
ЛССс-ПП-3Г, мм/с (после)	69.8 [60.9–92.8]	49.3* [44.8–63.7]	0.010
Δ ЛССс-ПП-3Г, %	11.1 [–10.2–35.5]	–22.9 [–29.9–3.5]	0.018

Примечание: обозначения см. в табл. 1.

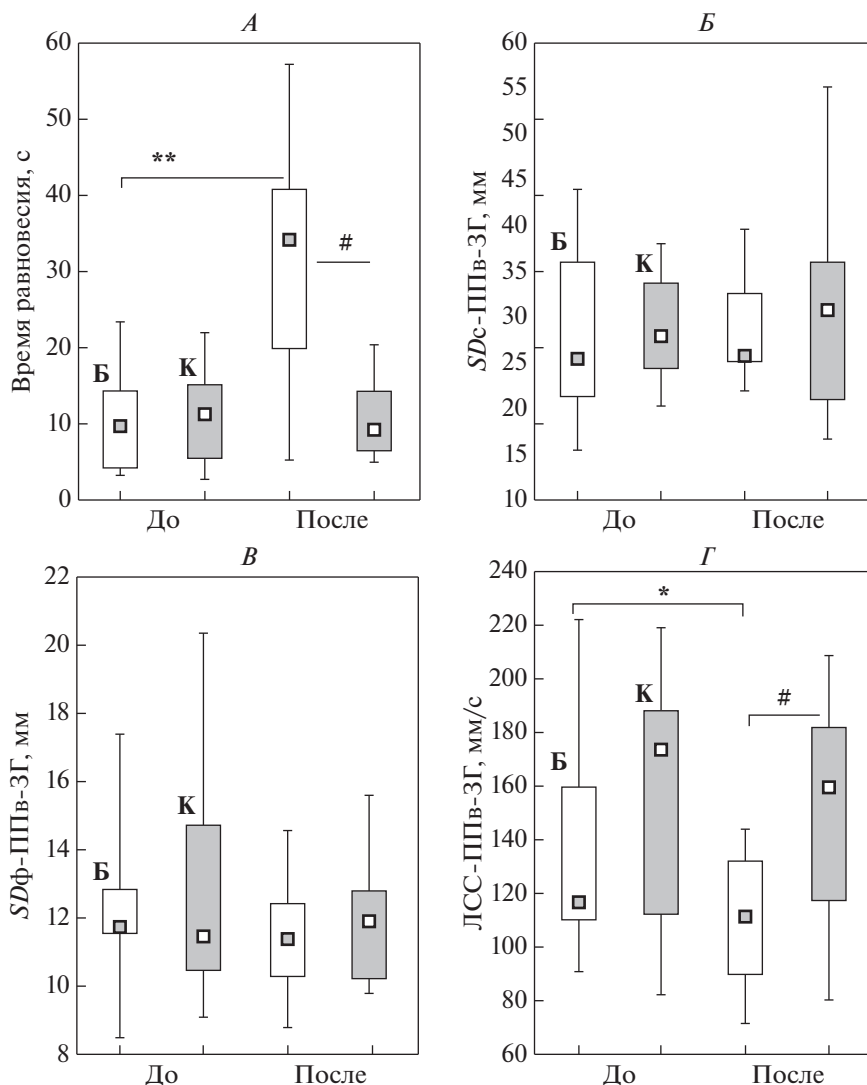


Рис. 3. Показатели полудинамической устойчивости на высоком пресс-папье с закрытыми глазами (ЗГ) до и после баланс-тренировки в группах.

А – время равновесия на высоком пресс-папье. *Б* – среднее квадратическое отклонение колебаний общего центра давления (ОЦД) в сагиттальной плоскости в стойке на высоком пресс-папье с ЗГ (*SDc-ППВ-ЗГ*). *В* – среднее квадратическое отклонение колебаний ОЦД во фронтальной плоскости в стойке на высоком пресс-папье с ЗГ (*SDф-ППВ-ЗГ*). *Г* – средняя линейная скорость колебаний ОЦД в стойке на высоком пресс-папье с ЗГ (*ЛСС-ППВ-ЗГ*). ($Me \pm [25-75\%] \pm (Min-Max)$). Б – группа “Баланс”, К – группа “Контроль”. */** – $p < 0.05/0.01$ по сравнению с группой “Контроль” после тренировки. */# – $p < 0.05/0.01$ по сравнению с группой “Контроль” до тренировки.

механизмами совершенствования регуляции вертикальной позы является повышение специальной проприоцептивной чувствительности и силовых способностей постуральных мышц.

