

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРЫЖКОВ НА БАТУТЕ И ГРУНТЕ

*М.Н. МАРТЫНОВА, О.Б. НЕМЦЕВ,
АГУ, г. Майкоп, Республика Адыгея, Россия*

Аннотация

Сравнение кинематических характеристик прыжков на батуте и грунте было целью данного исследования. 13 молодых женщин (возраст: $19,5 \pm 1,8$ года; рост: $1,65 \pm 0,07$ м; вес $55,4 \pm 8,9$ кг) и 18 мужчин (возраст: $19,4 \pm 1,2$ года; рост: $1,81 \pm 0,10$ м; вес: $75,4 \pm 11,3$ кг) выполняли по 10 субъективно низких и высоких серийных прыжков на батуте и грунте. Сравнение характеристик в одном из каждого вида прыжков проводилось при помощи многомерного дисперсионного анализа и пост-хок теста Тьюки. Было установлено, что низкие и высокие прыжки на батуте отличаются достоверно большими, чем в прыжках на грунте, углами в голеностопном и коленном суставах в момент низшего положения общего центра масс тела ($p = 0,000$ во всех случаях). В прыжках на батуте зафиксированы достоверно меньшие амплитуды движений в голеностопном (p – от $0,000$ до $0,008$) и коленном ($p = 0,000$) суставах и скорости изменения углов в этих суставах (p – от $0,000$ до $0,001$) в фазах амортизации и отталкивания. В прыжках на батуте длительность фаз амортизации и отталкивания оказалась достоверно больше и в низких, и в высоких прыжках ($p = 0,000$ во всех случаях). Результаты исследования позволяют обоснованно оценивать место прыжковых упражнений на упругой опоре при развитии двигательных способностей в физическом воспитании и спортивной тренировке.

Ключевые слова: упругая деформация, амортизация, отталкивание, голеностопный и коленный суставы, угол, амплитуда движения, угловая скорость.

BIOMECHANICAL FEATURES OF TRAMPOLINE AND GROUND JUMPING

*M.N. MARTYNOVA, O.B. NEMTSEV,
FSBEI HE "ASU", Maykop city,
Republic of Adygea, Russia*

Abstract

The purpose of the study was to compare the kinematic characteristics of jumping on a trampoline and on the ground. 13 young women (age 19.5 ± 1.8 years, height 1.65 ± 0.07 m, weight 55.4 ± 8.9 kg) and 18 men (age 19.4 ± 1.2 years, height 1.81 ± 0.10 m, weight 75.4 ± 11.3 kg) performed 10 subjectively low and high serial jumps on a trampoline and on the ground. Comparisons of characteristics in one of each jump event were performed using multivariate analysis of variance and Tukey's post hoc test. It was found that low and high jumps on a trampoline are distinguished by significantly greater angles in the ankle and knee joints than in jumps on the ground at the moment of the lowest position of the center of mass of the human body (p in all cases = 0.000). When jumping on a trampoline, significantly lower amplitudes of movements were recorded in the ankle (p – from 0.000 to 0.008) and knee ($p = 0.000$) joints and the speed of change of angles in these joints (p – from 0.000 to 0.001) in the braking and propulsion phases. In trampoline jumping, the duration of the braking and propulsion phases turned out to be significantly longer in both low and high jumps ($p = 0.000$ in all cases). The results of the study allow to reasonably evaluate the place of jumping exercises on an elastic support in the development of motor abilities in physical education and sports training.

Keywords: elastic deformation, amortization, repulsion, ankle and knee joints, angle, amplitude of motion, angular velocity.

