

1517.1176

A496

Б-635

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ
КУЛЬТУРЫ

С.Ю. Алешинский, В.В. Тюпа, И.А. Тер-Ованесян,
А.П. Переверзев.

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНИКИ
ПРЫЖКА В ДЛИНУ.

Учебное пособие для студентов институтов
физической культуры

Москва - 1980

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

С. Ю. Алешинский, В. В. Тюпа, И. А. Тер-Ованесян,
А. П. Переверзев

4517.117.6
5635

Утверждено
Ученым советом ГЦОЛИФКА

**БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНИКИ
ПРЫЖКА В ДЛИНУ**

**Учебное пособие для студентов
институтов физической культуры**

Москва - 1980

ВВЕДЕНИЕ

Как уже неоднократно отмечалось рядом авторов (Дьячков, 1953; Нау, 1975; Попов, 1977 и др.), представление о технической простоте выполнения прыжка в длину является неверным, поскольку показанный результат зависит от большого количества взаимодействующих, часто противоречивых факторов. Выбор оптимального соотношения между ними – сложная задача. Мнение же о том, что прыжок в длину – одно из самых простых и естественных упражнений в легкой атлетике (Тыпаков, 1971), вероятно, в значительной степени относится как раз к тем вариантам исполнения, когда спортсмены смогли найти оптимальное соотношение этих факторов. Сложность прыжка в длину обусловлена еще и тем, что он состоит из ряда неповторяющихся движений, выполняемых с максимальной мощностью (Андреев, Мирзаев, 1977).

Наша задача, которая состоит в возможно кратком изложении количественных данных и представлений о технике прыжка^{х)}, осложняется определенной разрозненностью проведенных исследований, отсутствием единого подхода и преемственности. Хотя возможны различные способы рассмотрения прыжка, например, разбега с амортизационной фазой толчка и отталкивания с последующим полетом и приземлением (Гагин и др., 1976), мы условно примем, что прыжок в длину состоит из четырех органически связанных частей: разбега, отталкивания (точнее последней перед полетом опоры), полета и приземления. Если это не оговаривается специально, то речь будет идти о спортсменах высокой квалификации.

РАЗБЕГ

Целью разбега является создание начальных условий для наиболее эффективного отталкивания. Разбег является тонким и сложным процессом (Борковский, 1976) и, судячи об основной части прыжка, определяет его результативность (Попов).

^{х)} Настоящий обзор входит в серию обзоров по биомеханике отдельных видов спорта, подготавливаемых в отделении биомеханики проблемной лаборатории и на кафедре биомеханики ИСПОЛИИГА (руководитель – профессор В.М. Зайцевский).

Такие оценки этой части выполнения прыжка связаны главным образом с фактом имеющей место существенной зависимости длины прыжка от скорости, достигаемой на последних шагах разбега. Так, Поповым (1977) приводится таблица, из которой следует, что результатам от 6 м 90 см до 8 м 90 см соответствует диапазон возрастающих скоростей разбега от 9,1 до 10,7 м/с, а, например, попытки Тер-Ованесяна на 6 м 90 см, 7 м 81 см и 8 м 37 см были выполнены соответственно при скоростях 9,1, 9,5 и 9,8 м/с.

Еще в 1925 г. Барнов установил, что между скоростью бега на 100 м и результатом в прыжках в длину с разбега существует большая связь ($r = 0,375$), чем между всеми видами легкой атлетики ($r_{\text{ср.}} = 0,286$). Позднее неоднократно рассчитывались коэффициенты корреляции между скоростью прыгуна перед отталкиванием и длиной прыжка: $r = 0,93+0,96$ (Нау), $r = 0,943$ (Попов), $r = 0,820$ (Элинг Нигег Тья, 1972), $r = 0,83$ (Нигг, 1973). "Историческую" тенденцию к росту влияния скорости на результат прыжков отметил Лукин (1963).

Необходимостью успеть развить высокую (выше средне-дистанционной спринтерской) скорость объясняется использование довольно большой длины разбега (см. табл. I), причем в последнее время имеется тенденция к ее увеличению (Попов).