Эффект 10-недельной баланс-тренировки оказался несущественным в отношении стадиографических показателей в обычной стойке на неподвижной стадиолатформе в условиях ОГ: все позитивные изменения в группе “Баланс” не отличались от динамики показателей в группе “Контроль”. Напротив, в стойке с ЗГ после баланс-тренировки произошло снижение амплитуды колебаний ОЦД, указывая на рост статиче-

ской устойчивости в условиях без зрительной информации. Эти данные противоречат результатам одних исследований [1, 4, 10], обнаруживших позитивный эффект на статическое равновесие моноопорной позы, но согласуются с данными других работ, которые также показали, что различные тренировочные программы [12, 14], в том числе баланс-тренировка [17, 18], оказывают несущественное и/или небольшое влияние на статическую устойчивость физически активных испытуемых в привычных позах с ОГ. По-видимому, регуляция привычных поз, в том числе одноопорной, с наличием зрительного контроля у физиче-

ски активных лиц уже достаточно эффективна и влияние дополнительных тренировок небольшое. Поэтому для выявления существенного прироста равновесия требуется увеличение выборки испытуемых, либо необходимы высокоспецифичные тренировочные воздействия [12, 19].

Напротив, регуляция статической позы в стойке с ЗГ после баланс-тренировки существенно улучшилась: на 21.4% снизилась площадь и на 9.6% амплитуда колебаний ОЦД по фронтальной плоскости, положительно изменились и другие стабิโลграфические показатели (SDc , $ЛССф$, $ЛССс$), хотя менее значимо ($p < 0.1$) по сравнению с группой “Контроль”. Существенное улучшение постурального равновесия в стойке с ЗГ после баланс-тренировки указывает на развитие сенсомоторных механизмов регуляции позы на основе проприорецепции и/или вестибулорецепции.

Наиболее выраженное совершенствование регуляции позы в результате баланс-тренировки произошло в стойке на подвижном в сагиттальной плоскости пресс-папье и также в условиях отсутствия зрительной информации. Площадь и амплитуда колебаний ОЦД во фронтальной плоскости, а также линейные скорости колебаний ОЦД снизились по сравнению с исходным уровнем до тренировки, и все изменения существенно отличались от динамики этих показателей в группе “Контроль”. Сравнение стандартизированных разностей (D), характеризующих размер эффекта баланс-тренировки на стабิโลграфические показатели равновесия, показало, что наибольший эффект баланс-тренировка оказывала на полудинамическую регуляцию позы в стойке на пресс-папье с ЗГ. Более того, величина D для времени баланса на высоком пресс-папье составила 1.43 и была наибольшей. Максимальный прирост устойчивости в стойке на подвижном пресс-папье отражает специфический эффект используемой баланс-тренировки, что согласуется со многими литературными данными [12, 19].

Механизмы увеличения устойчивости позы под влиянием баланс-тренировки. По мнению ряда авторов, совершенствование регуляции вертикальной позы под влиянием баланс-тренировки может быть связано с развитием проприоцептивной чувствительности постуральных мышц нижних конечностей [3, 11, 18], которая эффективно обрабатывается в центральной нервной системе (ЦНС), обеспечивая своевременные постуральные коррекции [11, 20]. Однако прямых доказательств взаимосвязанного улучшения проприоцепции и регуляции позы после баланс-тренировки не много. Частично это связано с тестированием неспецифической для равновесия проприоцепции отдельных суставов нижних конечностей в непостуральных тестах [18, 21]. Можно полагать, что эти неспецифические проприоцептивные спо-

собности не используются постуральной системой для регуляции равновесия, а значит, связь между этими способностями будет отсутствовать. Так, в эксперименте [18] показано повышение проприоцептивной чувствительности ГСС после баланс-тренировки, но без улучшения регуляции моноопорной позы. В работе [21], напротив, установлено, что баланс-тренировка снижала скорость колебаний моноопорной позы с ОГ и ЗГ и повышала силовые способности мышц стопы, но не изменяла порог чувствительности к пассивному движению стопы.

В настоящей работе оценивали осознанную способность воспроизводить наклон вертикального тела в ГСС, которая может характеризовать специфическую для постуральной системы чувствительность. В результате баланс-тренировки ошибка воспроизведения угла наклона вертикального тела снизилась. Кроме того, повышение точности воспроизведения угла наклона коррелировало с уменьшением площади колебаний ОЦД в стойке на низком пресс-папье с ЗГ ($r = 0.40$) и снижением ЛСС в стойке на высоком пресс-папье с ЗГ ($r = 0.45$), указывая на роль проприоцептивной чувствительности в механизмах совершенствования регуляции позы. Полученные данные согласуются с работой [22], показавшей одновременное повышение устойчивости вертикальной позы и точности проприоцептивной чувствительности туловища в тесте на воспроизведение наклона на 30 град у пациентов с диабетической нейропатией. Можно полагать, что в результате баланс-тренировки совершенствуется проприоцептивная способность к произвольному и неосознанному обнаружению наклона тела, которая помогает ЦНС точнее оценивать интегральную вертикаль тела и быстрее генерировать постуральные коррекции при нарушении (либо прогнозируемом нарушении) вертикали тела.

