

УДК 612.886

DOI: 10.37482/2687-1491-Z110

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛЯЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЗЫ У ЮНОШЕЙ-ДЗЮДОИСТОВ 7–15 лет

*А.А. Мельников** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5281-5306>

*М.В. Васина** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7407-1184>

*Российский государственный университет физической культуры,
спорта, молодежи и туризма
(Москва)

Система регуляции позы ребенка развивается вместе с ростом всего организма и созреванием центральной нервной, сенсорной и мышечной систем. Считается, что к возрасту 12 лет устойчивость позы достигает взрослого уровня и далее существенно не меняется. Авторы статьи предположили, что постоянные спортивные сложнокоординационные тренировки будут способствовать развитию и стабилизации регуляции вертикальной позы в более позднем возрасте. **Целью** работы было изучение возрастных особенностей регуляции вертикальной позы у борцов-дзюдоистов 7–15 лет. **Материалы и методы.** Обследуемые дзюдоисты ($n = 43$) были разделены на три возрастные группы: 7–9 лет; 10–12 лет; 13–15 лет. Регуляцию вертикальной позы исследовали с помощью стабилотрии в стойках с открытыми и закрытыми глазами, на поролоновом коврике с открытыми глазами и в тесте со зрительной биологической обратной связью. **Результаты.** Площадь и скорость колебаний общего центра давления во всех тестах были ниже у дзюдоистов 10–12 и 13–15 лет по сравнению с группой 7–9 лет, но между группами 10–12 и 13–15 лет различий не выявлено. Вместе с тем мощность высокочастотных колебаний общего центра давления во всех тестах была наименьшей у спортсменов 13–15 лет, что указывает на продолжение развития постуральной регуляции. Таким образом, несмотря на сложнокоординационные тренировки, оказывающие позитивное влияние на систему регуляции позы, статическая устойчивость позы у дзюдоистов повышается до 12-летнего возраста и далее стабилизируется. Необходимы детальные исследования регуляции позы у спортсменов на более поздних этапах пубертатного периода и в постпубертатный период возрастного развития.

Ключевые слова: регуляция вертикальной позы, стабилотрофия, юные спортсмены, дзюдо, возрастное развитие.

Ответственный за переписку: Мельников Андрей Александрович, адрес: 105122, Москва, Сиреневый бульвар, д. 4; e-mail: meln1974@yandex.ru

Для цитирования: Мельников А.А., Васина М.В. Возрастные особенности регуляции вертикальной позы у юношей-дзюдоистов 7–15 лет // Журн. мед.-биол. исследований. 2022. Т. 10, № 3. С. 221–231. DOI: 10.37482/2687-1491-Z110

Регуляция позы – это совокупность нейромышечных процессов, которые обеспечивают сохранение равновесия позы в статических и динамических условиях [1]. Эффективная регуляция позы имеет большое значение для предупреждения бытовых падений и спортивных травм [2], а также овладения сложными двигательными действиями и спортивными навыками [3].

Особенно актуальна проблема возрастного развития системы регуляции позы. Знание возрастных особенностей может помочь тренерам в эффективном развитии этой и других двигательных способностей в тренировочном процессе. Вместе с тем результаты работ, посвященных выявлению возрастных периодов развития системы постуральной регуляции, противоречивы. Так, в одних работах показано, что статическая устойчивость совершенствуется до 12 лет, а с 13 лет практически не отличается от показателей молодых взрослых людей [4, 5]. Другие авторы, напротив, указывают на дальнейшее возрастное повышение устойчивости позы, утверждая, что стабилизация этой функции происходит после 18 лет [6].

Занятия сложнокоординационными видами спорта способствуют совершенствованию механизмов регуляции позы [6, 7]. Следовательно, эффекты физической тренировки и возрастного развития схожи и, вероятно, аддитивны. Таким образом, мы считаем, что регулярные физические тренировки в течение возрастного развития будут способствовать совершенствованию регуляции позы занимающихся детей и после

достижения ими 13-летнего возраста. Это может быть связано с развитием согласованности основных отделов системы регуляции позы, а также с дальнейшим развитием специфических механизмов постуральной регуляции: улучшением сенсорной интеграции в ЦНС [8], повышением вклада проприоцептивной сенсорной системы [4] и развитием механизмов произвольной регуляции позы. Для выяснения этих возрастных особенностей созревания постуральной системы у детей 7–15 лет, регулярно занимающихся сложнокоординационным видом спорта – дзюдо, мы проанализировали колебания общего центра давления стоп (ОЦД) в различных постуральных тестах, оценивающих способность к интеграции сенсорной информации разной модальности. Мы предполагаем, что устойчивость позы в более сложных условиях стояния, особенно в стойке на коврике с искажением проприоцептивной информации от кожи стопы и мышц голеностопного сустава [4, 8], а также в стойке со зрительной биологической обратной связью (БОС), требующей высокого уровня произвольного контроля позы [9], будет выше у спортсменов более старшего возраста по сравнению с более юными испытуемыми.

Материалы и методы

Характеристика выборки. Обследованы 43 юных дзюдоиста в возрасте от 7 до 15 лет, тренирующихся в ГБУ «СШ «Борец» Москомспорта. Все борцы были разделены на три возрастные группы (табл. 1): 7–9 лет ($n = 13$), 10–12 лет ($n = 17$) и 13–15 лет ($n = 13$).