Введение

Прыжковые упражнения на батуте часто используются с целью развития различных двигательных способностей в физическом воспитании и спортивной тренировке. В то же время эффекты от занятий на батуте, описанные в разных исследованиях, отличаются. Так, было установлено, что тренировка на мини-батуте в течение восьми недель является существенно более эффективной, чем беговая тренировка в развитии прыгучести в прыжке

вверх и повышении максимального потребления кислорода [1]. При развитии прыгучести у баскетболисток была показана эффективность пятидневной программы прыжков на батуте: за это время было отмечено не только увеличение высоты прыжка вверх с места на грунте, но и координированности – у испытуемых достоверно уменьшилось перемещение вперед в прыжке [2]. Однако в ряде исследований не наблюдалось эффекта



от применения прыжков на батуте. Например, было показано, что введение в тренировку бегунов-спринтеров в течение четырёх недель прыжков на батуте не позволило значительно улучшить результат в прыжке в длину с места и превзойти контрольную группу в беге на 50 м [3]. Более того, авторами отмечается, что в группе, применявшей прыжки на батуте, достоверно снизилась высота прыжка вверх с места. Другие исследователи после применения 6-недельной прыжковой тренировки на батуте не наблюдали существенного роста высоты прыжка вверх с места у баскетболистов 17–21 года [4]. Наконец, было установлено отсутствие срочного эффекта от выполнения прыжков на батуте: шесть максимально высоких прыжков на батуте не оказали значимого влияния на высоту последующих прыжков в высоту с места на грунте [5].

При выполнении прыжков на батуте часть энергии падающего тела при деформации опоры аккумулируется в ней и затем рекуперирована. Имеются исследования, рассматривающие, как это отражается на кинематических характеристиках прыжка [6]. Однако в настоящее время изучены различия прыжков (прыжка вверх с места и со спрыгиванием и отскоком) на деформируемой и недеформируемой опоре лишь с максимально возможной высотой; при этом сравнивались только величины углов суставов нижних конечностей [6]. Такие характеристики, как угловые амплитуда и скорость изменения углов в суставах нижних конечностей в различные периоды прыжкового движения на упругой и недеформируемой опоре, а также длительность этих периодов не сравнивались. Это не позволяет, с одной стороны, обоснованно оценивать имеющиеся в литературе данные о примерах успешного и неуспешного развития прыгучести в прыжках на грунте при помощи прыжковых упражнений на батуте; с другой стороны, аргументированно определить место прыжков на батуте при развитии других двигательных способностей. В связи с этим целью исследования являлось сравнение кинематических характеристик прыжков на батуте и грунте.

Методы исследования

Для выявления специфики прыжков на батуте и грунте был проведён эксперимент, в котором приняли участие 13 женщин (возраст: $19,5 \pm 1,8$ года, рост: $1,65 \pm 0,07$ м, вес: $55,4 \pm 8,9$ кг) и 18 мужчин (возраст: $19,4 \pm 1,2$ года, рост: $1,81 \pm 0,10$ м, вес: $75,4 \pm 11,3$ кг). Каждый испытуемый выполнял: по 10 «низких», затем «высоких» повторных (один за другим без паузы) прыжков на мини-батуте (Vlaken JZ-005-SL, Китай) и столько же «низких» и «высоких» прыжков на грунте (на синтетической дорожке стадиона). Испытуемому предлагалось выполнять «низкие» прыжки на батуте и грунте так, чтобы наблюдалась выраженная фаза полёта, и ему было бы субъективно комфортно. При выполнении «высоких» прыжков испытуемому предлагалось прыгать несколько выше, чем в «низких» прыжках, не достигая при этом максимальных усилий. 16 испытуемых выполняли сначала низкие и высокие прыжки на батуте, затем на грунте, другие 15 испытуемых – в обратном порядке. Порядок выполнения прыжков каждым испытуемым определялся случайно. Учитывались кинематические характери-

ки одного прыжка (с 3-го по 8-й) каждого из четырёх видов: на батуте «низко» и «высоко», на грунте «низко» и «высоко». Выбор конкретного прыжка для изучения проводился на основе первичного анализа видеозаписи при отсутствии видимых нарушений координации движений.

