

УДК 796.417.5

DOI 10.5930/1994-4683-2025-135-144

Сравнительный анализ кинематических параметров отталкивания ногами при выполнении сальто вперед от твердой и упругой опоры

Семенов Денис Викторович, кандидат педагогических наук, доцент

Шляхтов Вячеслав Николаевич, кандидат педагогических наук, доцент

Стрелецкая Яна Станиславовна

Великолукская государственная академия физической культуры и спорта

Аннотация

Цель исследования – анализ кинематики фазы отталкивания ногами от разных по упругости типов опоры при выполнении сальто вперед в группировке.

Методы и организация исследования. Применяли метод видеозахвата движения с использованием трехмерной аппаратной системы «Qualisys», 8 высокоскоростных видеокамер и 16 светоотражающих маркеров, расположенных на суставах левой и правой сторон тела испытуемых. В исследовании принимали участие два мастера спорта России по спортивной гимнастике, которые выполнили по 5 попыток сальто вперед с твердой опоры и с мини-трампа.

Результаты исследования и выводы. Выявленные в ходе исследования достоверные различия в кинематике суставных угловых параметров движений и ритмической структуры фазы отталкивания ногами демонстрируют существенные отличия в проявлении скоростно-силовых способностей при выполнении сальто вперед на разных опорных поверхностях. Это в свою очередь становится предпосылкой в подборе средств тренировочных воздействий для спортсменов.

Ключевые слова: спортивная гимнастика, командная гимнастика, сальто вперед, отталкивание ногами.

Comparative analysis of the kinematic parameters of leg propulsion during forward somersaults from a solid and elastic support

Semenov Denis Viktorovich, candidate of pedagogical sciences, associate professor

Shlyakhtov Vyacheslav Nikolaevich, candidate of pedagogical sciences, associate professor

Streletskaya Yana Stanislavovna

Velikiye Luki State Academy of Physical Culture and Sports

Abstract

The purpose of the study is to analyze the kinematics of the take-off phase when performing a forward somersault in a group setting, considering different types of support with varying elasticity.

Research methods and organization. The method of motion capture was employed using the three-dimensional hardware system 'Qualisys', which consists of 8 high-speed video cameras and 16 reflective markers placed on the joints of the left and right sides of the subjects' bodies. The study involved two masters of sports in Russia in artistic gymnastics, who performed 5 attempts of forward somersaults from a solid base and from a mini-trampoline.

Research results and conclusions. The significant differences identified in the kinematics of joint angular parameters and the rhythmic structure of the take-off phase demonstrate notable variations in the expression of speed-strength abilities when performing forward somersaults on different support surfaces. This, in turn, becomes a prerequisite for selecting training methods for athletes.

Keywords: artistic gymnastics, team gymnastics, forward somersault, leg take-off.

ВВЕДЕНИЕ. Современные темпы развития спортивной гимнастики требуют высокой степени научного сопровождения учебно-тренировочного процесса. Подготовка спортсменов должна учитывать тончайшие особенности условий соревновательной деятельности, в том числе конструктивные особенности гимнастических снарядов и оборудования, поскольку от них напрямую зависит спортивный результат, выражающийся в оценке, полученной гимнастом за выступление.

Наиболее распространенными и популярными формами гимнастических упражнений являются элементы акробатики. Они включены в программу соревно-

ваний не только по спортивной гимнастике, но и в других гимнастических дисциплинах (спортивная акробатика, командная гимнастика, спортивная аэробика, прыжки на батуте и на акробатической дорожке). В этом отношении большой интерес вызывают особенности выполнения однотипных гимнастических элементов спортсменами из разных гимнастических видов спорта. Так, например, в спортивной гимнастике акробатические элементы выполняются на гимнастическом ковре, а в спортивной акробатике и командной гимнастике акробатические прыжки выполняются на акробатической дорожке, которая более упруга по сравнению с гимнастическим ковром. В парно-групповой акробатике и спортивной аэробике спортсмены выполняют упражнения, отталкиваясь ногами и руками от более твердого ковра, а в прыжках на батуте и мини-трампе отталкивание происходит в совершенно иных условиях в связи с высокой упругостью опоры данных снарядов. Различный характер взаимодействия гимнаста с опорой должен вызывать различия в технике выполнения упражнений, порой неразличимые невооруженным взглядом, но играющие важную роль в определении методики тренировки спортсменов.

