

Исследовательская статья

УДК 796.012.51

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-178-199

Андрей Александрович Померанцев¹,
Владимир Борисович Шкляров²,
Роман Геннадьевич Соломенцев³,
Владислав Владимирович Цветков⁴

^{1, 2, 3, 4} Липецкий государственный педагогический
университет им. П. П. Семенова-Тян-Шанского,
Липецк, Россия

¹ Липецкий филиал Финансового университета
при Правительстве Российской Федерации,
Липецк, Россия

⁴ Липецкий филиал РАНХиГС,
Липецк, Россия

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРЫЖКА ВВЕРХ У БАСКЕТБОЛИСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕНЗОДИНАМОМЕТРИИ

Аннотация. Вертикальный прыжок вверх с места является ключевым двигательным действием в баскетболе и определяет эффективность подбора, блок-шотов и атакующих действий. Однако в практике и ряде исследований оценка прыгучести часто сводится к измерению высоты прыжка без анализа биомеханической структуры отталкивания. Цель исследования — изучение динамической структуры прыжка вверх с места с подседом со взмахом рук у баскетболистов студенческой команды с применением тензодинамометрии. Семь спортсменов (19–23 года) выполнили по одному прыжку со взмахом рук. Данные регистрировались на платформе Bertec (1 000 Гц). Было рассчитано 28 биомеханических показателей, включая силовые, временные, пространственно-временные и мощностные характеристики. Впервые для прикладного анализа было использовано представление данных в координатах «скорость – сила», позволяющее выделить индивидуальные профили прыжка. Корреляционный анализ выявил как очевидные, так и скрытые взаимосвязи, в том числе влияние массы спортсменов на проявление силовых показателей и парадокс отрицательных связей силовых показателей в эксцентрическом режиме с целевыми характеристиками прыжка.

Ключевые слова: вертикальный прыжок, баскетбол, тензодинамическая платформа, тензодинамометрия, биомеханические профили прыжка

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Research article

UDC 796.012.51

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-178-199

Andrey Aleksandrovich Pomerantsev¹,
Vladimir Borisovich Shklyarov²,
Roman Gennad'evich Solomentsev³,
Vladislav Vladimirovich Tsvetkov⁴

^{1, 2, 3, 4} Lipetsk State Pedagogical
 P. Semenov-Tyan-Shansky University,
 Lipetsk, Russia

¹ Financial University under the Government
 of the Russian Federation (Lipetsk branch),
 Lipetsk, Russia

⁴ Russian Presidential Academy of National
 Economy and Public Administration
 (Lipetsk branch),
 Lipetsk, Russia

FORCE PLATE ANALYSIS OF COUNTERMOVEMENT JUMP MECHANICS IN UNIVERSITY BASKETBALL PLAYERS

Abstract. The standing vertical jump is a key motor action in basketball and largely determines performance in rebounding, shot blocking, and offensive play. Nevertheless, in practice and in many studies, “jump ability” is often reduced to jump height assessment, without examining the biomechanical structure of the take-off phase. The aim of this study was to investigate the dynamic structure of a standing countermovement jump with an arm swing (CMJas) in collegiate basketball players using force plate analysis. Seven male athletes (19–23 years) performed one maximal CMJas with an arm swing; ground reaction force data were collected using a Bertec force plate at 1 000 Hz. Twenty-eight biomechanical variables were calculated, including force-, time-, spatiotemporal-, and power-related characteristics. For the first time in applied assessment, the jump data were additionally represented in force-velocity coordinates, enabling the identification of individual jump profiles. Correlation analysis revealed both expected and non-obvious relationships, including the influence of body mass on the interpretation of force metrics and a “paradoxical” negative association between eccentric-phase force indicators and key jump outcome variables.

Keywords: vertical jump, basketball, university sports, force plate, force plate analysis, jump profiling

Funding statement: no funding was received for writing this manuscript.

Введение

Вертикальный прыжок является одним из ключевых двигательных действий во многих видах спорта [6]. В баскетболе прыжок вверх определяет эффективность подбора, блок-шотов и бросков сверху [11; 18]. Несмотря на широкий научный и практический интерес к прыгучести,

большинство исследований ограничиваются оценкой высоты прыжка с помощью педагогических тестов, то есть без углубленного анализа биомеханической структуры отталкивания [3].

Современные тензометрические платформы позволяют регистрировать динамические характеристики с высокой точностью [8; 12; 14; 17], что открывает возможности для комплексного анализа динамограммы прыжка и использования этого метода срочного контроля в тренировочной практике [1; 5; 16].

Цель исследования: проанализировать динамическую структуру прыжка вверх с места у баскетболистов студенческой команды.

Задачи исследования: 1) определить динамические характеристики выполнения прыжка баскетболистами; 2) выявить индивидуальные биомеханические профили выполнения прыжка; 3) установить взаимосвязь биомеханических характеристик выполнения прыжка.

Материалы и методы исследования

Исследование проходило в игровом спортивном зале Липецкого государственного педагогического университета имени П. П. Семенова-Тян-Шанского. В исследовании приняли участие 7 баскетболистов основной команды университета, мужчины в возрасте 19–23 года. Каждый спортсмен выполнил по одному прыжку вверх с места со взмахом рук в полной координации с подседом. В зарубежной литературе такой прыжок характеризуют как counter movement jump arm swing (CMJas) [2; 4].

В процессе выполнения данного прыжка есть предварительный подсед, позволяющий задействовать мышечно-сухожильный комплекс для начального растяжения, и последующее отталкивание с рекуперацией энергии stretch-shortening cycle (SSC). Прыжок с предварительным подседом позволяет пропульсивным мышцам начать работать в эксцентрическом (плиометрическом) режиме с переходом в концентрический (миометрический) режим (рис. 1).

Предварительно была проведена разминка для достижения рабочих режимов работы мышц и снижения риска получения травмы.

В работе были использованы следующие методы: 1) анализ научной литературы; 2) тензодинамометрия; 3) математико-статистические методы.

Тензодинамометрия

Для получения динамических характеристик взаимодействия баскетболиста с опорой при выполнении прыжка вверх использовалась тензодинамическая платформа Bertec, размером 900 × 600 мм и частотой записи данных 1 000 Гц. Тензодинамометрия позволяет получить тензограмму выполнения прыжка высокой точности. Уже на этапе визуального анализа полученной кривой можно определить ряд ключевых характеристик, в том числе вес

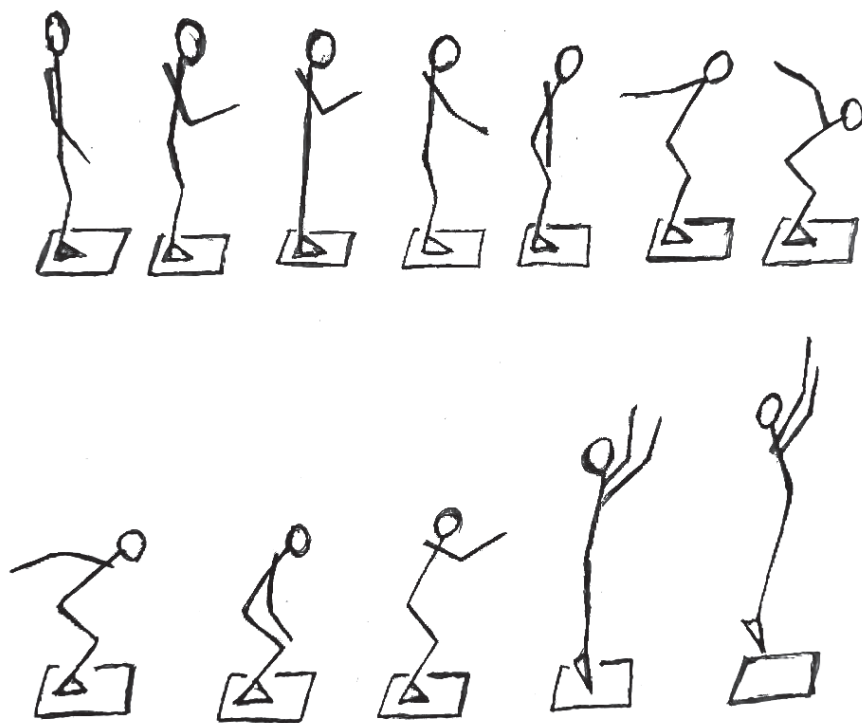


Рис. 1. Палочковая схема выполнения прыжка вверх со взмахом рук с подседанием (CMJas)

спортсмена, максимальную вертикальную нагрузку в фазе отталкивания, а также длительность опорного и безопорного периодов (см. рис. 2).

