

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СУСТАВОВ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ГИМНАСТОК В ВОЗРАСТЕ 12–14 ЛЕТ

О.И. Воронцова¹, aspuvorontsova@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-4037-3990>

Л.А. Удочкина², udochkin-lk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5016-0633>

¹ Астраханский государственный университет, Астрахань, Россия

² Астраханский государственный медицинский университет, Астрахань, Россия

Аннотация. Цель: оценить функциональное состояние суставов нижних конечностей у спортсменок в возрасте 12–14 лет, занимающихся художественной гимнастикой. **Материалы и методы.** В исследовании приняло участие 47 спортсменок, в группу сравнения вошли 42 девушки, не занимающиеся профессиональным спортом, без жалоб на состояние опорно-двигательной системы, прошедшие обследование у врача ортопеда-травматолога и признанные условно здоровыми. Методом клинического анализа походки при помощи системы трехмерного видеоанализа данных Vicon были зафиксированы пространственно-временные характеристики походки и кинематические показатели угловых перемещений голеностопного, коленного и тазобедренного суставов. **Результаты.** У гимнасток выявлено увеличение каденции и уменьшение длины шага, а также нарушения функции всех трех суставов в различных плоскостях в отличие от группы сравнения. В голеностопном суставе отмечено значительное увеличение угла супинации левого голеностопного сустава ($20,9 \pm 0,27^\circ$); увеличение амплитуды дорсоплантарного сгибания ($29,4 \pm 0,32^\circ$); увеличение угла отведения левой стопы ($3,33 \pm 0,24^\circ$). В коленном суставе у девушек-гимнасток слева отмечено увеличение вальгусной позиции на протяжении всего цикла шага ($42,2 \pm 0,27^\circ$), в остальных плоскостях значимых отличий обнаружено не было. В тазобедренном суставе зафиксировано увеличение угла приведения в фазе опоры, а в фазе переноса уменьшение угла отведения тазобедренного сустава; увеличение угла наружной ротации слева в пике фазы переноса ($43,4 \pm 0,38^\circ$). **Выводы.** Полученные показатели могут стать прогностическими для оценки возникновения травм у гимнасток и выявления патологий ОДА.

Ключевые слова: опорно-двигательный аппарат, художественная гимнастика, клинический анализ походки, пространственно-временные характеристики, кинематический анализ суставов, нижние конечности

Для цитирования: Воронцова О.И., Удочкина Л.А. Кинематический анализ суставов нижних конечностей у гимнасток в возрасте 12–14 лет // Человек. Спорт. Медицина. 2023. Т. 23, № 4. С. 87–94. DOI: 10.14529/hsm230411

Original article
DOI: 10.14529/hsm230411

LOWER LIMB JOINT KINEMATICS IN FEMALE GYMNASTS AGES 12–14

O.I. Vorontsova¹, aspuvorontsova@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-4037-3990>

L.A. Udochkina², udochkin-lk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5016-0633>

¹ Astrakhan State University, Astrakhan, Russia

² Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia

Abstract. Aim. To evaluate the functional state of lower limb joints in female rhythmic gymnasts, ages 12–14. **Materials and methods.** The study involved 47 female athletes and 42 apparently healthy female non-athletes without musculoskeletal complaints from the control group. Spatio-temporal gait analysis and analysis of angular movements of lower limb joints were performed with the Vicon 3D motion capture system. **Results.** Compared to the control group, the results obtained show increased cadence and decreased step length, as well as functional disorders of all three joints in different planes in female rhythmic gymnasts. The following observations were recorded: a significantly increased supination angle of the left ankle

joint ($20.9 \pm 0.27^\circ$); an increased amplitude of dorsi-plantar flexion ($29.4 \pm 0.32^\circ$); an increased abduction angle of the left foot ($3.33 \pm 0.24^\circ$). An increase in the valgus position was recorded throughout the entire gait cycle ($42.2 \pm 0.27^\circ$) in the left knee joint of female athletes, with no significant differences found in the other planes. In the hip joint, an increase in the adduction angle and a decrease in the abduction angle were recorded in the support and transfer phases, respectively; an increase in the angle of external rotation on the left was observed at the peak of the swing phase ($43.4 \pm 0.38^\circ$). **Conclusions.** The results obtained are of prognostic value in the assessment of injuries and pathologies of the musculoskeletal system in gymnasts.