Изучение кинематики акробатических элементов было объектом исследования многих отечественных и зарубежных ученых. В частности, большое внимание уделялось фазе отталкивания ногами. Так, биомеханические закономерности формирования механизма отталкивания спортсмена от упругой опоры (на примере прыжков на батуте и в воду) исследовал кандидат педагогических наук Н.В. Макаров [1]. Он выделил следующие фазы движения спортсмена при взаимодействии с сеткой батута:

- фаза амортизации, связанная со снижением высоты расположения ОЦМ тела над площадью контакта;
- фаза активных действий по деформации опоры, заканчивающаяся, как правило, после момента максимальной деформации опоры;
- фаза активных действий по созданию вращения тела, продолжающаяся до конца опорного периода.

С.А. Гаранин указывает на то, что при выполнении акробатических прыжков спортсмену необходимо учитывать упругость и эластические (рессорные) свойства снарядов (опорной поверхности батута, двойного мини-трампа, акробатической дорожки) [2]. Более того, для эффективного выполнения упражнений спортсмены специально стараются вызвать «реактивное движение» опорной поверхности снаряда или части собственного опорно-двигательного аппарата, а чаще того и другого одновременно, затем используют реакцию опоры для облегчения выполнения упражнения в соответствии с третьим законом динамики.

Однако не так много исследований посвящено сравнению кинематических параметров техники отталкивания с твердой и упругой поверхностью. В основном этой проблемой занимались иностранные исследователи. Так, М.М. Брошадо [3] (государственный университет Сан-Паулу) исследовал параметры угловой кинематики при отталкивании с разных упругих поверхностей (ковер, батут, мини-трамп), а также продолжительность фазы отталкивания. Однако автор уделит внимание только коленному и тазобедренному суставам в фазе первого соприкосновения обеих ног с поверхностью и фазе отрыва ног от опоры.

При этом, на наш взгляд, заслуживает внимания изучение кинематических параметров на протяжении всей фазы отталкивания.

Сальто вперед в группировке является одним из базовых акробатических элементов в разных спортивных видах гимнастики. По нашему предположению, отталкивание ногами от опоры разной степени упругости при выполнении сальто вперед будет иметь различия в кинематических параметрах.

Целью нашего исследования стал анализ угловой кинематики всех суставов нижних конечностей на протяжении фазы отталкивания ногами, а также ее временные характеристики.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ. Для достижения поставленной цели исследования мы провели регистрацию кинематических параметров фазы отталкивания ногами при выполнении сальто вперед с разбега с отталкиванием ногами от твердого мата, расположенного на полу, и от мини-трампа. В целях получения объективной информации о технике выполнения исследуемых гимнастических упражнений применялся метод видеонализа с использованием системы 3D видеозахвата «Qualisys».

В процессе видеосъемки были задействованы 8 высокоскоростных видеокамер. Обработка полученных данных осуществлялась автоматически в программном обеспечении «Qualisys Track Manager». Для создания кинематической модели на теле гимнаста были закреплены светоотражающие маркеры, расположенные на левой и правой сторонах его тела на антропометрических суставных точках в количестве по 7 на каждой из сторон. Таким образом, общее количество светоотражающих маркеров и соответственно кинематических точек в исследовании составило 14.

Анализу кинематики были подвергнуты показатели динамики суставных углов в голеностопных, коленных и тазобедренных суставах, а также продолжительность цикла движения при отталкивании от момента контакта ступней с опорой до момента отрыва от нее. В исследовании участвовали два гимнаста высокой квалификации (мастера спорта России). Они выполнили по пять попыток прыжка вверх с короткого разбега с отталкиванием ногами от твердой поверхности (гимнастический мат) и от мини-трампа, а затем по пять попыток сальто вперед с отталкиванием ногами от твердой поверхности (гимнастический мат) и от мини-трампа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Кинематический анализ техники отталкивания ногами при выполнении сальто с твердой опоры и с мини-трампа показал наличие различий во временных и пространственных показателях (табл. 1).