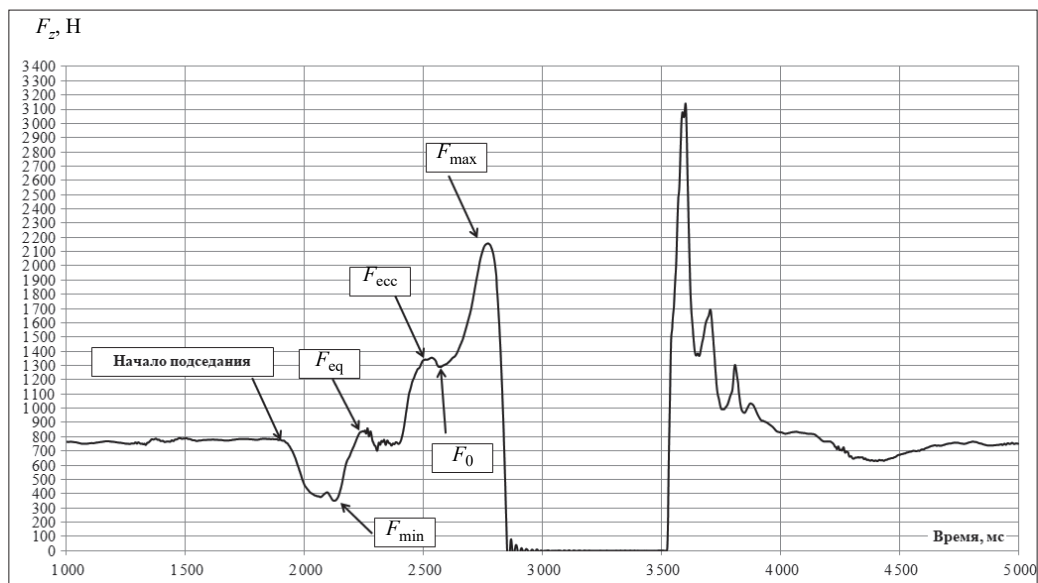


Рис. 2. Динамограмма выполнения прыжка вверх

Для описания динамики прыжка были использованы 28 биомеханических характеристик [7], подробное описание которых представлено в таблице 1.

Таблица 1

Биомеханические характеристики прыжка

№	Символ, единицы измерения	Описание характеристики
1	m , кг	Масса спортсмена находилась как: $m = \frac{P}{g},$ где $g \approx 9,81 \text{ м/с}^2$
2	P , Н	Вес спортсмена определялся как среднее значение вертикальной нагрузки F_z перед моментом начала выполнения прыжка
3	t_1 , мс	Время периода отталкивания определялось от момента начала фазы отталкивания до момента начала безопорной фазы
4	t_2 , мс	Время безопорного периода определялось как интервал, в течение которого тензоплатформа регистрировала нулевую нагрузку
5	I , Н*м	Импульс силы отталкивания определялся как площадь под кривой отклонения силы от величины статического веса во времени в течение фазы отталкивания
6	h_k , см	Высота прыжка (h_k) на основе времени полета (кинематический подход) определялась по формуле: $h_k = \frac{g(t_2)^2}{8}$
7	h_D , см	Высота прыжка (h_D) на основе импульса силы (динамический подход) определялась по формуле: $h_D = \frac{V^2}{2g}$
8	K	Коэффициент прыгучести определялся как $k = I_{cp} / P$, где средний импульс отталкивания (I_{cp}) находился по формуле: $I_{cp} = \frac{I}{t_1}$
9	V , м/с	Начальная вертикальная скорость определялась в конце фазы отталкивания: $V = \frac{I}{m}$
10	F_{max} , Н	Максимальная сила определялась как максимальное значение по вертикальной оси F_z в миометрическом режиме

№	Символ, единицы измерения	Описание характеристики
11	$F_{\min}$, Н	Минимальная сила определялась как минимальное значение по вертикальной оси F_z в плиометрическом режиме
12	F_{eq} , Н	Сила уравнивающая (эквивалентная) — сила, примерно равная весу спортсмена (P) в момент перехода от фазы «ускоренного подседа» к фазе «замедленного подседа», в некоторых случаях характеризующаяся небольшим пиком F_z . В случае, если пика не наблюдалось, сила F_{eq} принималась равной весу спортсмена (P)
13	F_{ecc} , Н	Максимальная эксцентрическая сила F_z , наблюдаемая в плиометрическом режиме
14	F_0 , Н	Квазиизометрическая сила F_z фиксировалась в момент, когда $V = 0$
15	$G_{\max}$, Н/с	Максимальный градиент силы ($G_{\max}$) определялся как максимальное значение $\left(\frac{dF_z}{dt}\right)_{\max}$
16	$F_{\max} / P$	Сила $F_{\max}$, нормализованная к весу спортсмена (P)
17	$F_{\min} / P$	Сила $F_{\min}$, нормализованная к весу спортсмена (P)
18	F_{eq} / P	Сила F_{eq} , нормализованная к весу спортсмена (P)
19	F_{ecc} / P	Сила F_{ecc} , нормализованная к весу спортсмена (P)
20	F_0 / P	Сила F_0 , нормализованная к весу спортсмена (P)
21	$G_{\max} / P$, с ⁻¹	Градиент силы $G_{\max}$, нормализованный к весу спортсмена (P)
22	$N_{\max}$, Вт	Максимальная мощность, $N_{\max} = \max(F_i \times V_i)$,
23	$N_{\max} / P$, Вт/кг	Максимальная относительная мощность. Мощность $N_{\max}$, нормализованная к весу спортсмена (P)
24	$V(N_{\max})$, м/с	Скорость в момент проявления максимальной мощности
25	$F_z(N_{\max})$, Н	Сила в момент проявления максимальной мощности
26	Tn , мс	Диапазон времени, в течение которого проявляется 90 % $N_{\max}$
27	$V_{\min}$, м/с	Минимальная скорость, при которой фиксируется 90 % $N_{\max}$
28	$V_{\max}$, м/с	Максимальная скорость, при которой фиксируется 90 % $N_{\max}$

Высота прыжка находилась двумя способами: через время безопорного периода — кинематический подход, а также через расчет импульса силы отталкивания — динамический подход (см. рис. 3).

Инновационным в данной работе является представление данных прыжка в координатной системе «сила – скорость» ($F_z - V$). Это дает несколько практических плюсов по сравнению с привычным представлением кривой «сила – время» (см. рис. 4).