Для определения кинематических характеристик прыжков использовался двумерный видеоанализ. Видео-съемка проводилась при помощи видеокамеры Casio EX-ZR700, которая устанавливалась с правой стороны от испытуемого в 20 м от него. При этом оптическая ось камеры была перпендикулярна сагиттальной плоскости испытуемого. Скорость съёмки – 240 кадров/с. При помощи программы Kinovea – 0.9.5 определялись следующие кинематические характеристики: углы голеностопного, коленного и тазобедренного суставов в моменты касания опоры, низшего положения общего центра масс тела (ОЦМТ) и отрыва от опоры; время от касания опоры до достижения низшего положения ОЦМТ (фаза амортизации) и от низшего положения ОЦМТ до отрыва от опоры (фаза отталкивания); общее время контакта с опорой; высота прыжка по разнице расстояний от ОЦМТ до опоры (в прыжках на батуте – недеформированной), в основной стойке (пятки вместе, носки врозь, руки вдоль туловища, взгляд прямо вперёд) и высшей точке прыжка. Затем рассчитывались угловые амплитуды и средние скорости изменения углов в суставах в фазах амортизации и отталкивания.

Оценка распределения полученных данных при помощи критерия Шапиро-Уилка позволила считать его близким к нормальному во всех случаях (p – от 0,081 до 0,802), что дало основания для применения методов параметрической статистики. В качестве характеристики положения рассматриваемых в исследовании выборок использовалось среднее арифметическое, в качестве характеристики рассеивания – стандартное отклонение (эти данные представлены на рис. 1 и 2, в табл. 1 и 2 и в тексте). Для оценки корректности совместного или отдельного рассмотрения показателей женщин и мужчин, принявших участие в исследовании, учитывая возможную корреляцию между многими рассматриваемыми пространственными, временными и пространственно-временными характеристиками, применялся многомерный дисперсионный анализ для следующих массивов данных: 1) низких прыжков женщин и мужчин на батуте; 2) высоких прыжков женщин и мужчин на батуте; 3) низких прыжков женщин и мужчин на грунте; 4) высоких прыжков женщин и мужчин на грунте. При этом в качестве постоянного фактора рассматривался пол испытуемых. Оценка различий показателей у женщин и мужчин по рассматриваемым массивам данных проводилась по критерию «След Пиллая». Полученные результаты ($p = 0,268, 0,375, 0,284$ и $0,083$) позволили заключить, что нет оснований считать достоверными различия рассматриваемых характеристик у женщин и мужчин. Поэтому далее выполнялся многомерный дисперсионный анализ для приведённых выше массивов данных для общих выборок женщин и мужчин, но в качестве постоянного фактора учитывался вид прыжка: 1) на батуте низкий, 2) на батуте высокий,



3) на грунте низкий, 4) на грунте высокий. Различия показателей в названных группах в целом оценивались по критерию «След Пиллая». Для попарного сравнения исследуемых характеристик использовался пост-хок тест Тьюки.

Результаты исследования и их обсуждение

В начале обсуждения полученных результатов отметим, что испытуемые выполнили задание по увеличению высоты прыжка как на батуте ($0,12 \pm 0,05$ и $0,24 \pm 0,07$ м, $p = 0,000$), так и на грунте ($0,16 \pm 0,03$ и $0,28 \pm 0,05$ м, $p = 0,000$). Сравнение кинематических характеристик прыжков на батуте и грунте позволяет заключить, что они имеют ярко выраженные отличия. Так, на рис. 1 видно, что в низких прыжках угол голеностопного сустава был достоверно больше в прыжках на грунте в моменты касания и отрыва от опоры, а в момент низшего положения ОЦМТ этот угол был достоверно больше в прыжках на батуте.