Keywords: musculoskeletal system, rhythmic gymnastics, gait analysis, spatio-temporal characteristics, kinematic analysis of joints, lower extremities

For citation: Vorontsova O.I., Udochkina L.A. Lower limb joint kinematics in female gymnasts ages 12–14. *Human. Sport. Medicine.* 2023;23(4): 87–94. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm230411

Введение. Исследование состояния опорно-двигательного аппарата детей, занимающихся спортом, – актуальная проблема, которую ученые решают уже не первое десятилетие. С появлением новых средств диагностики, оказывающих минимальное воздействие на организм ребенка, например, системы трехмерного видеоанализа данных, подобные исследования выходят на новый уровень развития.

Художественная гимнастика в России является достаточно популярным видом спорта. Работает около 600 спортивных организаций, занимающихся подготовкой спортсменок. В них занимается более 85 тыс. человек. Также необходимо отметить, что дети начинают заниматься этим видом спорта достаточно рано – в 3–4 года, что, безусловно, несет риск развития различных нарушений здоровья и, в частности, острых и хронических травм опорно-двигательного аппарата. У этих спортсменок незрелая опорно-двигательная система, и, следовательно, они более восприимчивы к травмам [10]. Гимнастика относится к видам спорта с высокой травматичностью в связи с многообразием видов многоборья, большим количеством гимнастических элементов и связок, а также с повышенными трудностями при выполнении комбинаций [4]. Рост числа соревнований, внедрение новых технологий спортивной тренировки, приводит к повышению объема нагрузок на организм ребенка. Занятия художественной гимнастикой требуют наличия низкой жировой массы тела, высокой гибкости и координации, повышенных силовых способностей и выносливости. Комбинация этих факторов является потенциальным риском возникновения различных травм [3]. Показатели травматизма в гимнастике варьируются от 1,08 до 50,3 травм на 1000 ч

занятий. Согласно исследованиям зарубежных ученых, больше всего травм происходит на соревнованиях, меньшее количество – на тренировках [15].

Локализации травм у спортсменок, занимающихся художественной гимнастикой, посвящено достаточное количество исследований. Виды травм можно условно разделить на острые и хронические. Причем ярко выражено преобладание хронических травм над острыми. Так, А. Сиписти с соавт. (2007) отмечает, что частота острых травм у девушек, занимающихся художественной гимнастикой, по сравнению с группой девушек того же возраста, не занимающихся спортом, выше в 3 раза. Безусловно, здесь стоит также учитывать большее количество часов, которые гимнастки проводят на тренировках. Была установлена корреляция между временем, которое гимнастки уделяют спортивной практике, и возрастающей биомеханической нагрузкой на опорно-двигательный аппарат [12]. Острые травмы преимущественно локализуются в нижних конечностях. Большая часть из них приходится на стопу и голеностопный сустав (38 %), коленный сустав (19 %), бедро и тазобедренный сустав (15 %). Далее следуют повреждения спины (17 %) и другие травмы [14]. Отечественные ученые пришли к выводу, что чаще всего гимнастки травмируют стопы (31,6 %), далее следуют травмы верхних конечностей (22,4 %) и травмы спины (21,1 %) [1]. Накопление микроповреждений приводит к появлению хронических травм, на чью долю приходится 75 % всех заболеваний [8]. Игнорирование незначительных повреждений и болевых ощущений приводит к тому, что начинают развиваться более серьезные проблемы, перегружаются все отделы опорно-двигательного аппарата. Тем не менее проведено недоста-

точное количество исследований функции опорно-двигательной системы гимнасток при помощи технологии клинического анализа походки. Перспективные исследования кинематики движений суставов могут помочь выявить причины серьезных травм у гимнасток [13]. Системный мониторинг состояния опорно-двигательного аппарата спортсменок, занимающихся художественной гимнастикой, при помощи систем трехмерного видеонализа данных позволит предотвратить развитие хронических патологий и обеспечить раннюю ее диагностику.