Таблица 1

АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И СТАЖ ЗАНЯТИЙ ДЗЮДОИСТОВ, $M \pm \sigma$
ANTHROPOMETRIC DATA AND LENGTH OF TRAINING OF JUDOKAS, $M \pm \sigma$

Показатель	Группа 1 (7–9 лет; $n = 13$)	Группа 2 (10–12 лет; $n = 17$)	Группа 3 (13–15 лет; $n = 13$)	P_{1vs2}	P_{2vs3}
Возраст, годы	8,5±0,8	11,1±0,9	14,4±0,8	0,001	0,001
Масса тела, кг	28,0±5,7	39,3±8,3	66,1±5,7	0,001	0,001
Длина тела, см	136,1±7,2	150,4±8,8	174,9±9,5	0,001	0,001
Стаж занятий дзюдо, годы	1,0±0,6	2,4±0,5	4,4±3,1	0,001	0,001

Примечание: $M \pm \sigma$ – среднее значение и стандартное отклонение; p – статистическая значимость различий между группами (см. и далее).

Стаж занятий дзюдо в группах увеличивался с возрастом спортсменов. Количество и время занятий также увеличивалось с возрастом и составило: 2 раза в неделю по 60 мин для группы 7–9 лет, 4 раза в неделю по 90 мин в группе 10–12 лет и 5–6 раз в неделю по 120 мин в группе 13–15 лет.

Законные представители несовершеннолетних спортсменов оформляли добровольное письменное информированное согласие на участие в предстоящем экспериментальном исследовании (согласно принципам Хельсинкской декларации).

Методы исследования. Устойчивость вертикальной позы определяли с помощью стабиллографического комплекса «Стабилан-01» (ЗАО ОКБ «Ритм», г. Таганрог) в следующих поструральных тестах (длительность каждого составила 20 с):

1) обычная стойка с открытыми глазами (ОГ) и параллельным расположением стоп;

2) обычная стойка с закрытыми глазами (ЗГ) и параллельным расположением стоп;

3) обычная стойка с открытыми глазами на поролоновом коврикe толщиной 20 см, с параллельным расположением стоп (тест «Коврик»). Тест предназначен для оценки способности системы регуляции позы компенсировать дефицит соматосенсорной информации с помощью использования зрительных и вестибулярных сигналов [8];

4) тест «Мишень» со зрительной БОС: испытуемый смотрит на положение своего ОЦД на экране монитора, в течение теста необходимо произвольно совмещать положение ОЦД с мишенью на экране. Масштаб изображения перемещений ОЦД на экране был увеличен относительно естественных колебаний и составил 1:4. Данный тест используется для оценки произвольной способности регуляции вертикальной позы. Хотя, как правило, усиление зрительной обратной связи о перемещении ОЦД не изменяет или увеличивает амплитуду колебаний ОЦД [9], произвольный компонент вносит вклад в регуляцию позы в условиях наличия обратной связи.

Анализировали следующие показатели: $V_{\text{ОЦД}}$ – средняя линейная скорость колебаний ОЦД, мм/с; $S_{\text{ОЦД}}$ – 95 %-я площадь стахокинезиограммы, мм²; Q_y/Q_x – отношение среднеквадратического отклонения ОЦД в сагиттальной плоскости к среднеквадратическому отклонению во фронтальной плоскости, отн. ед.; PWN_c , PWN_ϕ – мощность колебаний ОЦД в диапазоне высоких частот (2–5 Гц) в сагиттальной и фронтальной плоскостях соответственно, %. Принято считать, что $S_{\text{ОЦД}}$ в большей мере характеризует пределы колебаний вертикальной позы и, собственно, устойчивость позы, а $V_{\text{ОЦД}}$ – активность поструральных мышц и, следовательно, напряжение регуляции позы и ее эффективность [10]. Отношение Q_y/Q_x показывает преобладание колебаний в сагиттальной плоскости над колебаниями во фронтальной и отражает активность голеностопной стратегии в регуляции позы. Спектральный индекс PWN характеризует относительный вклад низкоамплитудных высокочастотных колебаний, может отражать вовлечение проприоцептивной информации, состоящей из коротких и быстрых нейронных цепей регуляции мышечных сокращений [11], а также непрерывную поисковую активность поструральной системы, направленную на определение пределов устойчивости в регуляции позы.

Статистический анализ. Поскольку все показатели стабиллографии по критерию Шапиро–Уилка имели ненормальное распределение, то данные представляли как медиану (Me) и межквартильный размах [25%-75%]. Сравнение между группами разного возраста выполняли с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни. Критическим уровнем значимости принимали $p < 0,05$. Все расчеты выполняли в программе Statistica 12 (StatSoft, США).

Результаты

Устойчивость вертикальной позы в обычных стойках с ОГ и ЗГ. Возрастные различия показателей устойчивости вертикальной позы в стойках с ОГ и ЗГ были схожими. $V_{\text{ОЦД}}$ и $S_{\text{ОЦД}}$

были снижены у дзюдоистов 10–12 и 13–15 лет по сравнению с группой 7–9 лет как в стойке с ОГ, так и в стойке с ЗГ. Между группами 10–12 и 13–15 лет различий не выявлено (табл. 2).

Кроме того, отношение Q_y/Q_x было выше в обоих постральных тестах у дзюдоистов 10–12 и 13–15 лет, чем у 7–9-лет-

них, но между группами 10–12 и 13–15 лет различий не обнаружено (табл. 3). Мощность высокочастотных колебаний в сагиттальной плоскости была наименьшей в группе 13–15 лет по сравнению с группой 7–9 лет (табл. 3) в стойках с ОГ ($p = 0,009$) и ЗГ ($p = 0,017$).