Таблица 1 – Параметры угловой кинематики при выполнении упражнений с опоры разной упругости

Упражнение	Голеностопный сустав			Коленный сустав			Тазобедренный сустав			Время отталкивания, с
	X (°)	max	min	X (°)	max	min	X (°)	max	min	
Прыжок вверх с твердой опоры	100,8	119,9	92,9	131,9	149,8	123,1	146,9	151,9	152,1	0,08
Прыжок вверх с мини-трампа	93,6	96,1	93,6	139,8	151,7	134,1	143,6	162,8	133,2	0,14
Сальто с твердой опоры	104,1	115,2	103,1	139,9	152,4	137,1	124,7	135,9	122,4	0,06
Сальто с мини-трампа	91,8	92,3	82,1	125,5	131,4	123,3	132,0	141,3	123,0	0,15

При выполнении простого прыжка вверх средняя продолжительность фазы отталкивания ногами от твердой опоры составила 0,08 с, а от мини-трампа – 0,14 с. Продолжительность фазы отталкивания ногами при выполнении сальто вперед от твердой опоры составила 0,11 с, а от мини-трампа – 0,15 с. Таким образом, было установлено, что отталкивание ногами от мини-трампа носит более продолжительный характер по сравнению с отталкиванием ногами от твердой опоры.

Амплитуда изменения углов в голеностопных суставах во время отталкивания ногами при выполнении прыжка вверх с твердой опоры составила 26,9°, что намного больше, чем на мини-трампе – 2,3°. Эта же тенденция прослеживается и в коленных суставах при выполнении данного прыжка: с твердой опоры амплитуда углов – 26,6°, с мини-трампа – 17,5°. При выполнении сальто можно наблюдать ту же закономерность в изменении кинематических параметров суставных углов на протяжении фазы отталкивания ногами: в голеностопных суставах при выполнении сальто с твердой опоры амплитуда составила 12,1°, с мини-трампа – 10,1°. В коленных суставах при выполнении сальто с твердой опоры амплитуда изменения угла составила 15,3°, с мини-трампа – 8,1°. Разница между амплитудами изменения углов в голеностопных суставах при отталкивании на сальто от опоры разной упругости не так велика, как при обычном прыжке, однако во всех случаях она меньше в упражнениях, выполняемых с мини-трампа.

Обратная тенденция прослеживается в тазобедренных суставах. Здесь амплитуда изменения углов во время отталкивания больше при выполнении упражнения от более упругой опоры. Разница между максимальным и минимальным значением тазобедренного угла при выполнении прыжка с твердой опоры равна 0,8°, а с мини-трампа – 29,6°, что значительно больше. То же можно наблюдать и при выполнении сальто: от твердой опоры амплитуда изменения угла в тазобедренном суставе составила 13,4°, от мини-трампа – 18,2°.

Таблица 2 показывает, что между средними показателями углов в голеностопных и коленных суставах при отталкивании от твердой опоры и мини-трампа существуют достоверные различия на высоком уровне значимости ($P \leq 0,01$). Между углами в тазобедренных суставах при отталкивании от опоры разной упругости тоже есть статистически значимые различия, но менее выраженные ($P \leq 0,05$).

Таблица 2 – Параметры достоверных различий в угловой кинематике при выполнении сальто вперед от твердой и упругой опоры

№ п/п	Голеностопный сустав		Коленный сустав		Тазобедренный сустав	
	Твердая опора	Мини-трамп	Твердая опора	Мини-трамп	Твердая опора	Мини-трамп
Среднее значение (X), °	104,19	91,86	139,93	125,45	124,75	132,00
Стандартное отклонение (σ)	5,31	4,80	2,13	1,69	5,05	8,48
Коэффициент вариации (V)	5,09	5,22	1,52	1,34	4,05	6,42
Ошибка среднего (M)	2,01	1,81	0,80	0,64	1,91	3,20
Критерий Стьюдента	5,03 > t(кр) = 2,88 P ≤ 0,01		15,64 > t(кр) = 2,88 P ≤ 0,01		2,11 > t(кр) = 2,10 P ≤ 0,05	

Наглядно проследить, как изменяются углы во время отталкивания при выполнении сальто с твердой опоры, можно на рисунке 1. На нем представлены три периода отталкивания одного из испытуемых, имеющего показатели углов, приближенные к средним. На рисунке видно, как уменьшаются углы в голеностопных и коленных суставах от момента контакта с опорой до её максимальной деформации, и как они значительно увеличиваются в момент отрыва от опоры.