Баланс-тренировка привела также к росту силовой выносливости мышц сгибателей и разгибателей ног, а увеличение силовых способностей сгибателей ног достоверно коррелировало с уменьшением амплитуды колебаний ОЦД ($r = -0.51$) в стойке на неподвижной стабильной платформе с ЗГ. Следовательно, прирост либо собственно силовых способностей постуральных мышц, либо факторов, связанных с их ростом, могут быть также вовлечены в процессы улучшения равновесия в результате баланс-тренировки. Важно отметить выявленную корреляционную взаимосвязь между приростом силовых способностей и проприоцептивной чувствительности. Схожие результаты были получены и другими авторами. Например, в работе [10, 11] наблюдали после баланс-тренировки рост силы и скорости развития силы, а в экспериментах в работе [20] — сокращение времени реакции постуральных мышц на неожидан-

ную инверсию стопы. По мнению авторов работы [11] увеличение скорости развития силы сгибателей стопы после баланс-тренировки, во многом, обусловлено улучшением межмышечной координации, а именно снижением коактивации антагонистов, что также может участвовать в повышении устойчивости позы. Наши результаты и литературные данные показывают, что механизмы роста эффективности регуляции вертикальной позы под влиянием баланс-тренировки включают различные адаптационные процессы на разных уровнях системы регуляции позы, полное изучение которых требует дополнительных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Баланс-тренировка молодых физически активных девушек вызвала прирост специальной проприоцептивной чувствительности, силовой выносливости сгибателей и разгибателей ног, а также статического и полудинамического равновесия в тестах с ЗГ. Размер эффекта баланс-тренировки на полудинамическую устойчивость моноопорной позы на пресс-папье был более выражен, чем на статическую устойчивость на неподвижной платформе. Важным механизмом совершенствования регуляции вертикальной позы под влиянием баланс-тренировки является повышение силовых способностей и специальной проприоцептивной чувствительности постуральной системы.

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) (Протокол № 12 от 27.12.2019).

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

Финансирование работы. Работа выполнена на инициативной основе по теме диссертационного исследования, без финансирования со стороны научных грантов.

Благодарности. Авторы выражают благодарность ректору Ярославского государственного педагогического университета им. К.Д. Ушинского Груздеву Михаилу Вадимовичу за техническую помощь в организации проведения эксперимента.

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

Вклад авторов в публикацию. А.А. Мельников — идея и общая организация исследования, написание текста статьи. П.А. Смирнова — организация исследования, набор испытуемых в группы, проведение стабиографических измерений, первичная обработка данных. А.М. Федоров — организация исследования, проведение функциональных тестов, работа с первичными данными. М.В. Малахов — организация исследования, статистическая обработка данных, подготовка текста статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Brachman A., Kamieniarz A., Michalska J. et al.* Balance Training Programs in Athletes — a Systematic Review // *J. Hum. Kinet.* 2017. V. 58. P. 45.
2. *Gebel A., Lesinski M., Behm D.G., Granacher U.* Effects and Dose-Response Relationship of Balance Training on Balance Performance in Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Sports Med.* 2018. V. 48. № 9. P. 2067.
3. *Khalid K., Anwar N., Saqulain G., Afzal M.F.* Neuromuscular Training following Anterior Cruciate Ligament reconstruction — Pain, Function, Strength, Power & Quality of Life Perspective: A Randomized Control Trial. // *Pak. J. Med. Sci.* 2022. V. 38. № 8. P. 2175.
4. *Zech A., Hübscher M., Vogt L. et al.* Balance training for neuromuscular control and performance enhancement: a systematic review // *J. Athl. Train.* 2010. V. 45. № 4. P. 392.
5. *Duque G., Boersma D., Loza-Diaz G. et al.* Effects of balance training using a virtual-reality system in older fallers // *Clin. Interv. Aging.* 2013. V. 8. P. 257.
6. *Zhou L., Gong W., Wang S. et al.* Combined balance and plyometric training enhances knee function, but not proprioception of elite male badminton players: A pilot randomized controlled study // *Front. Psychol.* 2022. V. 13. P. 947877.
7. *Rivera M.J., Winkelmann Z.K., Powden C.J., Games K.E.* Proprioceptive Training for the Prevention of Ankle Sprains: An Evidence-Based Review // *J. Athl. Train.* 2017. V. 52. № 11. P. 1065.
8. *Yaggie J.A., Campbell B.M.* Effects of balance training on selected skills // *J. Strength. Cond. Res.* 2006. V. 20. № 2. P. 422.
9. *Mahmoud M.H.* Balance exercises as the basis for developing the level of physical and skill performance in basketball young players // *World J. Sport Sci.* 2011. V. 4. № 2. P. 172.
10. *Marotta N., Moggio L., Calafiore D. et al.* Efficacy of Proprioceptive Training on Plantar Pressure and Jump Performance in Volleyball Players: A Proof-of-Principle Study // *Sensors (Basel).* 2023. V. 23. № 4. P. 1906.
11. *Behrens M., Mau-Moeller A., Wassermann F. et al.* Effect of balance training on neuromuscular function at rest and during isometric maximum voluntary contraction // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2015. V. 115. № 5. P. 1075.
12. *Giboin L.S., Gruber M., Kramer A.* Task-specificity of balance training // *Hum. Mov. Sci.* 2015. V. 44. P. 22.