Угол коленного сустава не имел достоверных различий в моменты касания и отрыва от опоры в низких прыжках на батуте и грунте, в момент же низшего положения ОЦМТ в прыжках на грунте коленный сустав сгибался достоверно больше. В целом эти различия можно объяснить использованием испытуемыми энергии упругой деформации батута и более активным отталкиванием на грунте. В момент перехода от амортизации к отталкиванию достоверно более выраженное сгибание коленного сустава, а также меньший угол голеностопного сустава на грунте наблюдались и в высоких прыжках (рис. 1). Достоверные различия угла голеностопного сустава при переходе от амортизации к отталкиванию в прыжках разной высоты на батуте и грунте могут быть также обусловлены невозможностью опускания носка ниже твердой опоры. Меньше различий обнаружено в величинах угла тазобедренного сустава, однако в момент низшего положения ОЦМТ в высоких прыжках

на грунте ($161,3 \pm 7,6^\circ$) он оказался достоверно меньше, чем в прыжках на батуте ($168,2 \pm 8,0^\circ$, $p = 0,001$), что также свидетельствует о более активном отталкивании в первом случае и об использовании энергии упругой деформации во втором.

В прыжках на батуте амплитуды движений в изучаемых суставах нижних конечностей оказались достоверно меньше, чем в низких и высоких прыжках на грунте. Исключение составили величины амплитуды движений в тазобедренном суставе в низких прыжках в фазе амортизации, которые на батуте были лишь недостоверно меньше (табл. 1). Отметим, что угловая амплитуда движений в суставах нижних конечностей была в прыжках на батуте достоверно меньше и в фазе амортизации, и в фазе отталкивания, что, очевидно, также связано с использованием энергии упругой деформации испытуемыми.

Как следует из анализа данных табл. 2, в прыжках на грунте скорости изменения углов в голеностопном, коленном и тазобедренном суставах оказались достоверно выше в низких и высоких прыжках на грунте и в фазе амортизации, и в фазе отталкивания. Это позволяет считать, что прыжки на грунте носят гораздо более выраженный скоростной характер, чем прыжки на батуте. В связи с этим имеющиеся данные об успешном увеличении высоты прыжка вверх на грунте после применения прыжков на батуте [1, 2] требуют дополнительного осмысления. С другой стороны, меньшие амплитуды движений и меньшие скорости изменения углов в суставах в прыжках на батуте позволяют предполагать меньшую энергозатратность и нагрузку на опорно-двигательный аппарат и сердечно-сосудистую систему занимающегося. Это позволяет считать обоснованным рассмотрение места прыжковых упражнений на батуте в развитии выносливости у занимающихся, имеющих невысокий уровень подготовленности или повреждения опорно-двигательного аппарата.

Таблица 1

Амплитуды движений в суставах пояса нижних конечностей в низких (в верхней ячейке) и высоких (в нижней ячейке) прыжках на батуте и грунте

Сустав	Величина (градус)		Достоверность различий (p)
	батут	грунт	
<i>Амортизация</i>			
Голеностопный	$19,1 \pm 10,3$	$38,9 \pm 8,4$	0,000
	$26,7 \pm 11,9$	$45,9 \pm 7,3$	0,000
Коленный	$13,3 \pm 8,1$	$25,7 \pm 9,1$	0,000
	$19,5 \pm 10,6$	$32,2 \pm 9,7$	0,000
Тазобедренный	$5,2 \pm 5,4$	$8,3 \pm 5,6$	0,157
	$6,8 \pm 6,2$	$12,4 \pm 6,6$	0,001
<i>Отталкивание</i>			
Голеностопный	$23,8 \pm 11,0$	$46,1 \pm 6,9$	0,000
	$30,5 \pm 12,9$	$54,3 \pm 6,9$	0,000
Коленный	$17,4 \pm 7,4$	$32,2 \pm 9,3$	0,000
	$25,6 \pm 12,2$	$44,4 \pm 8,5$	0,000
Тазобедренный	$5,2 \pm 5,5$	$11,3 \pm 6,8$	0,003
	$10,4 \pm 8,2$	$19,9 \pm 7,3$	0,000