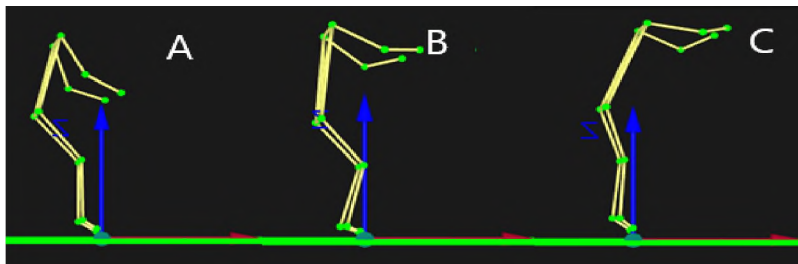


Рисунок 1 – Прохождение фаз (периодов) отталкивания при выполнении сальто с твердой опоры (А – контакт с опорой, В – фаза максимальной деформации опоры, С – отрыв от опоры)

На рисунке 2 представлена попытка того же испытуемого при выполнении сальто вперед от мини-трампа. Здесь амплитуда изменений углов прослеживается не так явно, как при отталкивании от твердой опоры, однако в фазе максимальной деформации видно, как уменьшился угол в голеностопном суставе, а во время отрыва от опоры голеностопный и коленный углы вновь увеличились.

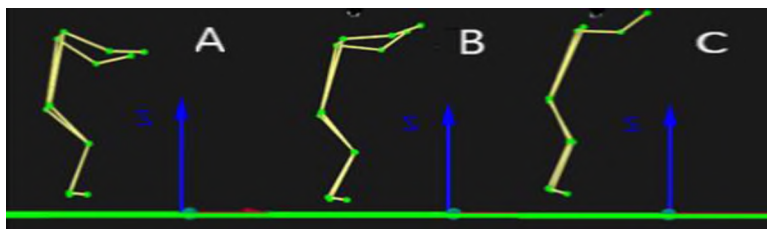


Рисунок 2 – Прохождение фаз отталкивания при выполнении сальто с мини-трампа (А – контакт с опорой, В – фаза максимальной деформации опоры, С – отрыв от опоры)

Сравнивая рисунки 1 и 2, можно ещё раз убедиться, что при отталкивании ногами с мини-трампа углы в голеностопных и коленных суставах меньше, чем при отталкивании ногами от твердой опоры, а в тазобедренных – наоборот, больше. Так, на рисунке 1 углы более развернутые, особенно в фазах А и В, а на рисунке 2 эти же углы намного острее. В тазобедренных суставах углы, наоборот, более острые на рисунке 1 (при отталкивании с твердой опоры), чем на рисунке 2 (с мини-трампа).

На рисунке 3 представлен график динамики изменения угловых параметров в голеностопном суставе в фазе отталкивания ногами при выполнении сальто вперед с твердой опоры. Видно, как быстро происходит процесс максимальной деформации опоры от момента контакта с ней (АВ), при этом вторая фаза (ВС) по использованию реакции опоры более длительна. Время отталкивания – 0,053 с. Соотношение периодов отталкивания по времени АВ/ВС = 0,01 с / 0,04 с (19% / 81%).

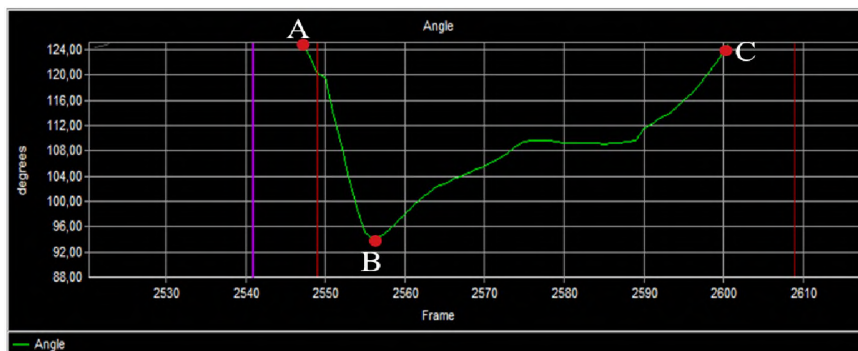


Рисунок 3 – График динамики угловых параметров в голеностопном суставе на протяжении фазы отталкивания ногами при выполнении сальто вперед с твердой опоры