13. Henry M., Baudry S. Age-related changes in leg proprioception: implications for postural control // *J. Neurophysiol.* 2019. V. 122. № 2. P. 525.
14. Мельников А.А., Смирнова П.А., Федоров А.М., Малахов М.В. Влияние силовой тренировки нижних конечностей на постуральную устойчивость физически активных девушек // *Физиология человека.* 2022. Т. 48. № 6. С. 76.
Melnikov A.A., Smirnova P.A., Fedorov A.M., Malahov M.V. The influence of lower limbs strength training on the postural stability of physically active girls // *Human Physiology.* 2022. V. 48. № 6. P. 696.
15. Hoch M.C., Staton G.S., McKeon P.O. Dorsiflexion range of motion significantly influences dynamic balance // *J. Sci. Med. Sport.* 2011. V. 14. № 1. P. 90.
16. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. N.Y.: Lawrence Earlbaum Associates, 1988. P. 568.
17. Saunders N.W., Hanson N.J., Koutakis P. et al. Figure skater level moderates balance training // *Int. J. Sports Med.* 2013. V. 34. № 4. P. 345.
18. Riemann B.L., Tray N.C., Lephart S.M. Unilateral multi-axial coordination training and ankle kinesthesia, muscle strength, and postural control // *J. Sport Rehabil.* 2003. V. 12. № 1. P. 13.
19. Kummel 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.
20. Sheth P., Yu B., Laskowski E.R., An K.-N. Ankle disk training influences reaction times of selected muscles in a simulated ankle sprain // *Am. J. Sports Med.* 1997. V. 25. № 4. P. 538.
21. Xiao S., Wang B., Zhang X. et al. Effects of 4 Weeks of High-Definition Transcranial Direct Stimulation and Foot Core Exercise on Foot Sensorimotor Function and Postural Control // *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2022. V. 10. P. 894131.
22. Song C.H., Petrofsky J.S., Lee S.W. et al. Effects of an exercise program on balance and trunk proprioception in older adults with diabetic neuropathies // *Diabetes Technol. Ther.* 2011. V. 13. № 8. P. 803.

The Influence of Balance Training on Regulation of Postural Balance in Physically Active Girls

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

^a*Russian University of Sport "GTSOLIFK", Moscow, Russia*

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

^c*Cherepovets State University, Cherepovets, Russia*

^d*Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russia*

*E-mail: meln1974@yandex.ru

The aim of the work was to study the influence of balance training on the regulation of the balance of the monosupport posture of young physically active girls (n = 26, 17–21 years old). For 10 weeks (3 times a week), 13 girls trained according to the program of training the ability to maintain balance in postures on unstable (balance-simulators) and supports limited in area, and 13 girls made up the "Control". The stability of the monosupport posture was analyzed by the speed and area of fluctuations in the common center of pressure (COP) in static (in a stance on a fixed stabiloplatform with open (OE) and closed (CE) eyes) and semi-dynamic conditions (in a stance at low h = 12 cm with OE and CE and high h = 30 cm see-saw with CE). Strength abilities of the thigh muscles and extensibility of the calf muscles were recorded using functional tests. Proprioceptive sensitivity was defined as an reproduction error of the tilt of the straight body in the ankle joint. Compared with the "Control" group, the trained girls showed an significant increase in the strength endurance of the hip extensors and flexors, the accuracy of reproduction of the inclination of the vertical body, as well as the stability of the monosupport posture in static and semi-dynamic positions only with closed eyes. Effect size of the balance-training was greatest in improving the postural stability on the see-saw with CE. The suggested mechanisms for improving postural stability are an increase in the strength abilities of the leg muscles and the specific proprioceptive sensitivity of the postural system.

Keywords: postural stability, stabilography, static and semi-dynamic balance, balance training, mono-support posture, see-saw.