Таблица 2

**СТАБИЛОГРАФИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОЛЕБАНИЙ ОЦД
В СТОЙКАХ С ОТКРЫТЫМИ И ЗАКРЫТЫМИ ГЛАЗАМИ
У ДЗЮДОИСТОВ 7–15 лет, Me [25%-75%]
STABILOGRAPHIC PARAMETERS OF CENTRE OF PRESSURE OSCILLATIONS
IN STANDING POSITIONS WITH EYES OPEN AND CLOSED
IN 7–15-YEAR-OLD JUDOKAS, Me [25 %-75 %]**

Показатель	Группа 1 (7–9 лет; $n = 13$)	Группа 2 (10–12 лет; $n = 17$)	Группа 3 (13–15 лет; $n = 13$)	P_{1vs2}	P_{1vs3}	P_{2vs3}
<i>Стойка с открытыми глазами</i>						
$S_{OЦД}$, мм ²	365 [137-612]	89 [38-215]	133 [93-190]	0,006	0,023	0,388
$V_{OЦД}$, мм/с	16,6 [14,3-25,2]	10,8 [8,0-12,7]	10,6 [9,1-14,6]	0,001	0,007	0,535
<i>Стойка с закрытыми глазами</i>						
$S_{OЦД}$, мм ²	243 [178-846]	93 [66-163]	126 [101-146]	0,002	0,001	0,364
$V_{OЦД}$, мм/с	16,4 [14,7-20,6]	13,4 [10,8-14,4]	13,9 [11,4-14,8]	0,004	0,019	0,388

Таблица 3

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОЛЕБАНИЙ ОЦД
И СТЕПЕНЬ СЖАТИЯ ЭЛЛИПСА СТАТОКИНЕЗИОГРАММЫ (Q_y/Q_x)
ВО ВСЕХ ПОСТУРАЛЬНЫХ ТЕСТАХ У ДЗЮДОИСТОВ 7–15 лет, Me [25%-75%]
SPECTRAL PARAMETERS OF CENTRE OF PRESSURE OSCILLATIONS
AND THE DEGREE OF STATOKINESIOGRAM ELLIPSE COMPRESSION (Q_y/Q_x)
IN ALL POSTURAL TESTS IN 7–15-YEAR-OLD JUDOKAS, Me [25 %-75 %]**

Показатель	Группа 1 (7–9 лет; $n = 13$)	Группа 2 (10–12 лет; $n = 17$)	Группа 3 (13–15 лет; $n = 13$)	P_{1vs2}	P_{1vs3}	P_{2vs3}
<i>Стойка с открытыми глазами</i>						
PWH_ϕ , %	16,0 [12,0-17,0]	15,0 [12,0-18,0]	15,0 [13,0-18,0]	0,950	0,959	1,000
PWH_c , %	17,5 [14,5-19,0]	16,0 [13,0-19,0]	14,0 [13,0-15,0]	0,565	0,009	0,127
Q_y/Q_x , отн. ед.	1,12 [0,71-1,33]	1,46 [1,32-2,38]	1,48 [1,17-1,76]	0,003	0,032	0,167

Окончание табл. 3

Показатель	Группа 1 (7–9 лет; n = 13)	Группа 2 (10–12 лет; n = 17)	Группа 3 (13–15 лет; n = 13)	P_{1vs2}	P_{1vs3}	P_{2vs3}
<i>Стойка с закрытыми глазами</i>						
PWH_{ϕ} , %	17,0 [11,0-19,0]	15,0 [14,0-17,0]	14,0 [12,0-16,0]	0,834	0,427	0,391
PWH_{ϵ} , %	16,0 [14,5-19,0]	15,0 [12,0-17,0]	13,0 [10,5-15,5]	0,150	0,017	0,308
Q_y/Q_x , отн. ед.	1,32 [1,03-1,51]	1,88 [1,46-2,45]	1,97 [1,57-2,22]	0,006	0,010	0,744
<i>Тест «Коврик»</i>						
PWH_{ϕ} , %	16,5 [13,4-18,8]	13,7 [12,8-17,3]	15,8 [13,2-16,5]	0,225	0,383	0,503
PWH_{ϵ} , %	19,5 [17,6-23,2]	17,9 [16,0-20,7]	14,4 [13,5-17,6]	0,298	0,009	0,014
Q_y/Q_x , отн. ед.	1,15 [1,08-1,27]	1,11 [0,92-1,34]	1,41 [1,02-1,67]	0,674	0,157	0,032
<i>Тест «Мишень»</i>						
PWH_{ϕ} , %	15,0 [10,0-17,0]	15,0 [11,0-15,0]	12,0 [11,0-13,0]	0,967	0,758	0,202
PWH_{ϵ} , %	17,0 [16,0-18,0]	16,0 [13,0-19,0]	15,0 [11,5-16,5]	0,233	0,019	0,341
Q_y/Q_x , отн. ед.	1,09 [0,64-1,16]	1,38 [1,22-1,77]	1,50 [1,11-1,87]	0,007	0,178	0,980

Устойчивость вертикальной позы в тесте «Коврик». В стойке на поролоновом коврике у дзюдоистов 10–12 и 13–15 лет отмечались более

низкие значения $S_{OЦД}$ и $V_{OЦД}$ (рис. 1), чем у лиц 7–9 лет. Но между группами 10–12 и 13–15 лет различий не выявлено. Значение PWH в сагит-