Отталкивание ногами от мини-трампа (рис. 4) отличается более плавным изменением угловых показателей в голеностопном суставе. По сравнению с отталкиванием от твердой опоры, нет резкого перепада угловых параметров от одного периода (AB) фазы отталкивания к другому (BC), то есть само движение более размеренное. Время отталкивания – 0,06 с; соотношение периодов отталкивания $AB/BC = 0,03 \text{ с} / 0,03 \text{ с}$ (50% / 50%).

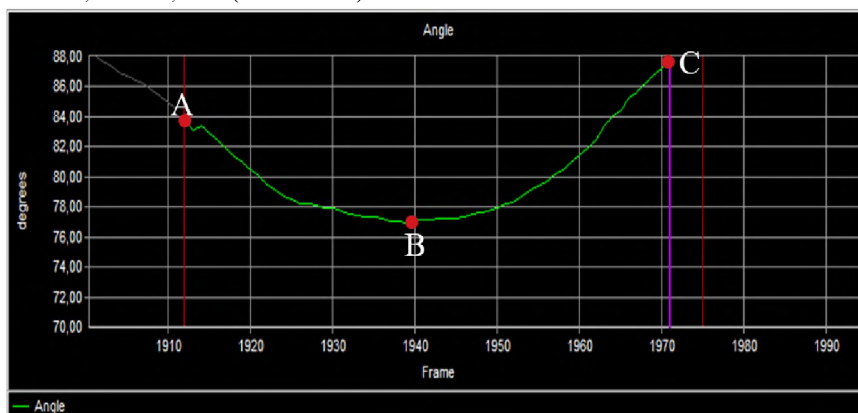


Рисунок 4 – График динамики угловых параметров в голеностопном суставе на протяжении фазы отталкивания ногами при выполнении сальто вперед с мини-трампа

Помимо внутрифазовой структуры отталкивания ногами, интерес вызывает влияние динамики угловой кинематики голеностопных суставов в фазе отталкивания на высоту полетной фазы при выполнении сальто вперед.

В ходе проведенного анализа было выявлено, что чем меньше угол в голеностопном суставе в момент максимальной деформации твердой опоры, тем больше высота ОЦМ тела в верхней точке полетной фазы сальто (рис. 5). При этом наиболее оптимальные кинематические параметры прослеживались во второй попытке, в третьей они резко снижались и в последующих попытках изменялись незначительно.

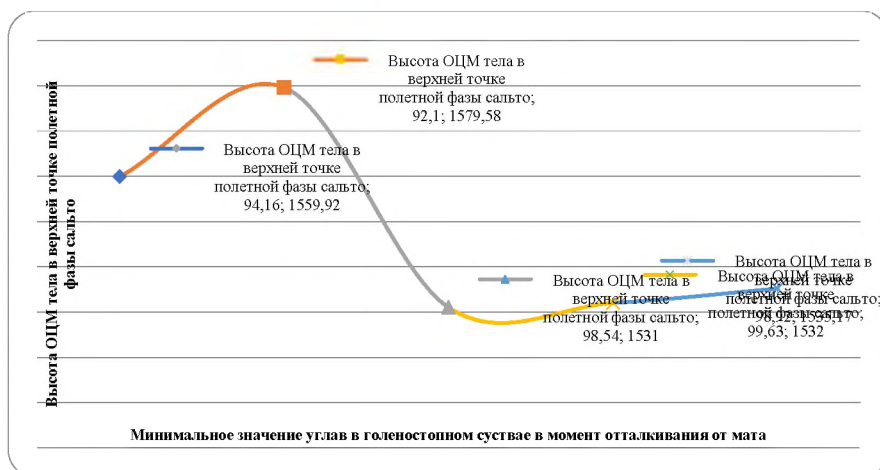


Рисунок 5 – Взаимосвязь угловых характеристик в голеностопном суставе с высотой ОЦМ тела в верхней точке полетной фазы при выполнении сальто вперед с твердой опоры

При выполнении сальто вперед с мини-трампа прослеживалась та же закономерность: чем меньше угол в момент максимальной деформации опоры, тем выше ОЦМ тела в верхней точке полетной фазы (рис. 6). Однако от попытки к попытке происходит улучшение качества исполнения сальто, выражающееся в более оптимальных кинематических параметрах по сравнению с отталкиванием от твердой опоры.