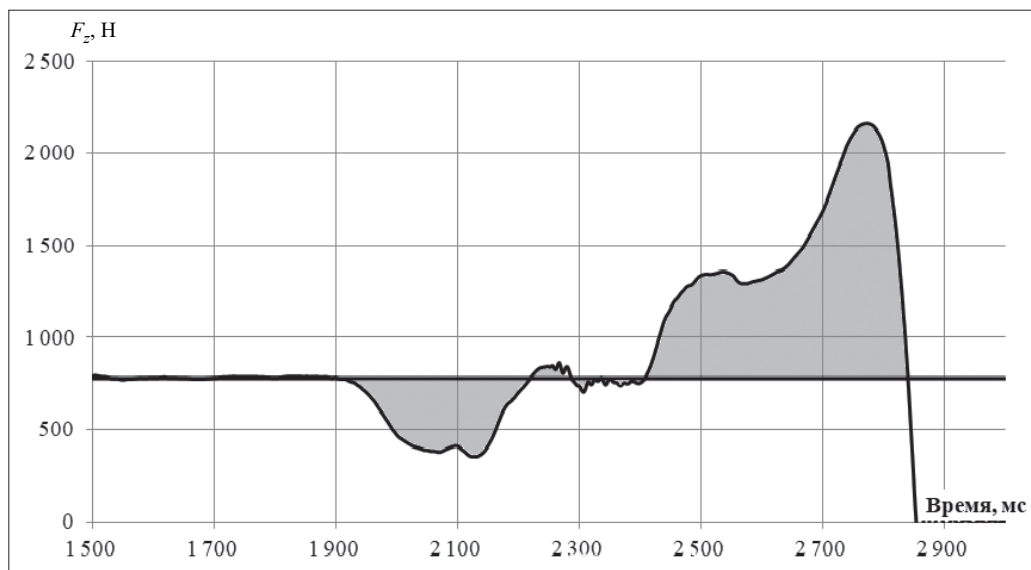


Рис. 3. Графическое представление импульса силы отталкивания, где горизонтальной линией обозначен вес спортсмена

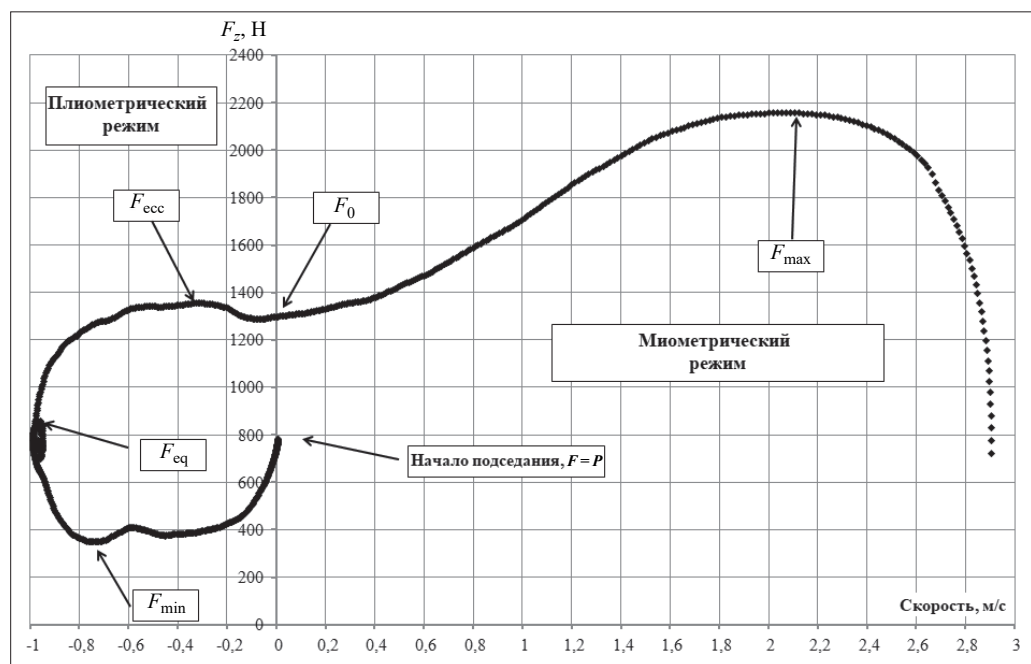


Рис. 4. Взаимосвязь проявляемой силы и скорости движения при выполнении прыжка вверх

Такой график наглядно позволяет увидеть и оценить режим работы пропульсивных мышц: отрицательные значения скорости (V) говорят об эксцентрическом (плиометрическом) режиме, а положительные — о концентрическом

(миометрическом) режиме. На рисунке 4 логичной и понятной выглядит петля эксцентрики (плиометрика) и ветвь концентрики (миометрика). Данный график позволяет оценить силу отталкивания при различных скоростях.

Такое представление является более предпочтительным для анализа спортивной техники выполнения прыжка. По форме и наклону концентрической части можно охарактеризовать профиль прыгуна: 1) спортсмен может проявлять большую силу на меньших скоростях (силовой профиль), но при этом не способен проявить силу на высокой скорости, или наоборот; 2) демонстрирует меньшее проявление силы на низкой скорости, но способен проявить значительную силу на высоких скоростях в конце фазы отталкивания (скоростной профиль).

Характеристический профиль графика «сила – скорость» связан со следующими биомеханическими закономерностями:

1) зависимость «сила – скорость»: чем выше скорость сокращения мышцы, тем меньше возможностей для проявления силы;

2) зависимость «сила – длина»: максимальная сила проявляется при средней длине мышцы;

3) зависимость проявления силы от геометрии рычагов: чем больше угол разгибания, тем легче проявить силу из-за более выгодных суставных углов;

4) зависимость проявления силы от степени растяжения мышечно-сухожильного аппарата, использования силы упругой деформации и рекуперации энергии (SSC): максимум силы проявляется при максимальном растяжении мышечно-сухожильного аппарата [10].

В совокупности эти четыре закономерности уравнивают возможность проявить силу на различных скоростях и режимах работы. Индивидуальность тензограммы каждого баскетболиста определяется особенностями строения, координации и иннервации мышц.

Также нами определялся максимальный градиент силы $G_{\max}$, Н/с. В зарубежной литературе этот показатель называют RFD (rate of force development). Некоторые авторы предлагают с большой осторожностью относиться к этому показателю, так как он сильно подвержен влиянию вибраций и других артефактов [13; 15].

В нашем исследовании для минимизации ошибки мы использовали цифровой фильтр «скользящее среднее» с окном в 5 значений. Благодаря единому подходу мы получили возможность сопоставлять градиент силы различных спортсменов (см. рис. 5).

Математико-статистические методы

Для получения усредненных значений и вариативности динамических характеристик использовались инструменты дескриптивного анализа. Взаимосвязи между динамическими характеристиками описывались с помощью коэффициентов корреляции по Брауэ – Пирсону.

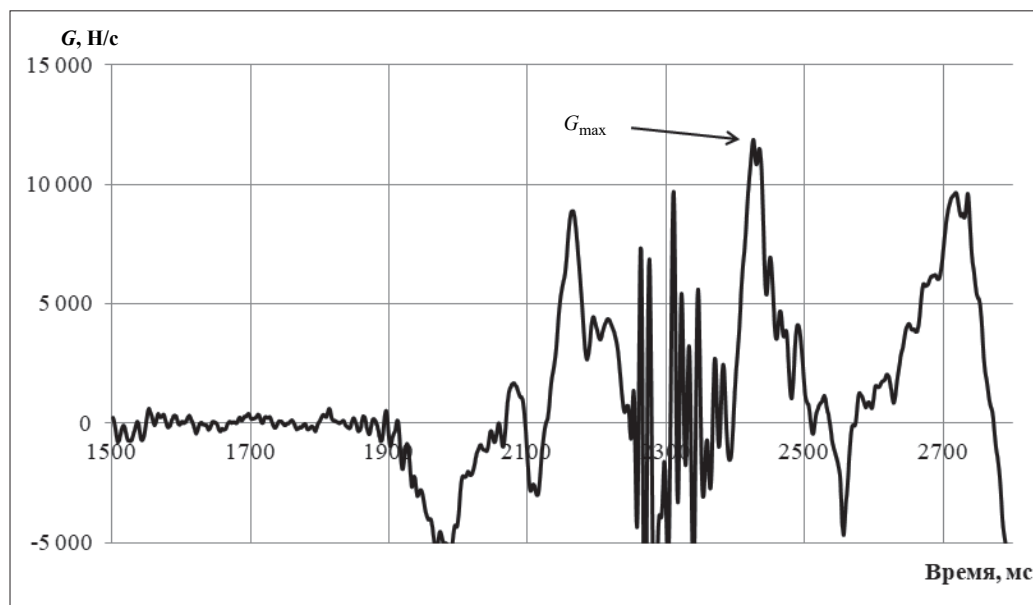


Рис. 5. График изменения градиента силы в процессе выполнения отталкивания

Результаты исследования

На рисунке 6 представлены графики, характеризующие динамическую структуру прыжка вверх для 7 баскетболистов студенческой команды. Несмотря на схожесть графиков, каждая динамограмма имеет свои особенности, связанные с уровнем развития скоростно-силовых и координационных способностей [9]. На основе представленных графиков можно выделить несколько профилей спортсменов.