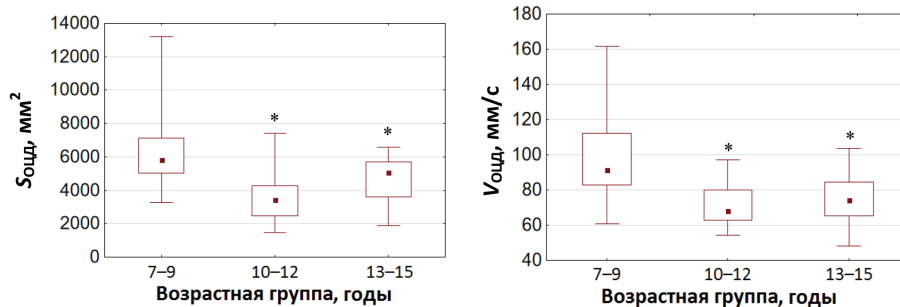


Рис. 1. Стабилографические показатели колебаний ОЦД в стойке на поролоновом коврике (тест «Коврик») у дзюдоистов 7–15 лет, Me [25%-75%] (* – установлена статистическая значимость различий по сравнению с группой 7–9 лет, $p < 0,001$)

Fig. 1. Stabilographic parameters of centre of pressure oscillations in a standing position on a foam mat (Mat Test) in judokas aged 7–15 years, Me [25 %-75 %] (* – statistical significance of differences was established compared to the group of 7–9-year-olds, $p < 0.001$)

тальной плоскости в группе 13–15 лет было ниже (табл. 3), чем у дзюдоистов 7–9 лет ($p = 0,009$) и 10–12 лет ($p = 0,014$). Отношение Q_y/Q_x в этом тесте также было большим в группе 13–15 лет ($p = 0,032$) относительно группы 10–12 лет.

Устойчивость вертикальной позы в тесте «Мишень». В стойке со зрительной БОС у дзюдоистов 10–12 и 13–15 лет отмечались более низкие значения $S_{\text{ОЦД}}$ и $V_{\text{ОЦД}}$ (рис. 2), чем у бо-

показатели устойчивости позы улучшались до возраста 12 лет, а далее стабилизировались и не менялись. Только мощность высокочастотных колебаний в сагиттальной плоскости в стойке на коврике оказалась сниженной в группе 13–15 лет по сравнению с группой 10–12 лет.

Указанные результаты согласуются с исследованиями, выполненными на детях, не занимающихся спортом [4, 5]. В этих работах установлено, что колебания ОЦД снижаются с

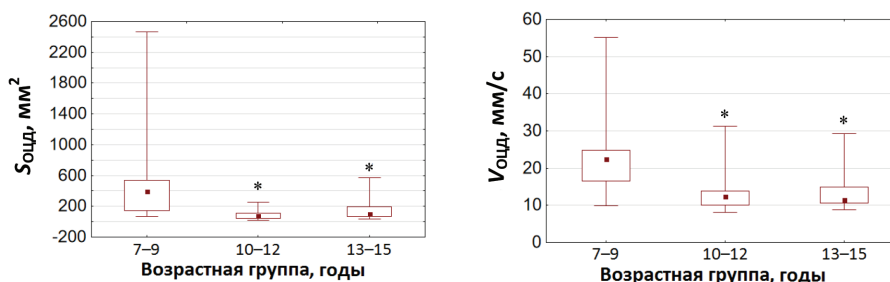


Рис. 2. Стабилографические показатели колебаний ОЦД в тесте «Мишень» со зрительной БОС у дзюдоистов 7–15 лет, Me [25 %-75 %] (* – установлена статистическая значимость различий по сравнению с группой 7–9 лет, $p < 0,001$)

Fig. 2. Stabilographic parameters of centre of pressure oscillations in the Target Test with visual biofeedback in 7–15-year-old judokas, Me [25 %-75 %] (* – statistical significance of differences was established compared to the group of 7–9-year-olds, $p < 0.001$)

лее юных спортсменов 7–9 лет. Между группами 10–12 и 13–15 лет различий не выявлено. Отношение Q_y/Q_x было выше у дзюдоистов 10–12 лет ($p = 0,007$) по сравнению с 7–9-летними (табл. 3). Показатель РВН в сагиттальной плоскости оказался снижен в группе 13–15 лет по сравнению с группой 7–9 лет.

Обсуждение. Основной целью нашей работы было исследовать изменение регуляции вертикальной позы у дзюдоистов 7–15 лет, развивающих сложнокоординационные способности в дзюдо. Мы предположили, что поступательное развитие устойчивости вертикальной позы, определяемое как снижение амплитуды и скорости колебаний ОЦД, будет продолжаться во всем изученном диапазоне до 13–15 лет вследствие: а) возрастного развития; б) тренировочных воздействий на различные отделы системы постуральной регуляции. Однако полученные результаты не подтвердили гипотезу: все исследованные

момента, когда ребенок может самостоятельно стоять (около 1 года) до возраста 12 лет, а с 13 лет показатели мало отличаются от взрослых. Причем, по данным [4], несколько раньше (около 8 лет) стабилизируется показатель $S_{\text{ОЦД}}$, характеризующий устойчивость позы, а затем, к 12–13 годам, – $V_{\text{ОЦД}}$, отражающий активность и напряжение регуляции позы. Достижение зрелости постуральной устойчивости в 12 лет связывают с множеством возрастных изменений в разных отделах системы регуляции позы, среди них: завершение созревания корковых двигательных и сенсорных структур, вовлеченных в управление позой [5, 12]; установление полного контроля головного мозга над спинномозговыми рефлекторными реакциями [13]; улучшение координации между движениями глаз и позы [14]; рост согласованности в интеграции сенсорных систем и развитие когнитивных ресурсов мозга [4, 5, 15, 16].