Таблица 1
Средние данные о длине разбега и числе шагов

Автор, год	Мужчины		Женщины	
	длина разбега, м	число шагов	длина разбега, м	число шагов
Дьячков, 1953	35-45		30-35	
Jarvet, 1970	45			
Андреев, Мирзаев, 1977	40-45		36-38	18-24
Попов, Bedt, 1977	39-50	19-24	33-40	18-21
Соорег, 1977	27-34			
Нау, 1978	36-45	17-23		

Значительное увеличение разбега нежелательно, так как приводит к определенной усталости к моменту отталкивания, поэтому весьма важен характер изменения скорости (Типаков даже называет развитие скорости "проблемой номер один"). Отметим,

кстати, что высококлассные прыгуны обладают высокими возможностями быстрого набора скорости и ее успешной реализации, за 19 беговых шагов Бимон набирал скорость 10,7 м/с, а Бостон и Робертсон прыгали соответственно с 10 шагов на 7 м 42 см и с 8 шагов на 7 м 43 см. Таким образом, длина разбега зависит от возможности спортсмена набрать высокую беговую скорость (Коробков, 1954), т.е. определяется его способностью к ускорению и, кроме того, поддержанию скорости (Попов). По наблюдениям Прижикова (1969), наивысшая скорость на последних шагах перед отталкиванием достигается в разбеге, который характеризуется интенсивным началом бега, поддержанием скорости в середине бега и ее повышением на последних метрах.

По Henry и Trafton (1951), увеличение скорости идет в соответствии с уравнением:

$$v(t) = V_{\max} (1 - e^{-kt}),$$

где k — так называемая "константа ускорения". Неожиданной кажется выявленная теснейшая связь этой константы с результатом $r = 0,911$ (Эвонг и Гибб Тью). Борковский, который исходит из опыта своих выступлений, а также Коробков рекомендуют равноускоренный разбег.

Довольно близки мнения относительно того, когда спортсмен должен достичь максимальной скорости (табл. 2), причем абсолютное большинство авторов рекомендует делать это раньше последнего шага, двигаясь далее "свободным ходом" (Коробков), когда теряется от 1 до 6% достигнутой скорости (Дьячков, Jarvet, 1970). Объясняется это, видимо, двумя причинами: во-первых, тем, что последний шаг должен быть в основном направлен на подготовку к прыжку, а, во-вторых, некоторое снижение скорости по сравнению с максимальной необходимо для лучшей управляемости отталкивания (в соответствии с Henry (1952), спортсмен не способен полностью контролировать свои движения при максимальной скорости).

Хотя развиваемая спортсменом скорость весьма важна, она отно-дно не определяет полностью его результат — к такому выводу приводит работа Лукина (1963), который измерял максимальную спринтерскую скорость спортсменов и сопоставлял ее с показанными результатами в прыжках в длину, предварительно разбитыми на группы (см. табл. 3).

Таблица 2

Момент достижения максимальной скорости

Автор	Когда достигается максимальная скорость
Дьячков	на последнем шаге
Попов	за 2-4 шага до отталкивания (лучше имеют $V = 10,2+10,6$ м/с)
Примаков Коробков	не ранее, чем за 5 м до места отталкивания за 4 шага до отталкивания (прыгуны высшей классификации - за 2)

Таблица 3

Соотношение результатов прыжков в длину
с разбега и скорости бега (по Лукину, 1963)

№ п/п	Результаты прыжка, м	М у ж ч и н ы				Ж е н щ и н ы			
		количество случаев	средний результат прыжка, м	средний скоростной коэффициент прыжка, м/с	коэффициент корреляции	количество случаев	средний результат прыжка, м	средняя скоростной коэффициент прыжка, м/с	коэффициент корреляции
1	2-2,99	36	2,67	6,10	0,414	63	2,66	6,17	0,542
2	3-3,99	284	3,58	7,04	0,589	304	3,47	7,00	0,675
3	4-4,99	329	4,48	8,07	0,605	207	4,51	8,00	0,511
4	5-5,99	271	5,50	8,93	0,535	546	5,47	8,70	0,456
5	6-6,99	576	6,54	9,61	0,485	120	6,16	9,17	0,224
6	7-7,99	331	7,31	10,20	0,399				
7	8-...	20	8,12	10,49	0,012				

Из таблицы видно, что как у мужчин, так и у женщин улучшение результатов в прыжках связано с повышением скорости бега. Интересно, что в тех случаях, когда легкоатлетки добивались приблизительно равных с мужчинами-прыгунами результатов, они имели меньшую скорость, что свидетельствует о лучшей технике. Полученные коэффициенты корреляции показывают, что наибольшее значение скорость бега имеет в подростковом возрасте (низкие результаты в таблице), которое уменьшается с ростом результатов. В связи с этим Лукин считает, что по мере укрепления организма и улучшения специальной физической подготовленности все большее

значение приобретает техника и поэтому результаты прыжков в длину меньше зависят от скорости разбега.