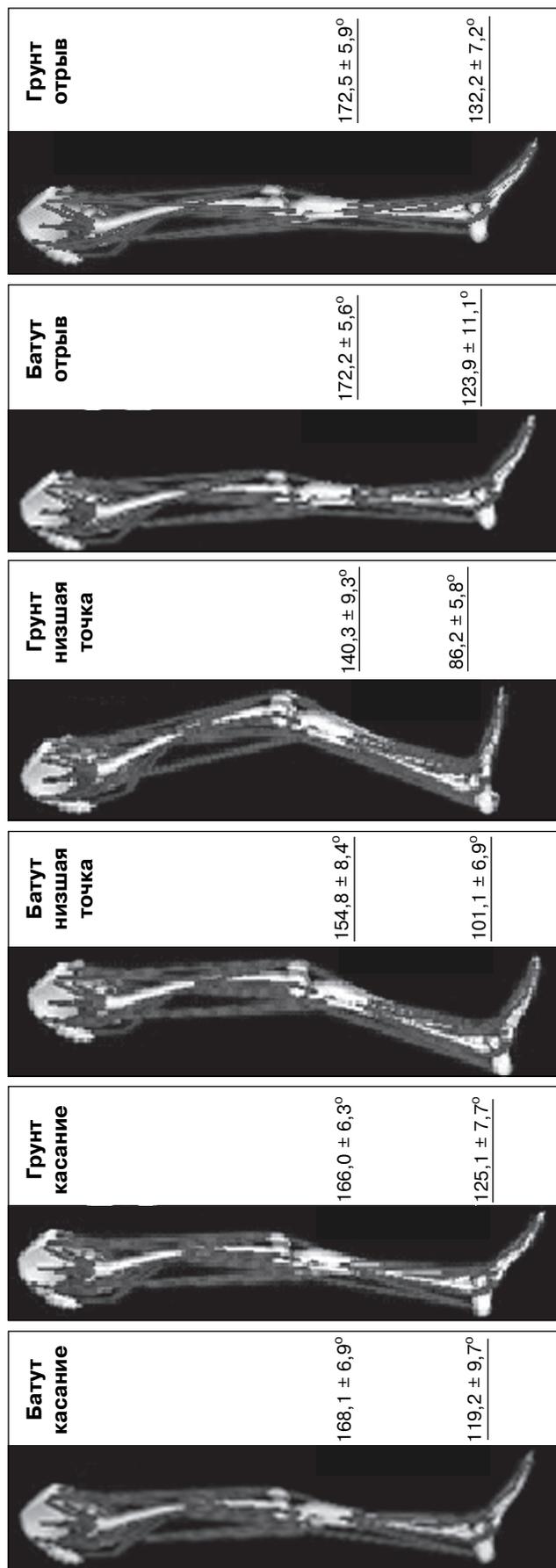
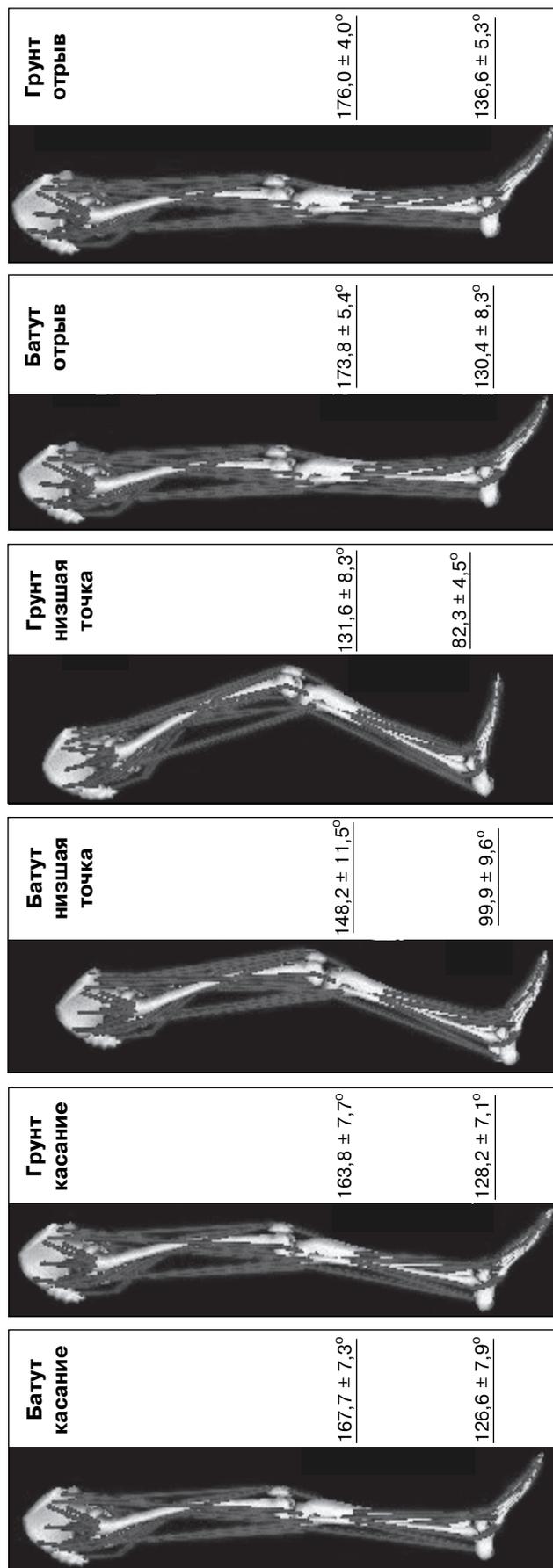