Материалы и методы. Исследование проводилось в Астраханском государственном университете на базе ЦКП «Трехмерное исследование биомеханики движений». Работы по оценке состояния функции суставов нижних конечностей были организованы при помощи системы трехмерного видеонализа данных Vicon (системы захвата и анализа движений). Программно-аппаратный комплекс Vicon включает в себя десять цифровых инфракрасных камер Vicon T40, две видеокамеры Bonita 720, динамометрическую платформу AMTI, цифровой мультиплексный коммутатор Vicon Giganet Lab, программное обеспечение Vicon Nexus 2.0, Vicon Polygon 4.2.

В исследовании принимали участие 47 спортсменок, занимающихся художественной гимнастикой не менее 5 лет. Возраст девушек в данной группе составил 12–14 лет. В группу сравнения вошли 42 условно здоровые девушки того же возраста, которые профессионально не занимались спортом, не предъявляли жалоб к состоянию опорно-двигательного аппарата, прошли предварительное медицинское обследование.

Применялся метод клинического анализа походки. Анализировалась динамика угловых

перемещений суставов нижних конечностей в трех плоскостях. Испытуемым предлагалось пройти дистанцию в 6 метров по динамометрической платформе в естественной для себя манере с одинаковой скоростью. Начало движения и остановка осуществлялись по вербальной команде оператора. Для адаптации к условиям эксперимента потребовалось 3–4 пробных прохождения дистанции. В зависимости от качества захвата движения выполнялось 7–9 основных прохождений дистанции. Фиксировались пространственно-временные характеристики походки и угловые перемещения сегментов конечностей в голеностопном, коленном и тазобедренном суставах. Определяли и анализировали следующие параметры: каденция (частота шагов в минуту), время двойной поддержки (время, когда обе нижние конечности в цикле шага находятся в контакте с опорой), время одиночной поддержки (время, когда только одна конечность находится в контакте с опорой), длина шага, ширина шага, время и скорость шага. Сравнительный анализ двух групп проводился методами математической статистики при помощи программного обеспечения Microsoft Excel. Поиск достоверности различий между двумя средними осуществлялся с помощью критерия Стьюдента. Отличия полагались статистически значимыми при $P < 0,05$

Результаты. Результаты анализа пространственно-временных характеристик походки приведены в таблице. В группе девушек, занимающихся художественной гимнастикой, отмечено увеличение каденции $118 \pm 1,2$ ш./мин в то время как в группе сравнения данный показатель составил $109 \pm 1,3$ ш./мин. Вследствие этого также отмечено уменьшение длины шага $0,56 \pm 0,022$ м у гимнасток и $0,63 \pm 0,025$ – у девушек, не занимающихся спортом. Суще-

Пространственно-временные характеристики походки у 12–14-летних девушек-гимнасток и девушек, не занимающихся спортом
Spatio-temporal characteristics of gait in female gymnasts and non-athletes, ages 12–14

	Каденция (ш./мин) Cadence (step/min)	Двойная поддержка (с) Double support (s)	Одиночная поддержка (с) Single support (s)	Длина шага (м) Step length (m)	Ширина шага (м) Step width (m)	Время шага (с) Step time (c)	Скорость походки (м/с) Speed (m/s)
Группа сравнения Control group	$109 \pm 1,3$	$0,20 \pm 0,057$	$0,45 \pm 0,018$	$0,63 \pm 0,025$	$0,14 \pm 0,024$	$1,11 \pm 0,041$	$1,14 \pm 0,069$
Группа гимнасток Athletes	$118 \pm 1,2$	$0,18 \pm 0,017$	$0,41 \pm 0,019$	$0,56 \pm 0,022$	$0,12 \pm 0,028$	$1,02 \pm 0,043$	$1,11 \pm 0,078$

ственных различий в параметрах времени двойной и одиночной поддержки, ширины и времени шага, скорости походки не выявлено.