Наши данные о снижении $S_{\text{ОЦД}}$ и $V_{\text{ОЦД}}$ в различных постральных тестах: в стойках с ЗГ, на поролоновом коврике и со зрительной БОС – в группах 10–12 и 13–15 лет относительно группы 7–9 лет указывают на то, что повышение эффективности постральной регуляции с 7 до 12 лет во многом связано с возрастным развитием способности постральной системы интегрировать разные сенсорные сигналы. Под сенсорной интеграцией понимается способность ЦНС переключаться с одних сенсорных сигналов на другие и компенсировать дефицит одних усилением сенсорных импульсов другой модальности для генерирования команд мышцам [16]. Действительно, удаление зрительных сигналов требует перехода на использование проприоцептивной и вестибулярной информации для пострального контроля. В условиях искажения проприоцептивных сигналов от голеностопа в стойке на коврике возникает необходимость переключения на регуляцию с использованием зрительной и вестибулярной информации и соматосенсорной из других частей тела. Наконец, дополнительная визуальная информация о перемещении ОЦД ведет к включению произвольных (как правило, избыточных) постральных коррекций, что вызывает ухудшение статического равновесия [9]. Как следствие, возрастное улучшение устойчивости позы в стойке с БОС также обусловлено развитием сенсорно-двигательных реакций с произвольным компонентом.

Среди частных механизмов улучшения регуляции позы с возрастом, выявленных нами, можно отметить переход к более эффективной голеностопной стратегии. На это указывает увеличение отношения Q_y/Q_x у дзюдоистов 10–12 и 13–15 лет практически во всех тестах (в стойках с ОГ и ЗГ, а также в тесте «Мишень»), свидетельствующее о преобладании колебаний в сагиттальной плоскости, что связано с доминированием голеностопной стратегии над тазобедренной. Другими словами, при взрослении поддержание равновесия в обычной стойке все больше обеспечивается дистальными мышцами вокруг голеностопного сустава.

Однако, по мнению многих авторов, возраст 12 лет не является периодом, в котором система постральной регуляции становится полностью зрелой [15]. Действительно, филогенетически более молодые области мозга, связанные с более сложной интеграцией сенсорной, мыслительной информации и исполнительными функциями, достигают зрелости на поздних этапах пубертатного периода [12]. Способность ЦНС интегрировать сенсорную информацию во время постральных тестов с удалением или искажением сенсорной афферентации разной модальности, особенно вестибулярной, продолжает совершенствоваться в пубертатном периоде и достигает зрелости к 20-летнему возрасту [17]. В нашем исследовании показатели постральной устойчивости ($V_{\text{ОЦД}}$ и $S_{\text{ОЦД}}$) во всех тестах улучшались в группе 10–12 лет относительно группы 7–9 лет и далее, в группе 13–15 лет, существенно не менялись. Причины отсутствия дальнейшего роста устойчивости позы у дзюдоистов в самой старшей группе не ясны. Можно полагать, что пубертатный период (12–15 лет), в связи со значительными перестройками в структуре и составе тела, в мышцах и ЦНС, может временно снижать темпы развития устойчивости позы, несмотря на ее неспецифическую тренировку в дзюдо. Действительно, в регуляции позы важным механизмом сенсорной интеграции является соотношение получаемой сенсорной информации с внутренней схемой тела [15], которая развивается вместе с ростом ребенка и под влиянием двигательного опыта. Можно предположить, что резкое изменение антропометрических параметров ведет к искажению ранее сформированной системы отсчета в схеме тела. Как результат, возможны задержка в улучшении и даже снижение постральной устойчивости. Поэтому стабилизация $V_{\text{ОЦД}}$ и $S_{\text{ОЦД}}$ в группе 13–15 лет может быть связана с изменением размеров организма, перестройкой схемы тела и перекалибровкой механизмов регуляции на основе обратной связи. Так, лонгитудинальный анализ колебаний ОЦД у детей в период 5–8 лет показал, что возраст-

ная динамика $V_{\text{ОЦД}}$ не является линейно нисходящей. Период снижения $V_{\text{ОЦД}}$ (до 6 лет) у всех испытуемых сменялся периодом увеличения показателя (около 6-7 лет), за которым снова следовало его уменьшение [17]. Вероятно, в пубертатном периоде также происходят подобные перестройки. Кроме того, показано, что в пубертатном периоде возможно усиление вклада зрительной информации в регуляцию позы при игнорировании соматосенсорной [15]. Для выяснения точных причин выявленной нами стабилизации развития устойчивости позы к возрасту 12 лет необходимы дополнительные исследования.

Вместе с тем важный показатель регуляции позы, мощность высокочастотных колебаний ОЦД в сагиттальной плоскости, оказался сниженным во всех постуральных тестах в группе спортсменов 13–15 лет по сравнению с группой 7–9 лет, а в стойке на коврике – также по отношению к группе 10–12 лет. Высокочастотные колебания ОЦД могут отражать вклад наиболее быстрых проприоцептивных сигналов в регуляцию позы, включая рефлексы растяжения мышечных веретен [18]. Снижение их вклада с возрастом может быть связано с усилением супраспинального контроля спинномозговых двигательных рефлексов. Показано, что созревание механизмов супраспинального торможения стретч-рефлексов мышц голени при стоянии и ходьбе заканчивается к 6 годам [18], однако полное созревание супраспинального контроля рефлекторной мышечной активности, вероятно, может продолжаться и позже, в пубертатном периоде. Таким образом, уменьшение PWH_c в группе 13–15 лет относительно более юных спортсменов может отражать снижение избыточной высокочастотной мышечной активности, что обусловлено усилением супраспинального контроля рефлексов растяжения.