Рис. 1. Углы голеностопного и коленного суставов в опорный период в низких (верхний ряд) прыжках на батуте и грунте (нижний ряд) прыжках на батуте и грунте (подчёркнуты значения, имеющие достоверные различия в прыжках на батуте и грунте, $p = 0,000$ во всех случаях)



Подтверждают заключение о более выраженном скоростном характере прыжков на грунте в сравнении с прыжками на батуте достоверно меньшие величины

времени амортизации и отталкивания, а также всего времени опоры в низких и в высоких прыжках на грунте (рис. 2).

Таблица 2

Скорости изменения углов в суставах пояса нижних конечностей в низких (в верхней ячейке) и высоких (в нижней ячейке) прыжках на батуте и грунте

Сустав	Величина (градус/с)		Достоверность различий (<i>p</i>)
	батут	грунт	
<i>Амортизация</i>			
Голеностопный	99,6 ± 54,9	303,9 ± 54,7	0,000
	161,1 ± 111,7	391,8 ± 52,9	0,000
Коленный	67,9 ± 40,5	197,4 ± 56,4	0,000
	116,2 ± 85,4	270,5 ± 63,4	0,000
Тазобедренный	26,4 ± 27,2	63,0 ± 39,4	0,001
	40,1 ± 47,8	102,0 ± 50,1	0,000
<i>Отталкивание</i>			
Голеностопный	123,5 ± 61,1	344,3 ± 66,3	0,000
	182,5 ± 125,7	446,3 ± 57,9	0,000
Коленный	91,4 ± 42,9	239,6 ± 73,2	0,000
	153,4 ± 108,3	362,5 ± 59,3	0,000
Тазобедренный	27,4 ± 29,4	84,0 ± 53,4	0,000
	62,9 ± 65,9	160,6 ± 54,9	0,000

Особо отметим, что сравнение даже кинематических характеристик высоких прыжков на батуте и низких на грунте позволяет констатировать наличие их существенных различий. Так, достоверно различаются в этих прыжках углы голеностопного и коленного суставов в момент низшей точки ОЦМТ (рис. 1, $p = 0,000$ в обоих случаях); также амплитуды движений в этих суставах в фазах амортизации (табл. 1, $p = 0,000$ и $0,042$ для голеностопного и коленного суставов) и отталкивания ($p = 0,000$ и $0,023$); скорости изменения углов в этих суставах при амортизации и отталкивании (табл. 2, $p = 0,000$).