Были проанализированы угловые перемещения в голеностопном суставе в цикле шага согласно схеме, разработанной ранее [2]. У девушек, занимающихся художественной гимнастикой, выявлены изменения в угловых перемещениях сегментов нижней конечности в голеностопном суставе во всех трех плоскостях, значительное увеличение угла супинации в левом голеностопном суставе на протяжении всего шагового цикла (рис. 1). В фазе переноса пик супинации составил в контрольной группе $5,57 \pm 0,24^\circ$, в группе гимнасток – $20,9 \pm 0,27^\circ$.

В фазе опоры слева у девушек, занимающихся гимнастикой, выявлено значительное увеличение амплитуды дорсоплантарного сгибания стопы в голеностопном суставе (в контрольной группе $19,2 \pm 0,25^\circ$, в группе сравнения $29,4 \pm 0,32^\circ$) (рис. 2).

В течение всего шагового цикла в группе гимнасток наблюдалось увеличение угла отведения левой стопы $3,33 \pm 0,24^\circ$, в группе сравнения этот показатель составил $7,11 \pm 0,27^\circ$.

Проанализировав угловые перемещения сегментов конечности в коленном суставе, мы пришли к следующим выводам. Сгибание и

разгибание в коленном суставе у девушек в группе гимнасток находится в пределах нормы. В группе девушек-гимнасток слева зафиксировано преждевременное наступление пика наружной ротации большеберцовой кости в цикле шага. Также у гимнасток слева отмечено увеличение вальгусной позиции на протяжении всего цикла шага $42,2 \pm 0,27^\circ$, тогда как у девушек, не занимающихся спортом, этот показатель составил $17,4 \pm 0,31^\circ$. Справа выявлены признаки увеличения вальгусной позиции, которые можно объяснить компенсаторным механизмом – копированием здоровой конечностью изменений больной (рис. 3).

При анализе угловых перемещений конечности в тазобедренном суставе выявлены следующие показатели. Выраженных отклонений в сгибании/разгибании в этом суставе в группе гимнасток относительно группы сравнения не обнаружено. В фазе опоры в группе девушек, занимающихся художественной гимнастикой, отмечается значительное увеличение угла приведения конечности в фазе опоры, а в фазе переноса уменьшение угла ее отведения в тазобедренном суставе по сравнению с нормативными параметрами. Также наблюдается увеличение угла наружной ротации слева: в группе сравнения в пике фазы

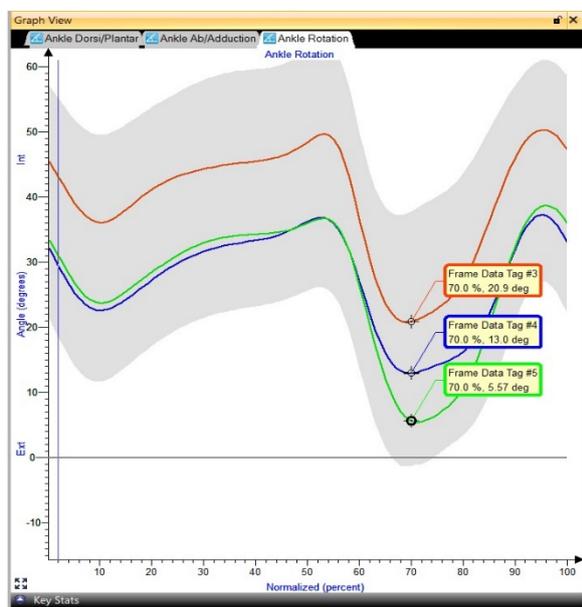


Рис. 1. График ротационных перемещений голеностопного сустава: *синяя линия – гимнастки, красная линия – левая нога, зеленая линия – правая нога

Fig. 1. Rotational movements of the ankle joint: *blue line – control group, red line – left leg, green line – right leg