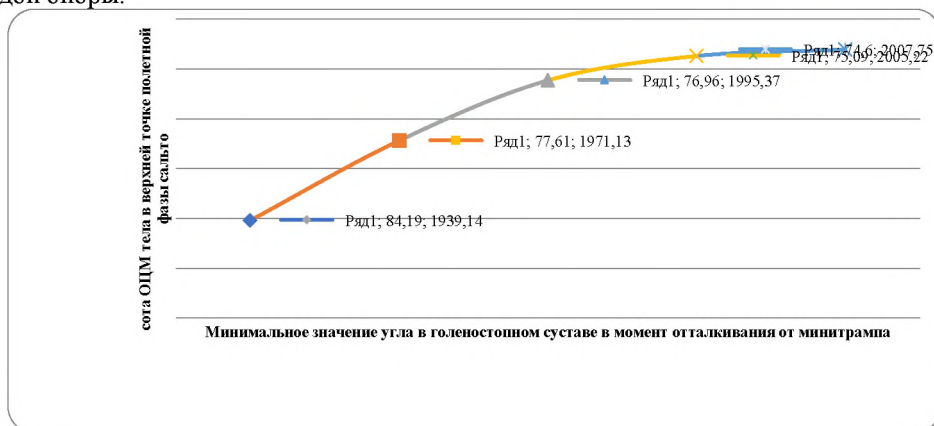


Рисунок 6 – Взаимосвязь угловых характеристик в голеностопном суставе с высотой ОЦМ тела в верхней точке полетной фазы при выполнении сальто вперед с мини-трампа

Установлено, что между высотой ОЦМ тела в верхней точке полетной фазы при выполнении сальто вперед и углами в голеностопных суставах имеется очень высокая отрицательная статистически значимая зависимость, что представлено в таблице 3.

Результаты нашего исследования согласуются с данными, полученными в исследовании Брошадло [3], в общей тенденции к уменьшению углов в коленных и голеностопных суставах по мере увеличения упругости опорной поверхности.

Таблица 3 – Значение коэффициента корреляции между высотой ОЦМ в верхней точке полетной фазы сальто и углом в голеностопных суставах

№ попытки	Сальто с твердой опоры		Сальто с мини-трампа	
	Высота ОЦМ в полетной фазе в мм	Угол	Высота ОЦМ в полетной фазе в мм	Угол
1	1559,92	94,16	1939,14	109,93
2	1579,58	92,1	1971,13	109,88
3	1531,02	98,54	1995,37	109,15
4	1532,01	99,63	2005,22	108,86
5	1535,17	98,92	2007,75	108,24
Коэффициент корреляции	-0,98		-0,88	

Однако нами было замечено, что угол в тазобедренном суставе в фазе отталкивания при выполнении сальто вперед от мини-трампа больше по сравнению с фазой отталкивания в сальто от твердой опоры во всех попытках.

Согласно полученным результатам, время фазы отталкивания от пола в нашем исследовании в среднем составляет 0,115 с, а от мини-трампа – 0,156 с. В исследовании Брошадэ эти показатели составили 0,117 с при отталкивании от гимнастического ковра и 0,183 с от мини-трампа. Незначительное отличие во времени от нашего исследования можно объяснить разницей в условиях отталкивания, которые были описаны ранее. Но все же прослеживается общая закономерность: чем более упругая опора, тем больше время отталкивания.

В 2010 году Аль-Бешлави [4] исследовал кинематику техники выполнения сальто вперед прогнувшись в комбинации и одиночном исполнении. Автором было установлено, что время выполнения сальто в комбинации в среднем составляет 0,09 с, а время выполнения одиночного сальто существенно больше – 1,04 с.