Профиль I — «скоростной», наблюдается, когда максимальные значения силы проявляются на максимальной скорости в конце фазы отталкивания, в таком случае $F_{\max} > F_{\text{ecc}}$.

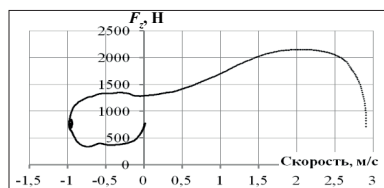
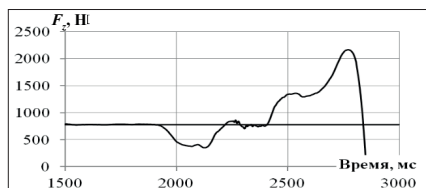
Профиль II — «силовой», наблюдается, когда максимум силы спортсмен проявляет в эксцентрическом режиме, в таком случае $F_{\max} < F_{\text{ecc}}$.

Профиль III — «скоростно-силовой», наблюдается, когда спортсмен проявляет примерно равную силу в эксцентрическом и концентрическом режимах: $F_{\max} \approx F_{\text{ecc}}$.

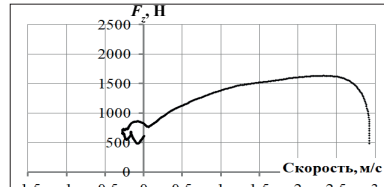
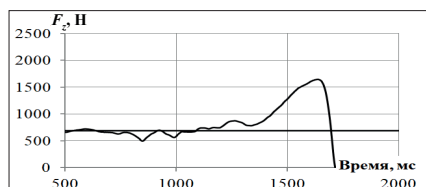
В соответствии с таким подходом баскетболистов можно распределить по соответствующим профилям: «скоростной профиль» — баскетболисты № 1, 2, 6, 7; «силовой профиль» — баскетболист № 3; «скоростно-силовой профиль» — баскетболисты № 4, 5.

Используя данные по силе F_z и скорости перемещения центра масс, для каждого спортсмена была определена проявляемая мощность и связанные с ней параметры (см. рис. 7).

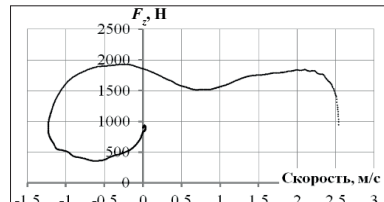
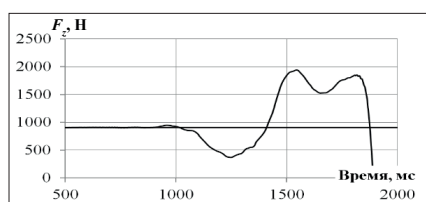
№ 1



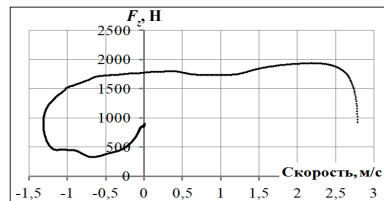
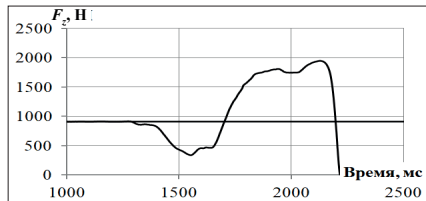
№ 2



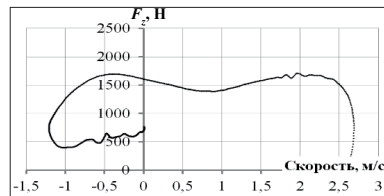
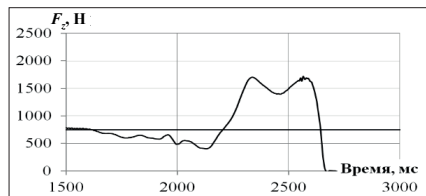
№ 3



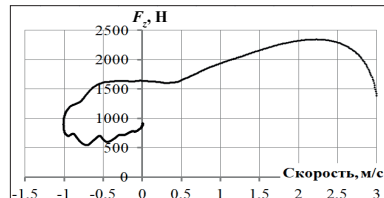
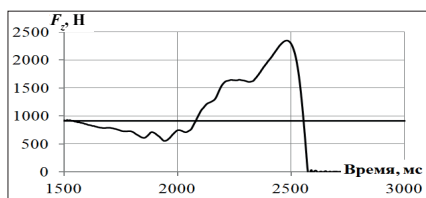
№ 4



№ 5



№ 6



№ 7

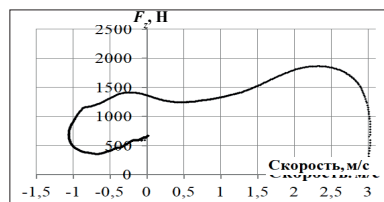
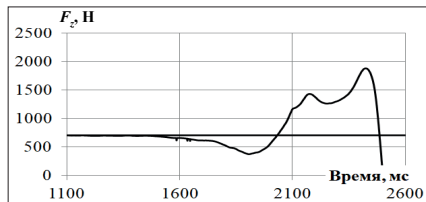


Рис. 6. Графики, характеризующие динамическую структуру прыжка

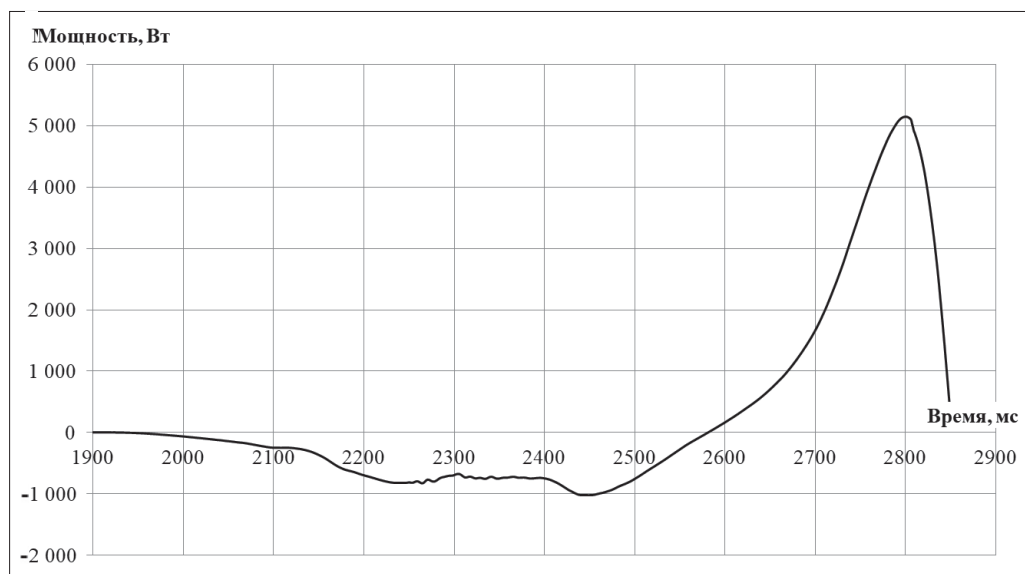


Рис. 7. График изменения мощности в процессе выполнения прыжка

Представление данных тензометрии прыжка в виде графика мощности ($N - t$) позволяет напрямую увидеть информацию, объясняющую прыгучесть. Если график силы по времени показывает, насколько сильно спортсмен давит на опору, то мощность показывает, насколько быстро спортсмен преобразует силу в движение. На рисунке 7 становятся видны ключевые моменты прыжка: отрицательная мощность, переход через ноль и положительная мощность.