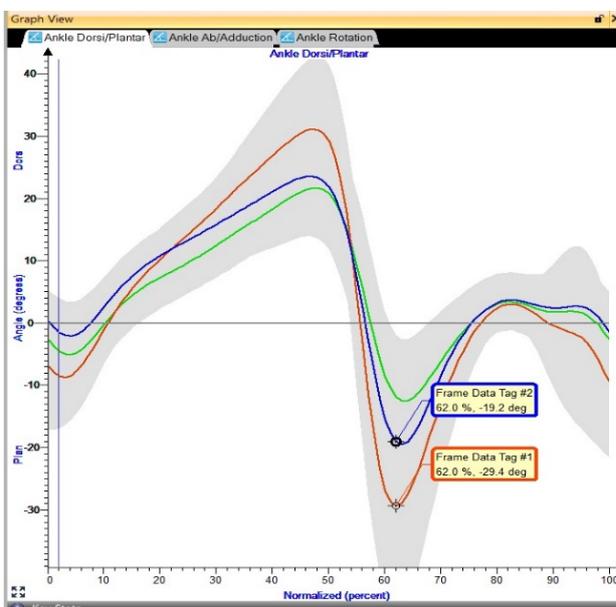


Рис. 2. График дорсального/плантарного сгибания голеностопного сустава: *синяя линия – группа сравнения, красная линия – левая нога, зеленая линия – правая нога

Fig. 2. Dorsal/plantar flexion of the ankle joint: *blue line – control group, red line – left leg, green line – right leg

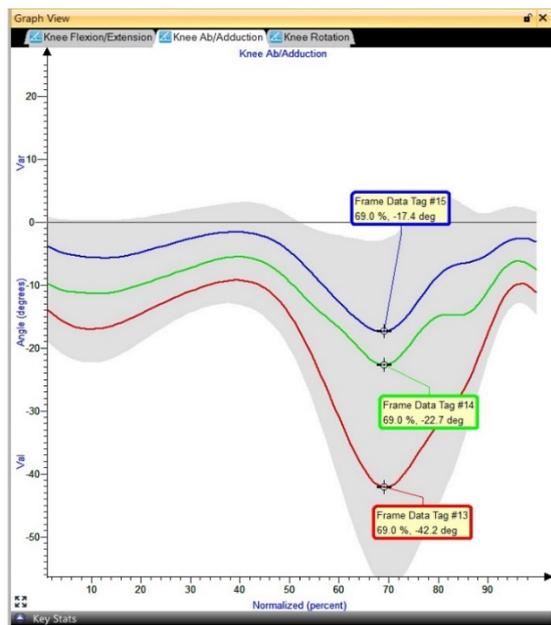


Рис. 3. График угловых перемещений коленного сустава во фронтальной плоскости: *синяя линия – группа сравнения, красная линия – левая нога, зеленая линия – правая нога
 Fig. 3. Angular movements of the knee joint in the frontal plane: *blue line – control group, red line – left leg, green line – right leg

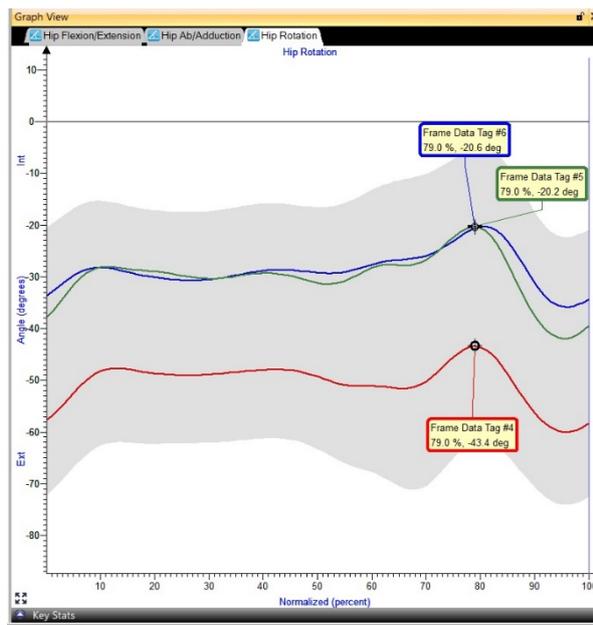


Рис. 4. График ротационных движений тазобедренного сустава во фронтальной плоскости: *синяя линия – группа сравнения, красная линия – левая нога, зеленая линия – правая нога
 Fig. 4. Rotational movements of the hip joint in the frontal plane: *blue line – control group, red line – left leg, green line – right leg

переноса он составил $20,6 \pm 0,29^\circ$, в группе гимнасток – $43,4 \pm 0,38^\circ$ (рис. 4).