Важно отметить существенную роль двигательного опыта в созревании практически всех механизмов регуляции позы: рефлекторную модуляцию со стороны супраспинальных центров, образование в ЦНС новых программ постурального контроля и синтез оптимальных двигательных стратегий на основе двигательного обучения [15, 16]. В связи с этим сложнокоординационная тренировка в дзюдо создает мощный импульс к двигательному обучению и формированию полезных для постуральной регуляции программ в ЦНС. Поэтому причины стабилизации показателей устойчивости позы у взрослых спортсменов-дзюдоистов 13–15 лет с большим двигательным опытом остаются малопонятными и требуют дальнейшего изучения.

Итак, проведенное исследование показало снижение амплитуды и скорости колебаний ОЦД во всех изученных постуральных тестах, требующих интеграции сенсорной информации различной модальности (зрения, проприоцепции и произвольной регуляции позы), в возрастной группе 10–12 лет и дальнейшую, в возрасте 13–15 лет, их стабилизацию. Можно предположить, что одной из причин улучшения регуляции вертикальной позы у спортсменов 10–12 и 13–15 лет является развитие способности ЦНС к интеграции сенсорной информации. Однако, несмотря на отсутствие изменений общей устойчивости позы, у дзюдоистов 13–15 лет мощность высокочастотных колебаний ОЦД в сагиттальной плоскости в сложной стойке на поролоновом коврике по сравнению с дзюдоистами 10–12 лет была снижена, что может быть обусловлено дальнейшим созреванием ЦНС и усилением супраспинального торможения избыточной рефлекторной активности постуральных мышц. Особенности постурального контроля у спортсменов в пубертатном и постпубертатном периоде требуют дополнительных исследований.

Конфликт интересов отсутствует.

Список литературы

1. Kiss R., Schedler S., Muehlbauer T. Associations Between Types of Balance Performance in Healthy Individuals Across the Lifespan: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Front. Physiol.* 2018. Vol. 9. Art. № 1366. DOI: [10.3389/fphys.2018.01366](https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01366)
2. Ширяева Т.П., Федотов Д.М., Грибанов А.В. Индикаторы риска падений у женщин пожилого возраста // *Журн. мед.-биол. исследований.* 2021. Т. 9, № 2. С. 226–229. DOI: [10.37482/2687-1491-Z060](https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z060)
3. Paillard T. Relationship Between Sport Expertise and Postural Skills // *Front. Psychol.* 2019. Vol. 10. Art. № 1428. DOI: [10.3389/fpsyg.2019.01428](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01428)
4. Hsu Y.-S., Kuan C.-C., Young Y.-H. Assessing the Development of Balance Function in Children Using Stabilometry // *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* 2009. Vol. 73, № 5. P. 737–740. DOI: [10.1016/j.ijporl.2009.01.016](https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2009.01.016)
5. Sá C.D.S.C., Boffino C.C., Ramos R.T., Tanaka C. Development of Postural Control and Maturation of Sensory Systems in Children of Different Ages: A Cross-Sectional Study // *Braz. J. Phys. Ther.* 2018. Vol. 22, № 1. P. 70–76. DOI: [10.1016/j.bjpt.2017.10.006](https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2017.10.006)
6. Andreeva A., Melnikov A., Skvortsov D., Akhmerova K., Vavaev A., Golov A., Draugelite V., Nikolaev R., Chechelnickaia S., Zhuk D., Bayerbakh A., Nikulin V., Zemková E. Postural Stability in Athletes: The Role of Age, Sex, Performance Level, and Athlete Shoe Features // *Sports (Basel).* 2020. Vol. 8, № 6. Art. № 89. DOI: [10.3390/sports8060089](https://doi.org/10.3390/sports8060089)
7. Andreeva A., Melnikov A., Skvortsov D., Akhmerova K., Vavaev A., Golov A., Draugelite V., Nikolaev R., Chechelnickaia S., Zhuk D., Bayerbakh A., Nikulin V., Zemková E. Postural Stability in Athletes: The Role of Sport Direction // *Gait Posture.* 2021. Vol. 89. P. 120–125. DOI: [10.1016/j.gaitpost.2021.07.005](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.07.005)
8. Bryanton M.A., Bilodeau M. The Effect of Vision and Surface Compliance on Balance in Untrained and Strength Athletes // *J. Mot. Behav.* 2019. Vol. 51, № 1. P. 75–82. DOI: [10.1080/00222895.2017.1423019](https://doi.org/10.1080/00222895.2017.1423019)
9. Li R., Peterson N., Walter H.J., Rath R., Curry C., Stoffregen T.A. Real-Time Visual Feedback About Postural Activity Increases Postural Instability and Visually Induced Motion Sickness // *Gait Posture.* 2018. Vol. 65. P. 251–255. DOI: [10.1016/j.gaitpost.2018.08.005](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.08.005)
10. Lin D., Seol H., Nussbaum M.A., Madigan M.L. Reliability of COP-Based Postural Sway Measures and Age-Related Differences // *Gait Posture.* 2008. Vol. 28, № 2. P. 337–342. DOI: [10.1016/j.gaitpost.2008.01.005](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.01.005)
11. Kouzaki M., Masani K., Akima H., Shirasawa H., Fukuoka H., Kanehisa H., Fukunaga T. Effects of 20-Day Bed Rest with and Without Strength Training on Postural Sway During Quiet Standing // *Acta Physiol. (Oxf).* 2007. Vol. 189, № 3. P. 279–292. DOI: [10.1111/j.1748-1716.2006.01642.x](https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2006.01642.x)
12. Gogtay N., Giedd J.N., Lusk L., Hayashi K.M., Greenstein D., Vaituzis A.C., Nugent T.F. 3rd, Herman D.H., Clasen L.S., Toga A.W., Rapoport J.L., Thompson P.M. Dynamic Mapping of Human Cortical Development During Childhood Through Early Adulthood // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2004. Vol. 101, № 21. P. 8174–8179. DOI: [10.1073/pnas.0402680101](https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101)
13. Shumway-Cook A., Woollacott M.H. The Growth of Stability: Postural Control from a Developmental Perspective // *J. Mot. Behav.* 1985. Vol. 17, № 2. P. 131–147. DOI: [10.1080/00222895.1985.10735341](https://doi.org/10.1080/00222895.1985.10735341)
14. Ajrezo L., Wiener-Vacher S., Bucci M.P. Saccades Improve Postural Control: A Developmental Study in Normal Children // *PLoS One.* 2013. Vol. 8, № 11. Art. № e81066. DOI: [10.1371/journal.pone.0081066](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081066)
15. Goulème N., Debue M., Spruyt K., Vanderveken C., De Siati R.D., Ortega-Solis J., Petrossi J., Wiener-Vacher S., Bucci M.P., Ionescu E., Thai-Van H., Deggouj N. Changes of Spatial and Temporal Characteristics of Dynamic Postural Control in Children with Typical Neurodevelopment with Age: Results of a Multicenter Pediatric Study // *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* 2018. Vol. 113. P. 272–280. DOI: [10.1016/j.ijporl.2018.08.005](https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2018.08.005)
16. Ferber-Viart C., Ionescu E., Morlet T., Froehlich P., Dubreuil C. Balance in Healthy Individuals Assessed with Equitest: Maturation and Normative Data for Children and Young Adults // *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* 2007. Vol. 71, № 7. P. 1041–1046. DOI: [10.1016/j.ijporl.2007.03.012](https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2007.03.012)
17. Kirshenbaum N., Riach C.L., Starkes J.L. Non-Linear Development of Postural Control and Strategy Use in Young Children: A Longitudinal Study // *Exp. Brain Res.* 2001. Vol. 140, № 4. P. 420–431. DOI: [10.1007/s002210100835](https://doi.org/10.1007/s002210100835)
18. Berger W., Quintern J., Dietz V. Afferent and Efferent Control of Stance and Gait: Developmental Changes in Children // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1987. Vol. 66, № 3. P. 244–252. DOI: [10.1016/0013-4694\(87\)90073-3](https://doi.org/10.1016/0013-4694(87)90073-3)