Пиковая мощность и ее относительное значение (Вт/кг), время выхода на пик, а также плато мощности показывают, удерживает ли спортсмен высокую мощность на протяжении отталкивания или проявляет мощность в виде краткосрочного всплеска. График мощности также может служить удобным итоговым представлением по тензометрии прыжка для внесения коррекций в тренировочный процесс.

Важно отметить, что время проявления максимальной силы и максимальной мощности не совпадают. Пик мощности наступает примерно на 20–30 мс позже пика максимальной силы по причине того, что скорость продолжает возрастать при падении силы.

В таблице 2 представлены показатели мощности по 7 баскетболистам.

Из таблицы 2 видно, что наибольшую относительную мощность $N_{\max} / P$ прыжка проявляют представители скоростного профиля — баскетболисты № 1, 2, 6, 7; средние показатели имеют представители скоростно-силового профиля — баскетболисты № 4, 5, а представитель силового профиля — баскетболист № 3 — проявляет минимальную абсолютную ($N_{\max}$) и относительную мощность ($N_{\max} / P$).

Таблица 2

Мощность выполнения прыжка и показатели плато мощности

Спортсмен №	$N_{\max}$, Вт	$N_{\max} / P$, Вт/кг	$V(N_{\max})$, м/с	$F_z(N_{\max})$, Н	90 % $N_{\max}$, Вт/кг	$TN N \geq 90\%$ $N_{\max}$, мс	$V_{\min}$ (плато), м/с	$V_{\max}$ (плато), м/с
1	5 150	64,9	2,55	2 017	58,4	40	2,15	2,75
2	4 144	59,0	2,62	1 580	53,1	15	2,53	2,71
3	4 132	44,8	2,32	1 775	40,3	50	2,02	2,47
4	4 719	51,0	2,53	1 857	45,9	58	2,15	2,73
5	3 891	50,9	2,42	1 610	45,8	46	2,10	2,59
6	5 832	62,9	2,65	2 004	56,6	49	2,24	2,90
7	4 727	66,4	2,67	1 769	59,8	43	2,27	2,90
$\bar{x}$	4 656	57,1	2,54	1 802	51,4	43	2,21	2,72
$\pm sd$	678	8,3	0,13	172	7,5	14	0,16	0,16
Var	14,6	14,5	5,1	9,5	14,6	32,6	7,2	5,9

Если сравнивать показатели мощности с данными других исследователей, то максимальная мощность баскетболистов скоростного профиля сопоставима с мощностью высококвалифицированных спринтеров, показывающих результаты в беговом спринте на 100 метров от 10,34 до 10,65 с. Мощность прыжка баскетболистов $63,3 \pm 3,2$ Вт; мощность высококвалифицированных спринтеров $68,20 \pm 3,15$ Вт¹.

Корреляционный анализ (табл. 3) показывает, что существует достоверная зависимость между максимальной абсолютной мощностью, относительной мощностью и максимальной скоростью, при которой проявляется 90 % этой мощности ($r = 0,75$ и $r = 0,87$ соответственно). Чем меньше масса спортсмена, тем более островершинным является пик мощности и тем уже плато мощности ($r = 0,74$).

Таблица 3

Корреляционная матрица взаимосвязи показателей мощности

	$N_{\max}$	m	$N_{\max} / P$	$V(N_{\max})$	$F_z(N_{\max})$	TN	$V_{\min}$
m	39	—					
$N_{\max} / P$	63	–47	—				
$V(N_{\max})$	59	–37	88	—			
$F_z(N_{\max})$	88	56	39	23	—		
TN	27	74	–35	–35	49	—	
$V_{\min}$	04	–59	52	73	–33	–83	—
$V_{\max}$	75	–18	87	95	44	–06	47

Примечание: символы «0,» в таблице пропущены; выделенные коэффициенты корреляции являются достоверными на уровне значимости 0,05, критическое значение коэффициента корреляции Пирсона при $n = 7$ составляет $r = 0,754$.

¹ Beattie K., Tawiah-Dodoo J., Graham-Smith P. Countermovement jump characteristics of world-class elite and sub-elite male sprinters // Sport performance & science reports. 2020. Vol. 1, № 106. P. 1–4. URL: <https://sportperfsci.com/wp-content/uploads/2020/06/SPSR105Beattie.pdf>

Абсолютная максимальная мощность $N_{\max}$ имеет тесную корреляцию ($r = 0,88$) с силой $F_z(N_{\max})$, а относительная максимальная мощность имеет тесную корреляцию ($r = 0,88$) со скоростью $V(N_{\max})$.

В таблице 4 представлены количественные показатели динамической структуры прыжка по 7 баскетболистам.

Таблица 4

**Динамические характеристики прыжка вверх
баскетболистов студенческой команды**

Спортсмен	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
m , кг	79,3	70,2	92,3	92,5	76,5	92,7	71,2
P , Н	778,3	688,6	905,6	907,3	749,9	909,7	698,5
t_1 , мс	956	903	991	915	1071	1058	999
t_2 , мс	681	580	565	629	594	627	679
I , Нм	226,2	204,4	227,1	255,4	199,6	279,4	213,4
h_K , см	83,5	71	69,3	77,1	73	77	83
h_D , см	41,4	43,2	30,1	38,9	35	46	45,8
K	0,3	0,33	0,25	0,31	0,25	0,29	0,31
V , м/с	2,85	2,91	2,46	2,76	2,61	3,01	3
$F_{\max}$, Н	2 115	1 650	1 930	1 940	1 703	2 346	1 871
$F_{\min}$, Н	354	495	370	336	408	576	370
F_{eq} , Н	862	730	906	907	750	910	699
F_{ecc} , Н	1 357	872	1 940	1 778	1 702	1 646	1 426
F_0 , Н	1 297	843	1 869	1 778	1 619	1 646	1 377
$G_{\max}$, Н/с	11 797	5 021	14 490	10 192	11 077	9 679	9 484
$F_{\max} / P$	2,72	2,40	2,13	2,14	2,27	2,58	2,68
$F_{\min} / P$	0,45	0,72	0,41	0,37	0,54	0,63	0,53
F_{eq} / P	1,11	1,06	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
F_{ecc} / P	1,74	1,27	2,14	1,96	2,27	1,81	2,04
F_0 / P	1,67	1,22	2,06	1,96	2,16	1,81	1,97
$G_{\max} / P$, с ⁻¹	15,2	7,3	16,0	11,2	14,8	10,6	13,6

Из таблицы 4 видно, что баскетболисты № 1, 2, 6, 7 — спортсмены скоростного профиля, имеют наилучшие показатели по высоте прыжка. У этих спортсменов соответственно наблюдаются наибольшие показатели скорости отталкивания (V). У спортсмена № 6 представлены рекордные значения по $F_{\max} = 2\,346$ Н и импульсу силы $I = 279,4$ Нс, при этом он является самым массивным: $m = 92,73$ кг. Этого спортсмена следует признать универсальным, способным проявлять высокую скорость движения при большой массе. У спортсмена № 2 проявляются высокие скоростные способности при низких проявлениях силы: I и $F_{\max}$ стремятся к минимальным значениям в группе. Спортсмен № 3 является самым «эксцентричным»: он проявляет максимум силы в плиометрическом режиме, но не может ее преобразовать в скорость. Спортсмены № 4 и 5, несмотря на хорошие показатели в эксцентрике, не способны проявить стабильный градиент силы в концентрическом режиме.