Заключение. Травмы голеностопного сустава в художественной гимнастике занимают одно из первых мест среди острых травм, чаще всего встречаются растяжения связок при инверсии стопы внутрь, повреждение заднего большеберцового сухожилия, разрывы ахиллова сухожилия, а также переломы в области лодыжки [9].

Выявленное нами увеличение угла супинации стопы в голеностопном суставе часто приводит к растяжению передней таранно-малоберцовой и пяточной малоберцовой связок. Осложнением при этом может быть рецидивирующий подвывих малоберцовых сухожилий [6]. Вероятнее всего, острые повреждения стоп происходят от постоянной прыжковой нагрузки и частоты приземлений после выполнения упражнений на опорную поверхность. Прыжки занимают порядка 50 % времени от всего упражнения в соревновательной практике гимнасток [5].

Коленный сустав является вторым наиболее травмируемым суставом в художественной гимнастике. Так, Z. Kerr с соавт. обнаружили, что на колено приходится наибольшая доля самых тяжелых травм, требующих хи-

рургического вмешательства [11]. Отмеченное нами увеличение вальгусной позиции коленного сустава на протяжении всего цикла шага также, вероятнее всего, связано с нагрузкой на него при выполнении отдельных элементов, например, таких как grand jete, и может привести к повышенному риску травмы этого сустава. Зарегистрированное в процессе проведения исследования увеличение угла отведения левой стопы объясняет увеличение угла наружной ротации тазобедренного сустава.

Хронические травмы гимнасток чаще всего представлены усталостными повреждениями в форме тендинита, воспалениями других мягких тканей и усталостных переломов [7]. Их часто называют термином «колено прыгуна», так как возникают они вследствие продолжительных тренировок, многочисленных прыжков и приземлений, после таких микро травм спортсмены не успевают восстанавливаться, и в итоге это приводит к воспалению и дегенерации тканей связок.

У девушек-гимнасток выявлены следующие изменения в пространственно-временных характеристиках походки: увеличение каденции $118 \pm 1,2$ ш./мин и уменьшение длины шага $0,56 \pm 0,022$ м. В угловых перемещениях

суставов нижних конечностей отмечены изменения: в голеностопном суставе – увеличение угла супинации на протяжении всего шагового цикла, увеличение амплитуды дорсо-плантарного сгибания, увеличение угла отведения стопы; в коленном суставе – увеличение вальгусной позиции на протяжении всего цикла шага; в тазобедренном суставе – увеличение угла приведения в фазе опоры, а в фазе переноса – уменьшение угла отведения тазобедренного сустава.

Применение системы трехмерного видеоанализа данных может способствовать развитию стратегии профилактики травматизма среди гимнасток, основанной на биомеханическом анализе состояния опорно-двигательного аппарата. Такие исследования помогут снизить частоту и тяжесть спортивных травм путем количественной оценки воздействия факторов риска и выявления механизмов травматизма, а также оптимизацией тренировочного процесса.