References

1. Kiss R., Schedler S., Muehlbauer T. Associations Between Types of Balance Performance in Healthy Individuals Across the Lifespan: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front. Physiol.*, 2018, vol. 9. Art. no. 1366. DOI: [10.3389/fphys.2018.01366](https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01366)
2. Shiryayeva T.P., Fedotov D.M., Griбанov A.V. Indicators of the Risk of Falls in Older Women. *J. Med. Biol. Res.*, 2021, vol. 9, no. 2, pp. 226–229. DOI: [10.37482/2687-1491-Z060](https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z060)
3. Paillard T. Relationship Between Sport Expertise and Postural Skills. *Front. Psychol.*, 2019, vol. 10. Art. no. 1428. DOI: [10.3389/fpsyg.2019.01428](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01428)
4. Hsu Y.-S., Kuan C.-C., Young Y.-H. Assessing the Development of Balance Function in Children Using Stabilometry. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.*, 2009, vol. 73, no. 5, pp. 737–740. DOI: [10.1016/j.ijporl.2009.01.016](https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2009.01.016)
5. Sá C.D.S.C., Boffino C.C., Ramos R.T., Tanaka C. Development of Postural Control and Maturation of Sensory Systems in Children of Different Ages: A Cross-Sectional Study. *Braz. J. Phys. Ther.*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 70–76. DOI: [10.1016/j.bjpt.2017.10.006](https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2017.10.006)
6. Andreeva A., Melnikov A., Skvortsov D., Akhmerova K., Vavaev A., Golov A., Draugelite V., Nikolaev R., Chechelnicakaia S., Zhuk D., Bayerbakh A., Nikulin V., Zemková E. Postural Stability in Athletes: The Role of Age, Sex, Performance Level, and Athlete Shoe Features. *Sports (Basel)*, 2020, vol. 8, no. 6. Art. no. 89. DOI: [10.3390/sports8060089](https://doi.org/10.3390/sports8060089)
7. Andreeva A., Melnikov A., Skvortsov D., Akhmerova K., Vavaev A., Golov A., Draugelite V., Nikolaev R., Chechelnicakaia S., Zhuk D., Bayerbakh A., Nikulin V., Zemková E. Postural Stability in Athletes: The Role of Sport Direction. *Gait Posture*, 2021, vol. 89, pp. 120–125. DOI: [10.1016/j.gaitpost.2021.07.005](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.07.005)
8. Bryanton M.A., Bilodeau M. The Effect of Vision and Surface Compliance on Balance in Untrained and Strength Athletes. *J. Mot. Behav.*, 2019, vol. 51, no. 1, pp. 75–82. DOI: [10.1080/00222895.2017.1423019](https://doi.org/10.1080/00222895.2017.1423019)
9. Li R., Peterson N., Walter H.J., Rath R., Curry C., Stoffregen T.A. Real-Time Visual Feedback About Postural Activity Increases Postural Instability and Visually Induced Motion Sickness. *Gait Posture*, 2018, vol. 65, pp. 251–255. DOI: [10.1016/j.gaitpost.2018.08.005](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.08.005)
10. Lin D., Seol H., Nussbaum M.A., Madigan M.L. Reliability of COP-Based Postural Sway Measures and Age-Related Differences. *Gait Posture*, 2008, vol. 28, no. 2, pp. 337–342. DOI: [10.1016/j.gaitpost.2008.01.005](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.01.005)
11. Kouzaki M., Masani K., Akima H., Shirasawa H., Fukuoka H., Kanehisa H., Fukunaga T. Effects of 20-Day Bed Rest with and Without Strength Training on Postural Sway During Quiet Standing. *Acta Physiol. (Oxf.)*, 2007, vol. 189, no. 3, pp. 279–292. DOI: [10.1111/j.1748-1716.2006.01642.x](https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2006.01642.x)
12. Gogtay N., Giedd J.N., Lusk L., Hayashi K.M., Greenstein D., Vaituzis A.C., Nugent T.F. 3rd, Herman D.H., Clasen L.S., Toga A.W., Rapoport J.L., Thompson P.M. Dynamic Mapping of Human Cortical Development During Childhood Through Early Adulthood. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 2004, vol. 101, no. 21, pp. 8174–8179. DOI: [10.1073/pnas.0402680101](https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101)
13. Shumway-Cook A., Woollacott M.H. The Growth of Stability: Postural Control from a Developmental Perspective. *J. Mot. Behav.*, 1985, vol. 17, no. 2, pp. 131–147. DOI: [10.1080/00222895.1985.10735341](https://doi.org/10.1080/00222895.1985.10735341)