Согласно механическому соотношению сокращения силы в мышечных волокнах, если продолжительность сокращения мышцы меньше оптимального значения, мышца не достигнет максимальной силовой производительности. Аналогично, если продолжительность сокращения мышцы превышает оптимальное значение, мышца также не будет производить максимальную силу. Следовательно, время отталкивания должно быть оптимальным [4].

По результатам исследования Захра Хорри [5], изучавшего кинематику фазы отталкивания при выполнении сальто, установлено, что за счет увеличения углов суставов нижних конечностей и сокращения продолжительности фазы отталкивания спортсмены демонстрировали лучшие результаты. В нашем исследовании проявляется тенденция к увеличению углов от попытки к попытке и уменьшению времени отталкивания, что согласуется с результатами проведенных ранее исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В ходе проведенного исследования были установлены существенные различия в кинематике фазы отталкивания ногами при выполнении сальто вперед на твердой и упругой опоре. Получены достоверные данные, свидетельствующие о том, что при отталкивании ногами от упругой опоры движение выполняется более амплитудно и продолжительно по времени, по сравнению с отталкиванием от твердой опоры. Отталкивание от упругой опоры характеризуется более плавным ритмическим рисунком по сравнению с твердой опорой. Кроме этого, осо-

бенности применения мини-трампа сказываются на показателях угловой кинематики в тазобедренных и коленных суставах, что вызвано отличным от техники выполнения сальто вперед на ковре углом атаки снаряда. Данные особенности, безусловно, необходимо учитывать при обучении гимнастов и при подборе средств тренировочных воздействий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Макаров Н. В. Биомеханические закономерности формирования механизма отталкивания спортсмена от упругой опоры (на примере прыжков на батуте и в воду) : диссертация ... кандидата педагогических наук : 13.00.04. Ленинград, 1982. 202 с. EDN: NPDCOH
2. Гаранин С. А. Прыжки на батуте. 2-е изд., перераб. и доп. Владивосток : Издательство Дальневосточного федерального университета, 2023. 191 с.
3. Брошад М. М., Брошад Ф. А. Различия в фазе отталкивания при выполнении сальто вперед в вольных упражнениях и на различных трамплинах // 20 международный симпозиум по спортивной биомеханике. Касерес (Испания), 2002. С. 161.
4. Mohammed Hassan Al-Beshlawi. Dynamics of Performing Front Somersault (Straight) Individually and Within Kinetic Routines of Floor Exercises // *World Journal of Sport Sciences*. 2010. Vol. 3, No S. P. 42–48.
5. Kinematics of take-of phase in successful and unsuccessful performances of gymnastic somersault: an experimental study / Horri Z., Lenjannejadian Sh., Boroujeni M.R., Farazin A. // *Sport Sciences for Health*. 2022. Vol. 18, No 1. P. 219–225.

REFERENCES

1. Makarov N. V. (1982), “Biomechanical patterns of formation of the mechanism of repulsion of an athlete from an elastic support (on the example of trampolining and diving)”, dissertation... Candidate of Pedagogical Sciences, 13.00.04, Leningrad, 202 p.
2. Garanin S. A. (2023), “Trampolining”, 2nd ed., revised. and additional, Vladivostok, Publishing House of the Far Eastern Federal University, 191 p.
3. Brochado M. M. V., Brochado F. A. (2002), “Differences at the impulse phase for the front somersault on floor exercise and on different trampolines”, *20 International Symposium on Biomechanics in Sports*, Cáceres, Spain, pp. 161.
4. Mohammed Hassan Al-Beshlawi (2010), “Dynamics of Performing Front Somersault (Straight) Individually and Within Kinetic Routines of Floor Exercises”, *World Journal of Sport Sciences*, Vol. 3 (S), pp. 42–48.
5. Horri Z., Lenjannejadian Sh., Boroujeni M.R., Farazin A. (2022), “Kinematics of take-of phase in successful and unsuccessful performances of gymnastic somersault: an experimental study”, *Sport Sciences for Health*, Vol. 18 (1), pp. 219–225.

Информация об авторах:

Семенов Д.В., заведующий кафедрой теории и методики гимнастики.

Шляхтов В.Н., доцент кафедры теории и методики гимнастики.

Стрелецкая Я.С.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.02.2025.

Принята к публикации 01.04.2025.