Список литературы

1. Бикчурун, Н.М. Травмы и заболевания у юных спортсменов, занимающихся художественной гимнастикой / Н.М. Бикчурун, Ф.В. Ахавиева // *Наука и спорт: современные тенденции.* – 2018. – № 4, Т. 21. – С. 6–10.
2. Воронцова, О.И. Структура шагового цикла по данным анализа кинетических и кинематических параметров походки человека / О.И. Воронцова, М.В. Лозовская // *Вестник новых мед. технологий.* – 2017. – № 3. – С. 120–125.
3. Инновационный подход к профилактике травматизма при освоении прыжков в художественной гимнастике / Е.Н. Медведева, Р.Б. Цаллагова, А.А. Супрун, Е.Б. Котельникова // *Ученые записки ун-та им. П.Ф. Лесгафта.* – 2016. – № 4 (134). – С. 160–163.
4. Козлова, А.Э. Механизмы и причины спортивных травм у юных гимнасток / А.Э. Козлова // *Спорт. Олимпизм. Гуманизм: межвуз. сб. науч. тр., посвящ. 65-летию образования СГАФКСТ и 25-летию Олимп. академии (Запада России) / под ред. Г.Н. Греца, К.Н. Ефременкова.* – Смоленск, 2015. – Вып. 13. – С. 83–88.
5. Куценко, Ю.Е. Применение упражнений для развития прыгучести в группах начальной подготовки в художественной гимнастике / Ю.Е. Куценко, Л.В. Тарасова // *Вестник спортив. науки.* – 2015. – № 5 – С. 26–28.
6. Травмы в художественной гимнастике // *Спортив. медицина.* – <https://www.sportmedicine.ru/rhythmic-gymnastics.php> (дата обращения: 21.03.2022).
7. Янкин, А.В. Антология стрессовых переломов / А.В. Янкин, Г.А. Краснояров, П.С. Маркевич // *Бюл. Вост.-Сибир. науч. центра Сибир. отд-ния Рос. Акад. наук.* – 2012. – № 2 (84). – Ч. 2 – С. 148–151.
8. *Epidemiology of national collegiate athletic association women's gymnastics injuries, 2009-2010 through 2013-2014 / Y. Kerr, R. Hayden, M. Barr et al. // Journal of Athletic Training.* – 2015. – Vol. 50. – P. 870–878. DOI: 10.4085/1062-6050-50.7.02
9. *Freddie, H.Fu. Sports injuries: Mechanisms, prevention, treatment / H. Fu. Freddie, A. David, M.D. Stone. – Dutch: Lippincott, Williams & Wilkins, 1994. – 1040 p.*
10. *Gymnastics injury incidence during the 2008, 2012 and 2016 Olympic Games: analysis of prospectively collected surveillance data from 963 registered gymnasts during Olympic Games / P. Edouard, K. Steffen, A. Junge et al. // British Journal of Sports Medicine.* – 2018. – Vol. 52. – P. 475–481. DOI: 10.1136/bjsports-2017-097972
11. *Injury survey in competitive sub-elite rhythmic gymnasts: results from a prospective controlled study / A. Cupisti, C. D'alessandro, I. Evangelisti et al. // Journal of Sports Medicine and Physical Fitness.* – 2007. – Vol. 47, № 2. – P. 203–207.
12. *Musculoskeletal pain in gymnasts: a retrospective analysis on a cohort of professional athletes / G. Fari, F. Fischetti, A. Zonno et al. // International Journal of Environmental Research and Public Health.* – 2021. – Vol. 18, №10. – P. 54–60. doi: 10.3390/ijerph18105460
13. *Peak sagittal plane spine kinematics in female gymnasts with and without a history of low back pain / R. Pimentel, M.N. Potter, J.J. Carollo et al. // Clinical Biomechanics.* – 2020. – Vol. 76. – P. 105–119. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2020.105019
14. *Roberts, K. Spine injuries in rhythmic gymnastics / K. Roberts // Sports Health.* – 2009. – Vol. 27. – № 3. – P. 27–29.

15. The young injured gymnast: a literature review and discussion / E. Hart, W.P. Meehan, D.S. Bae et al. // *Current Sports Medicine Reports*. – 2018. – Vol. 17 (11) – P. 366–375. DOI: 10.1249/JSR.0000000000000536