Из таблицы 5 видно, что наиболее вариативными являются показатели $G_{\max}$, $G_{\max} / P$, $F_{\min} / P$; наименее вариативными — t_1 , h_K , V .

Таблица 5

**Средние значения, стандартное отклонение
и коэффициенты вариации биомеханических характеристик**

	$\bar{x}$	$\pm sd$	$Var, \%$
m	82,1	10,2	12,4
P	805,4	100,2	12,4
t_1	984,7	65,1	6,6
t_2	622,1	45,8	7,4
I	229,4	28,8	12,5
h_K	76,3	5,6	7,3
h_D	40,1	5,9	14,6
K	0,3	0,0	10,6
V	2,8	0,2	7,3
$G_{\max}$	10 248,6	2 866,9	28,0
$F_{\max}$	1 936,4	238,2	12,3
$F_{\min}$	415,4	87,8	21,1
F_{ecc}	1 531,7	352,7	23,0
F_0	1 489,9	350,3	23,5
$F_{\max} / P$	2,4	0,2	10,2
$F_{\min} / P$	0,5	0,1	23,7
F_{ecc} / P	1,9	0,3	17,5
F_0 / P	1,8	0,3	17,1
$G_{\max} / P$	12,7	3,1	24,5

Для того, чтобы понять, как взаимосвязаны между собой динамические показатели прыжка, был проведен корреляционный анализ, результаты которого представлены в таблице 6.

Таблица 6 содержит очевидные и скрытые зависимости. К очевидным зависимостям следует отнести взаимосвязь веса и максимальных показателей силы. Также очевидным является ряд коэффициентов корреляции, значения которых связаны через функциональные зависимости в формулах. К неочевидным зависимостям следует отнести отрицательную взаимосвязь между градиентом силы $G_{\max}$, эксцентрической силой F_{ecc} , квазиизометрической силой F_0 и целевыми показателями прыжка: высотой прыжка h_D , скоростью V и коэффициентами прыгучести K . Это выглядит на первый взгляд нелогично, так как сила и скорость ее приращения должны способствовать совершению прыжка. Причина скрывается в массе спортсменов. Более тяжелые игроки проявляют большие показатели силы, но их масса не позволяет им набрать большую скорость движения. По этой же причине абсолютный импульс имеет слабую корреляцию с высотой прыжка.

Неочевидным на первый взгляд также является то, что время периода отталкивания не связано ни со скоростью, ни с высотой прыжка. Часто спортсмены

Таблица 6

Корреляционная матрица взаимосвязи динамических показателей прыжка

	P	t_1	t_2	I	h_K	h_D	K	V	$F_{\max}$	$F_{\min}$	F_{eq}	F_{ecc}	F_0	$G_{\max}$	$F_{z \max} / P$	$F_{\min} / P$	F_{eq} / P	F_{ecc} / P	F_0 / P
t_1	13	–																	
t_2	–21	–02	–																
I	81	10	17	–															
h_K	–20	–01	1,00	18	–														
h_D	–35	–09	62	26	62	–													
K	–37	–70	42	09	41	77	–												
V	–34	–10	62	28	62	1,0	77	–											
$F_{\max}$	64	29	42	86	44	31	–03	33	–										
$F_{\min}$	03	32	–27	34	–26	47	14	47	29	–									
F_{eq}	94	–02	–10	79	–09	–30	–26	–28	70	00	–								
F_{ecc}	76	48	–15	41	–14	–60	–74	–60	34	–31	60	–							
F_0	80	45	–14	48	–12	–55	–69	–55	38	–27	64	1,0	–						
$G_{\max}$	56	39	00	15	01	–68	–78	–67	33	–51	55	83	79	–					
$F_{\max} / P$	–44	14	78	03	78	77	42	77	41	23	–30	–49	–49	–24	–				
$F_{\min} / P$	–52	12	–19	–17	–19	56	35	55	–16	83	–52	–71	–70	–78	37	–			
F_{eq} / P	–38	–48	32	–25	32	22	41	23	03	–08	–06	–64	–66	–20	49	14	–		
F_{ecc} / P	32	63	01	–01	02	–54	–78	–55	04	–46	14	85	82	77	–31	–62	–62	–	
F_0 / P	40	62	02	10	03	–50	–74	–51	11	–43	21	89	87	75	–33	–64	–68	99	–
$G_{\max} / P$	17	44	18	–18	19	–57	–73	–57	13	–61	18	63	57	91	–02	–68	–07	79	74

Примечание: символы «0,» в таблице пропущены; выделенные коэффициенты корреляции являются достоверными на уровне значимости 0,05, критическое значение коэффициента корреляции Пирсона при $n = 7$ составляет $r = 0,754$.

ошибочно полагают, что чем быстрее оттолкнуться, тем выше можно прыгнуть, или наоборот: чем глубже подсед и дольше отталкивание, тем выше прыжок.

Заключение

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Тензодинамометрия позволила детально описать структуру прыжка вверх с места с подседанием (СМJas), выполненных 7 баскетболистами студенческой команды с использованием 28 биомеханических показателей. Выборка данных была проанализирована с использованием инструментов дескриптивного анализа. Средняя относительная максимальная мощность группы составила $57,1 \pm 8,3$ Вт/кг, а средний импульс отталкивания — $229,4 \pm 28,8$ Нс. Показано, что пик максимальной силы и пик мощности не совпадают: максимум мощности наступает позже (примерно на 20–30 мс), поскольку скорость продолжает расти при снижении силы. Параметры плато мощности, такие как время удержания 90 % $N_{\max}$ и диапазон $V_{\min} - V_{\max}$, позволили оценить параметры проявления мощности в отталкивании.

2. Представление движения в координатах сила – скорость ($Fz - V$) позволило выделить три биомеханических профиля прыжка: скоростной ($F_{\max} > F_{\text{ecc}}$), силовой ($F_{\max} < F_{\text{ecc}}$) и скоростно-силовой ($F_{\max} \approx F_{\text{ecc}}$). По данным исследования, к скоростному профилю отнесены спортсмены № 1, 2, 6, 7; к силовому — № 3; к скоростно-силовому — № 4, 5. Наибольшая относительная мощность $N_{\max} / P$ наблюдается у представителей скоростного профиля (до 66,4 Вт/кг), тогда как у силового профиля зафиксирован минимум мощности (44,8 Вт/кг) при высоких эксцентрических проявлениях силы. Следовательно, ключевым критерием прыгучести выступает не величина силы сама по себе, а способность преобразовывать ее в скорость и мощность, что наглядно отражают значения, характеризующие плато мощности.