Также в низких прыжках на грунте оказались достоверно меньше, чем в высоких на батуте, время аморти-

зации, отталкивания и всего контакта с опорой (рис. 2, $p = 0,000$). В целом это позволяет считать, что увеличение высоты прыжков на батуте ведёт к некоторой активизации отталкивания от опоры (больше сгибаются колени, выше скорость изменения углов в голеностопных и коленных суставах при отталкивании), однако названные кинематические характеристики не достигают величин, зафиксированных в низких прыжках на грунте. Это можно рассматривать как дополнительное подтверждение заключения о меньшей энергоёмкости прыжков на батуте, а также о более выраженном скоростном характере прыжков на грунте.

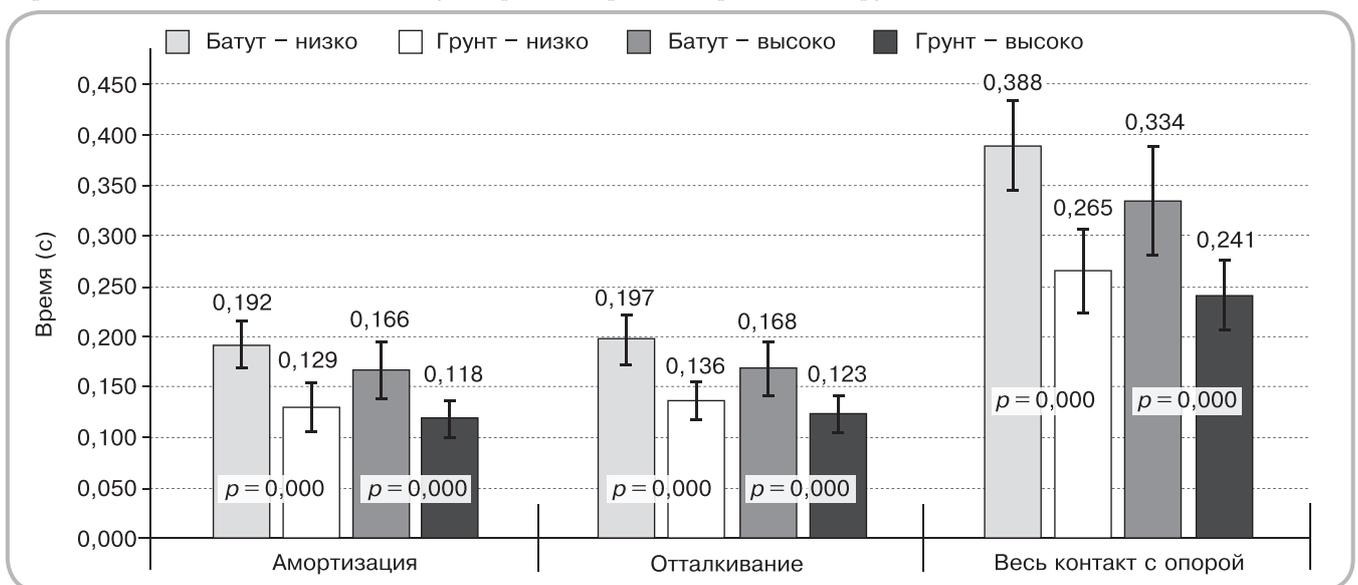


Рис. 2. Характеристики опорного периода в прыжках разной высоты на батуте и грунте



Выводы

Таким образом, для прыжков на батуте характерны достоверно меньшие амплитуды движений в коленном и голеностопном суставах в период опоры и достоверно меньшие скорости изменения углов в этих суставах как при амортизации, так и при отталкивании, чем в прыжках на грунте. Это позволяет предполагать меньшую энергоёмкость прыжков на батуте и их менее выраженный скоростной характер, что обосновывает поиск места прыжковых упражнений на батуте при развитии вы-

носливости у лиц, имеющих невысокий уровень физической подготовленности (с целью оптимизации нагрузки на сердечно-сосудистую систему). Полученные в исследовании данные о значительно менее выраженном скоростном характере прыжков на батуте, по сравнению с прыжками на грунте, делают обоснованным дополнительное изучение возможностей развития скоростно-силовых способностей в прыжковых упражнениях на грунте с использованием прыжков на батуте.