References

1. Bikchurin N.M, Akhaviyeva F.V. [Injuries and Diseases in Young Athletes Engaged in Rhythmic Gymnastics]. *Nauka i sport: sovremennyye tendentsii* [Science and Sports. Current Trends], 2018, no. 4 (21), pp. 6–10. (in Russ.)
2. Vorontsova O.I., Lozovskaya M.V. [The Structure of the Gait Cycle According to the Analysis of Kinetic and Kinematic Parameters of Human Gait]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Bulletin of New Medical Technologies], 2017, no. 3, pp. 120–125. (in Russ.)
3. Medvedeva E.N., Czallagova R.B., Suprun A.A., Kotel'nikova E.B. [An Innovative Approach to Injury Prevention when Mastering Jumps in Rhythmic Gymnastics]. *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta* [Scientific notes of the P.F. Lesgaft University], 2016, no. 4 (134), pp. 160–163. (in Russ.)
4. Kozlova A.E. [Mechanisms and Causes of Sports Injuries in Young Symnasts]. *Sport. Olimpizm. Gumanizm: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov, posvyashchenny 65-letiyu obrazovaniya SGAFKST i 25-letiyu Olimpiyskoy akademii (Zapada Rossii)* [Sport. Olympism. Humanism. An Interuniversity Collection of Scientific Papers Dedicated to the 65th Anniversary of the Formation of SGAFKST and the 25th Anniversary of the Olympic Academy (West of Russia)], 2015, no. 13, pp. 83–88. (in Russ.)
5. Kutsenko Yu.E. [Application of Exercises for the Development of Jumping Ability in Groups of Initial Training in Rhythmic Gymnastics]. *Vestnik sportivnoy nauki* [Bulletin of Sports Science], 2015, no. 5, pp. 26–28. (in Russ.)
6. *Travmy v khudozhestvennoy gimnastike* [Injuries in Rhythmic Gymnastics]. Available at: <https://www.sportmedicine.ru/rhythmic-gymnastics.php> (accessed 21.03.2022).
7. Yankin A.V., Krasnoyarov G.A., Markevich P.S. [Anthology of Stress Fractures]. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy Akademii nauk* [Bulletin of the East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences], 2012, no. 2 (84), pp. 148–151. (in Russ.)
8. Kerr Y., Hayden R., Barr M. et al. Epidemiology of National Collegiate Athletic Association Women's Gymnastics Injuries, 2009–2010 Through 2013–2014. *Journal of Athletic Training*, 2015, vol. 50, pp. 870–878. DOI: 10.4085/1062-6050-50.7.02
9. Freddie H.Fu., David M.D. Stone. *Sports Injuries: Mechanisms, Prevention, Treatment*. Dutch: Lippincott, Williams & Wilkins, 1994. 1040 p.
10. Edouard P., Steffen K., Junge A. et al. Gymnastics Injury Incidence During the 2008, 2012 and 2016 Olympic Games: Analysis of Prospectively Collected Surveillance Data from 963 Registered Gymnasts During Olympic Games. *British Journal of Sports Medicine*, 2018, vol. 52, pp. 475–481. DOI: 10.1136/bjsports-2017-097972
11. Fari G., Fischetti F., Zonno A. et al. Musculoskeletal Pain in Gymnasts: a Retrospective Analysis on a Cohort of Professional Athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, vol. 18, no. 10, pp. 54–60. DOI: 10.3390/ijerph18105460
12. Cupisti A., D'Alessandro C., Evangelisti I. et al. Injury Survey in Competitive Sub-elite Rhythmic Gymnasts: Results from a Prospective Controlled Study. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 2007, vol. 47, no. 2, pp. 203–207.
13. Pimentel R., Potter M.N., Carollo J.J. et al. Peak Sagittal Plane Spine Kinematics in Female Gymnasts with and without a History of Low Back Pain. *Clinical Biomechanics*, 2020, vol. 76, pp. 105–119. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2020.105019
14. Roberts K. Spine Injuries in Rhythmic Gymnastics. *Sports Health*, 2009, vol. 27, no. 3, pp. 27–29.
15. Hart E., Meehan W.P., Bae D.S. et al. The Young Injured Gymnast: a Literature Review and Discussion. *Current Sports Medicine Reports*, 2018, vol. 17 (11), pp. 366–375. DOI: 10.1249/JSR.0000000000000536

Информация об авторах

Воронцова Ольга Ивановна, кандидат политических наук, руководитель центра коллективного пользования «Трёхмерное исследование биомеханики движений», Астраханский государственный университет, Астрахань, Россия.

Удочкина Лариса Альбертовна, доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой анатомии, Астраханский государственный медицинский университет, Астрахань, Россия.

Information about the authors

Olga I. Vorontsova, Candidate of Political Sciences, Head of the “Three-dimensional Study of Movement Biomechanics”, Astrakhan State University, Astrakhan, Russia.

Larisa A. Udochkina, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Anatomy, Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 22.08.2023

The article was submitted 22.08.2023