3. Корреляционный анализ позволил выявить как очевидные связи показателей, так и неочевидные зависимости. К ожидаемым относятся зависимости, обусловленные физическими формулами и закономерностями, например время полета (t_2) – высота прыжка (h_K) и взаимосвязь абсолютных силовых показателей с массой/весом. Среди скрытых закономерностей выявлены отрицательные связи максимального градиента силы ($G_{\max}$), экспоненциальной силы (F_{ecc}) и квазиизометрической силы (F_0) с целевыми показателями прыжка: высотой прыжка (h_D), вертикальной скоростью (V), коэффициентом прыгучести (K), что на первый взгляд противоречит представлению о роли предварительного растяжения и упругой деформации мышечно-сухожильного комплекса. Объяснение этому связано с массой: более тяжелые спортсмены демонстрируют большие абсолютные силы и градиенты силы, но их масса ограничивает набор скорости отрыва, поэтому абсолютный импульс слабо связан с высотой. Также показано, что длительность отталкивания (t_1)

практически не связана с высотой и скоростью, что опровергает распространенные среди спортсменов представления о прямой зависимости результата прыжка от времени отталкивания.

Практические рекомендации

Полученные данные показывают, что тензодинамический контроль целесообразно использовать для совершенствования прыжковой подготовки баскетболистов. В отличие от обычных педагогических тестов, тензоплатформа позволяет установить, за счет каких биомеханических компонентов достигается результат в прыжке.

Для оперативного контроля рекомендуется отслеживать не только высоту выпрыгивания (h_D), но и другие показатели, характеризующие прыжок: вертикальную скорость отталкивания (V), мощность (N), а также изменение силы (F_z) при различных режимах работы мышц.

Полученные данные тензометрии целесообразно представлять в виде графиков изменения силы по времени ($F_z - t$), изменения силы по скорости ($F_z - V$), а также изменения мощности по времени ($N - t$). Такой подход позволяет выявить индивидуальную специфику отталкивания и соотнести спортсмена с одним из возможных профилей: скоростного, силового или скоростно-силового типа. Профилирование, в свою очередь, позволяет более обоснованно подбирать средства и методы подготовки баскетболистов с учетом индивидуальных особенностей.

Тензодинамометрия должна стать неотъемлемой частью биомеханического контроля баскетболистов любого уровня подготовленности, так как позволяет быстро и объективно оценивать биомеханическую структуру выполнения прыжка. У менее подготовленных спортсменов тензодинамометрия позволяет выявлять ошибки техники, а у высококвалифицированных спортсменов — контролировать профиль взрывной силы и индивидуально подбирать тренировочные задания.

Список источников

1. Алиев Н. Б., Германов Г. Н., Кулишенко И. В. Модели скоростно-силовой подготовленности спортсменов — женщин-самбистов высокой квалификации различных весовых категорий // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. 2023. № 9 (223). С. 13–16. <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2023.09.p13-17>. EDN: FFPZHK.
2. Дубинин Г. В. Скоростно-силовые возможности десятиборцев разной квалификации / Г. В. Дубинин, В. Д. Кряжев, М. В. Еремин, А. И. Милюков // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. 2022. № 4 (206). С. 126–130. <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2022.4.p126-130>. EDN: TBTEUO.
3. Локтионов С. Э., Оганджанов А. Л. Методика совершенствования скоростно-силовых способностей юных футболистов на основе использования легкоатлетических средств // Известия Тульского государственного университета. Физическая

культура. Спорт. 2023. № 8. С. 60–68. 2023. <https://doi.org/10.24412/2305-8404-2023-8-60-68>. EDN: JLZBNE.

4. Седоченко С. В., Савинкова О. Н., Черных А. В. Оценка биомеханических характеристик эксцентрической и концентрической фаз прыжка СМJAS волейболистов // Физическая культура. Спорт. Туризм. Двигательная рекреация. 2023. Т.8. № 2. С. 70–76. EDN: LQLPXR.

5. Тычина Е. Г. Взаимосвязь показателей тензодинамо-метрического прыжкового теста и Вингейт-теста спортсменов циклических видов спорта. 2023. // Прикладная спортивная наука. 2023. № 2 (18). С. 31–40. EDN: NRGWYP.

6. Тычина Е. Г. Сравнительный анализ тензодинамометрических показателей прыжкового теста белорусских спортсменов // Прикладная спортивная наука: традиции, реалии, перспективы: тезисы докладов II Международной научно-практической конференции (Минск, 17–18 мая 2024 г.). Минск: Республиканский научно-практический центр спорта, 2024. С. 62–65. EDN VXBME.

7. Aničić Z. Assessment of countermovement jump: What should we report? / Z. Aničić, D. Janićević, O. M. Knežević et al. // Life. 2023. Vol. 13. № 1. Art. 190. <https://doi.org/10.3390/life13010190>. EDN: MQLLQX.

8. Baritză M. I. Video system correlated with force plate recordings for vertical jump biomechanics analysis / M. I. Baritză et al. // Procedia manufacturing. 2020. Vol. 46. P. 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.016>. EDN: PQEWWC.

9. Bobbert M. F., van Ingen Schenau G. J. Coordination in vertical jumping // Journal of biomechanics. 1988. Vol. 21. № 3. P. 249–262. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(88\)90175-3](https://doi.org/10.1016/0021-9290(88)90175-3).

10. Cormie P., McGuigan M. R., Newton R. U. Developing Maximal neuromuscular power. Part 1. Biological basis of maximal power production // Sports medicine. 2011. Vol. 41. № 1. P. 17–38. <https://doi.org/10.2165/11537690-000000000-00000>. EDN: YEPJFP.

11. Keogh J. A. J. Tracking the Reliability of Force Plate-Derived Countermovement Jump Metrics Over Time in Female Basketball Athletes: A Comparison of Principal Component Analysis vs. Conventional Methods / J. A. J. Keogh, Ch. Bishop, M. C. Ruder, D. Kobsar // Journal of Science in Sport and Exercise. 2023. <https://doi.org/10.1007/s42978-023-00239-8>. EDN: NLRWWP.

12. Linthorne N. P. Analysis of standing vertical jumps using a force platform // American Journal of Physics. 2001. Vol. 69. № 11. P. 1198–1204. <https://doi.org/10.1119/1.1397460>

13. Maffiuletti N. A. Rate of force development: physiological and methodological considerations / N. A. Maffiuletti, P. Aagaard, A. J. Blazevich et al. // European journal of applied physiology. 2016. Vol. 116. P. 1091–1116. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6>. EDN: DMCJXS.

14. Merrigan J. J. Identifying reliable and reliable force-time metrics in athletes-considerations for the isometric mid-thigh pull and countermovement jump / J. J. Merrigan, J. D. Stone et al. // Sports. 2020. Vol. 9. № 1. Art. 4. <https://doi.org/10.3390/sports9010004>. EDN: RMCVFG

15. Merrigan J. J. Countermovement jump force-time curve analyses: reliability and comparability across force plate systems / J. J. Merrigan, A. Strang, J. Eckerle et al. // Journal of strength and conditioning research. 2024. Vol. 38. № 1. P. 30–37. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004586>. EDN: DWQVQR.

16. Philipp N. M. Changes in countermovement jump force-time characteristic in elite male basketball players: A season-long analyses / N. M. Philipp, D. Cabarkapa, R. M. Nijem, A. C. Fry // PLoS ONE. 2023. Vol. 18. № 9. P. e0286581. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286581>. EDN: IGVMAZ.

17. Plakoutsis G. Reliability and validity of the portable kforce plates for measuring countermovement jump (CMJ) / G. Plakoutsis et al. // Applied sciences. 2023. Vol. 13. № 20. Art. 11200. <https://doi.org/10.3390/app132011200>. EDN: TPMZDN.

18. Suárez-Balsera C. Profiling the countermovement jump characteristics of basketball players across competitive levels and playing positions / C. Suárez-Balsera, D. Ferioli, E. Marín-Cascales et al. // Journal of human kinetics. 2025. Vol. 96. P. 83–95. <https://doi.org/10.5114/jhk/196138>. EDN: XTOYGG.

References

1. Aliev N. B., Germanov G. N., Kulishenko I. V. Models of speed-strength preparedness of highly qualified female sambo wrestlers of various weight categories. Scientific Notes of the P. F. Lesgaft University. 2023;(223):13–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2023.09.p13-17>. EDN: FFPZHK.