Литература

1. Şahin, G., Demir, E., Aydin, H. Does mini-trampoline training more effective than running on body weight, body fat, VO₂ max and vertical jump in young men? // *International Journal of Sports Science*. – 2016. – Vol. 6 (1). – Pp. 1–5. – URL: <http://doi.org/10.5923/j.sports.20160601.01>

2. Ross, A. Efficacy of a mini-trampoline program for increasing the vertical jump / A. Ross, J. Hudson // *Proceedings of the 15 International Symposium on Biomechanics in Sports*. – Denton, Texas, USA: ISBS, 1997. – Pp. 63–69.

3. Yamakata, R. Effect of jump and skip drill training using a mini-trampoline on sprint running performance / R. Yamakata, H. Uwagawa, T. Ogawa // *International Journal of Sport and Health Science*. – 2022. – Vol. 20. – Pp. 90–98.

4. Villalba, M.M. Effects of six weeks of plyometric training on the ground vs on a mini-trampoline on strength,

jump performance, and balance in male basketball players – randomized clinical trial / M.M. Villalba, G.D. Eltz, R.A. Fujita, et al. // *Sport Sciences for Health*. – 2023. – Vol. 19. – Pp. 829–839. – URL: <http://doi.org/10.1007/s11332-022-00968-3>

5. Rhouni, N. Acute effect of mini-trampoline jumping on vertical jump and balance performance / N. Rhouni, N.C. Dabbs, T. Gillum, J.W. Coburn // *International Journal of Kinesiology & Sports Science*. – 2019. – Vol. 7 (2). – Pp. 1–7. – URL: <http://doi.org/10.7575/aiac.ijkss.v7n.2p.1>

6. Crowther, R.G. Kinematic responses to plyometric exercises conducted on compliant and noncompliant surfaces / R.G. Crowther, W.L. Spinks, A.S. Leicht, C.D. Spinks // *Journal of Strength and Conditioning Research*. – 2007. – Vol. 21 (2). – Pp. 460–465. – URL: <http://doi.org/10.1519/R-19645.1>.

References

1. Şahin, G., Demir, E. and Aydin, H. (2016), Does mini-trampoline training more effective than running on body weight, body fat, VO₂ max and vertical jump in young men? *International Journal of Sports Science*, vol. 6 (1), pp. 1–5, [Online] URL: <http://doi.org/10.5923/j.sports.20160601.01>

2. Ross, A. and Hudson, J. (1997), Efficacy of a mini-trampoline program for increasing the vertical jump, In: *Proceedings of the 15 International Symposium on Biomechanics in Sports*, Denton, Texas, USA: ISBS, pp. 63–69.

3. Yamakata, R., Uwagawa, H. and Ogawa, T. (2022), Effect of jump and skip drill training using a mini-trampoline on sprint running performance, *International Journal of Sport and Health Science*, vol. 20, pp. 90–98.

4. Villalba, M.M., Eltz, G.D., Fujita, R.A., et al. (2023), Effects of six weeks of plyometric training on the ground vs

on a mini-trampoline on strength, jump performance, and balance in male basketball players – randomized clinical trial, *Sport Sciences for Health*, vol. 19, pp. 829–839, [Online] URL: <http://doi.org/10.1007/s11332-022-00968-3>

5. Rhouni, N., Dabbs, N.C., Gillum, T. and Coburn, J.W. (2019), Acute effect of mini-trampoline jumping on vertical jump and balance performance, *International Journal of Kinesiology & Sports Science*, vol. 7 (2), pp. 1–7, [Online] URL: <http://doi.org/10.7575/aiac.ijkss.v7n.2p.1>

6. Crowther, R.G., Spinks, W.L., Leicht, A.S. and Spinks, C.D. (2007), Kinematic responses to plyometric exercises conducted on compliant and noncompliant surfaces, *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 21 (2), pp. 460–465, [Online] URL: <http://doi.org/10.1519/R-19645.1>