14. Ajrezo L., Wiener-Vacher S., Bucci M.P. Saccades Improve Postural Control: A Developmental Study in Normal Children. *PLoS One*, 2013, vol. 8, no. 11. Art. no. e81066. DOI: [10.1371/journal.pone.0081066](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081066)
15. Goulème N., Debue M., Spruyt K., Vanderveken C., De Siati R.D., Ortega-Solis J., Petrossi J., Wiener-Vacher S., Bucci M.P., Ionescu E., Thai-Van H., Deggouj N. Changes of Spatial and Temporal Characteristics of Dynamic Postural Control in Children with Typical Neurodevelopment with Age: Results of a Multicenter Pediatric Study. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.*, 2018, vol. 113, pp. 272–280. DOI: [10.1016/j.ijporl.2018.08.005](https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2018.08.005)
16. Ferber-Viart C., Ionescu E., Morlet T., Froehlich P., Dubreuil C. Balance in Healthy Individuals Assessed with Equitest: Maturation and Normative Data for Children and Young Adults. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.*, 2007, vol. 71, no. 7, pp. 1041–1046. DOI: [10.1016/j.ijporl.2007.03.012](https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2007.03.012)
17. Kirshenbaum N., Riach C.L., Starkes J.L. Non-Linear Development of Postural Control and Strategy Use in Young Children: A Longitudinal Study. *Exp. Brain Res.*, 2001, vol. 140, no. 4, pp. 420–431. DOI: [10.1007/s002210100835](https://doi.org/10.1007/s002210100835)
18. Berger W., Quintern J., Dietz V. Afferent and Efferent Control of Stance and Gait: Developmental Changes in Children. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 1987, vol. 66, no. 3, pp. 244–252. DOI: [10.1016/0013-4694\(87\)90073-3](https://doi.org/10.1016/0013-4694(87)90073-3)

DOI: 10.37482/2687-1491-Z110

*Andrey A. Mel'nikov** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5281-5306>
*Margarita V. Vasina** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7407-1184>

*Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism
(Moscow, Russian Federation)

AGE-RELATED PECULIARITIES OF VERTICAL POSTURE REGULATION IN MALE JUDOKAS AGED 7–15 YEARS

A child's posture regulation system develops along with the body's growth and the maturation of the central nervous, sensory, and muscular systems. It is believed that by the age of 12, posture stability reaches an adult level and does not change significantly from then on. The authors suggested that complex coordination sports training would contribute to the development and stabilization of vertical posture regulation at an older age. The **aim** of this paper was to study age-related features of vertical posture regulation in judokas aged 7–15 years. **Materials and methods.** The subjects ($n = 43$) were divided into three age groups: 7–9 years, 10–12 years, and 13–15 years. Vertical posture regulation was studied using stabilometry in a standing position with eyes open and closed, on a foam mat with eyes open and in a visual biofeedback test. **Results.** The area and velocity of centre of pressure (COP) oscillations in all tests were lower in judokas aged 10–12 and 13–15 years compared to 7–9-year-olds; no differences were found between the athletes aged 10–12 and 13–15 years. However, the power of high-frequency COP oscillations in all tests was the lowest in 13–15-year-old athletes, indicating continuing development of postural regulation. Thus, despite complex coordination training, which has a positive effect on the system of posture regulation, static postural stability in judokas increases up to 12 years of age and then stabilizes. Detailed research is required on posture regulation in athletes in later puberty and in postpuberty.

Keywords: vertical posture regulation, stabilography, young athletes, judo, age-related development.

Received 16 April 2022
Accepted 1 August 2022
Published 27 September 2022

Поступила 16.04.2022
Принята 01.08.2022
Опубликована 27.09.2022

Corresponding author: Andrey Mel'nikov, address: Sirenevyy bul'var 4, Moscow, 105122, Russian Federation;
e-mail: meln1974@yandex.ru

For citation: Mel'nikov A.A., Vasina M.V. Age-Related Peculiarities of Vertical Posture Regulation in Male Judokas Aged 7–15 Years. *Journal of Medical and Biological Research*, 2022, vol. 10, no. 3, pp. 221–231. DOI: 10.37482/2687-1491-Z110