2. Dubinin G. V., Kryazhev V. D., Eremin M. V., Milyukov A. I. Speed-strength capabilities of decathletes of different qualifications. Scientific Notes of the P. F. Lesgaft University. 2022;(206):126–130. (In Russ.). <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2022.4.p126-130>. EDN: TBTEUO.

3. Loktionov S. E., Oganjanov A. L. Methodology for improving speed-strength abilities of young football players based on the use of athletics means. Izvestiya of Tula State University. Physical Culture. Sport. 2023;(8):60–68. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2305-8404-2023-8-60-68>. EDN: JLZBNE.

4. Sedochenko S. V., Savinkova O. N., Chernykh A. V. Assessment of biomechanical characteristics of eccentric and concentric phases of CMJAS jump in volleyball players. Physical Culture. Sport. Tourism. Motor Recreation. 2023;8(2):70–76. EDN: LQLPXR. (In Russ.).

5. Tychina E. G. Relationship between indicators of tenziodynamic metric jump test and Wingate test of athletes of cyclic sports. Applied Sports Science. 2023;(18):31–40. EDN: NRGWYP. (In Russ.).

6. Tychina E. G. Comparative analysis of tenziodynamic indicators of the jump test of Belarusian athletes. Applied Sports Science: Traditions, Realities, Prospects: abstracts of the II International Scientific and Practical Conference (Minsk, May 17–18, 2024). Minsk: Republican Scientific and Practical Center for Sports. 2024:62–65. EDN: VXBMFE. (In Russ.).

7. Aničić Z., Janićijević D., Knežević O. M. et al. Assessment of countermovement jump: What should we report? Life. 2023;13(1):190. <https://doi.org/10.3390/life13010190>. EDN: MQLLQX.

8. Baritză M. I. et al. Video system correlated with force plate recordings for vertical jump biomechanics analysis. Procedia Manufacturing. 2020;46:125–132. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.016>. EDN: PQEWWC.

9. Bobbert M. F., van Ingen Schenau G. J. Coordination in vertical jumping. Journal of Biomechanics. 1988;21(3):249–262. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(88\)90175-3](https://doi.org/10.1016/0021-9290(88)90175-3)

10. Cormie P., McGuigan M. R., Newton R. U. Developing maximal neuromuscular power. Part 1. Biological basis of maximal power production. Sports Medicine. 2011;41(1):17–38. <https://doi.org/10.2165/11537690-000000000-00000>. EDN: YEPJFP.

11. Keogh J. A. J., Bishop Ch., Ruder M. C., Kobsar D. Tracking the reliability of force plate-derived countermovement jump metrics over time in female basketball athletes: a comparison of principal component analysis vs. conventional methods. *Journal of Science in Sport and Exercise*. 2023. <https://doi.org/10.1007/s42978-023-00239-8>. EDN: NLRWWP.
12. Linthorne N. P. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*. 2001;69(11):1198–1204. <https://doi.org/10.1119/1.1397460>
13. Maffiuletti N. A., Aagaard P., Blazevich A. J., Folland J., Tillin N., Duchateau J. Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*. 2016;116:1091–1116. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6>. EDN: DMCJXS.
14. Merrigan J. J., Stone J. D. et al. Identifying reliable and reliable force-time metrics in athletes-considerations for the isometric mid-thigh pull and countermovement jump. *Sports*. 2020;9(1):4. <https://doi.org/10.3390/sports9010004>. EDN: RMCVFG.
15. Merrigan J. J., Strang A., Eckerle J. et al. Countermovement jump force-time curve analyses: reliability and comparability across force plate systems. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2024;38(1):30–37. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004586>. EDN: DWQVQR.
16. Philipp N. M., Cabarkapa D., Nijem R. M., Fry A. C. Changes in countermovement jump force-time characteristic in elite male basketball players: a season-long analyses. *PLoS ONE*. 2023;18(9):e0286581. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286581>. EDN: IGVMAZ.
17. Plakoutsis G. et al. Reliability and validity of the portable kforce plates for measuring countermovement jump (CMJ). *Applied Sciences*. 2023;13(20):11200. <https://doi.org/10.3390/app132011200>. EDN: TPMZDN.
18. Suárez-Balsea C., Ferioli D., Marín-Cascales E. et al. Profiling the countermovement jump characteristics of basketball players across competitive levels and playing positions. *Journal of Human Kinetics*. 2025;96:83–95. <https://doi.org/10.5114/jhk/196138>. EDN: XTOYGG.

Информация об авторах / Information about the authors:

Померанцев Андрей Александрович — кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры физической культуры, физиологии и медико-биологических дисциплин, Липецкий государственный педагогический университет имени П. П. Семёнова-Тян-Шанского, Липецк, Россия; доцент кафедры менеджмента и общегуманитарных дисциплин, Липецкий филиал Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Липецк, Россия.

Pomerantsev Andrey Alexandrovich — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physical Culture, Physiology and Biomedical Disciplines, Lipetsk State Pedagogical P. Semyonov-Tyan-Shansky University, Lipetsk, Russia; Associate Professor of the Department of Management and General Humanitarian Disciplines, Lipetsk Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation, Lipetsk, Russia.

ldlipetsk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4197-2183>.

Шкляров Владимир Борисович — кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры спортивных дисциплин, Липецкий государственный педагогический университет имени П. П. Семенова-Тян-Шанского, Липецк, Россия.

Shklyarov Vladimir Borisovich — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Sports Disciplines, Lipetsk State Pedagogical P. Semyonov-Tyan-Shansky University, Lipetsk, Russia.

shklyarov_vb@lspu-lipetsk.ru <https://orcid.org/0009-0005-7652-1747>

Соломенцев Роман Геннадьевич — магистрант Института физической культуры и спорта, Липецкий государственный педагогический университет имени П. П. Семенова-Тян-Шанского, Липецк, Россия.

Solomentsev Roman Gennadievich — Master's Student at the Institute of Physical Culture and Sports, Lipetsk State Pedagogical P. Semyonov-Tyan-Shansky University, Lipetsk, Russia.

romansolometsev@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-2953-8258>

Цветков Владислав Владимирович — аспирант кафедры физической культуры, физиологии и медико-биологических дисциплин, Липецкий государственный педагогический университет имени П. П. Семенова-Тян-Шанского; преподаватель, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Липецкий филиал), Липецк, Россия.

Tsvetkov Vladislav Vladimirovich — Postgraduate Student of the Department of Physical Culture, Physiology and Biomedical Disciplines, Lipetsk State Pedagogical P. Semyonov-Tyan-Shansky University; Lecturer, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Lipetsk Branch), Lipetsk, Russia.

vlad.tsvetkov4899@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9963-6430>

Вклад авторов:

Андрей Александрович Померанцев — общая концепция, проведение тензометрии.

Владимир Борисович Шкляров — организация тестирования команды, анализ данных, формулировка практических рекомендаций.

Роман Геннадьевич Соломенцев — анализ тензограмм.

Владислав Владимирович Цветков — математико-статистический анализ, написание и редактирование текста статьи.

Authors' contributions:

Andrey Alexandrovich Pomerantsev — general concept, conducting tensometric measurements.

Vladimir Borisovich Shklyarov — organization of team testing, data analysis, formulation of practical recommendations.

Roman Gennadievich Solomentsev — analysis of tensograms.

Vladislav Vladimirovich Tsvetkov — mathematical and statistical analysis, writing and editing of the article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the author declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 10.02.2026;
одобрена после доработки: 07.03.2026;
принята к публикации: 10.03.2026.

The article was submitted: 10.02.2026;
approved after reviewing: 07.03.2026;
accepted for publication: 10.03.2026.