Прямо противоположные результаты получены Ballreich (1970), который также разбил на группы 60 испытуемых (1: 5 м + 5 м 90 см, 2: 5 м 90 см + 6 м 35 см, 3: 6 м + 7 м 15 см), причем оказалось, что для первой группы толчок доминировал над разбегом, в то время как для третьей группы основной результата был разбег и в меньшей степени отталкивание и приземление. Противоречивость выводов Лукина и Ballreich, вероятно, является следствием случайности выборок, а также разного диапазона колебаний результатов в выборках.

Тер-Ованесян, Попов, Ващилин, отмечая необходимость ритмического построения разбега, подчеркивают особую важность создания оптимального ритма двух последних шагов. Последняя часть разбега является одной из решающих фаз достижения высокого результата (Рохлин, 1963), когда меняются как длина, так и частота шагов. Обычно два последних шага с толковой ноги увеличиваются, а с маховой — уменьшаются (Дьячков, 1964), причем последний шаг перед отталкиванием, как правило, короче предпоследнего на 5-10% (Nigg, 1973), на 25-40 см (Андреев, Мирзаев), на 20-30 см (Коробков). Эти данные согласуются с результатами Родон (1969), который на 24 прыгунах мирового класса определил средние длины предпоследнего (2 м 45 см) и последнего (2 м 10 см) шагов.

В то же время укорочение последнего шага наблюдается не в 100% успешных попыток — Вильямс обычно делал последний шаг длиннее предпоследнего, а Бимон показал результат 8 м 90 см при длине предпоследнего шага 2 м 40 см и последнего 2 м 57 см, серебряный призер Мюнхенской Олимпиады во всех попытках удлинял последний шаг. Най рассчитал коэффициент корреляции между отношением длин предпоследнего шага к последнему и длиной прыжка:

$r = -0,33$. Хотя коэффициент и не велик, все же он свидетельствует о предпочтительности удлинения последнего (предтолкового) шага. Андреев и Мирзаев, не уточняя того, какой из шагов должен быть более длинным, считают, что они не должны слишком отличаться друг от друга, Попов рекомендует 3/4 длины стопы, а Эгонг Нгип Тья указывает предельную разность длин между этими шагами в 20 см, превышение которой приводит к значительному уменьшению

скорости перед отталкиванием. Ramey (1974) с помощью математической модели нашел существенную зависимость между удлинением последнего шага и усилением заднего вращения в полетной фазе.

Что касается частоты шагов в беге то по мнению Дьячкова, она увеличивается вплоть до последних 3-4-х шагов, когда шаги с толковой ноги выполняются несколько медленнее, а с маховой — быстрее. Поиск наилучшего ритма, являющийся ответственной частью работы тренера и спортсмена (Попов), а также овладение им способствует не только подготовке к эффективному отталкиванию, но и позволяют более точно и стабильно приходить на место отталкивания. Этому же способствует стабильность изменения положения туловища — в начале разбега оно сильно наклонено вперед (30-35°), в средней части — выпрямляется (80°), на последних шагах — близко к вертикали (Лалиашвили, 1968; Ломан, 1974; Нау), а перед отталкиванием может даже несколько отклониться назад (Коробков) на 3-5° (Попов).

Точность разбега во многом определяется стандартностью условий движения, причем, как показал Элтон Нигел Тэй, не зависит от пола. Вообще, ряд авторов (Масловский и др., 1965; Бальсевич и др., 1974; Ратов, 1976) отмечают, что высокое техническое мастерство характеризуется стабильностью воспроизведения одних элементов при некоторой приспособительной вариативности других.

Очень важным фактором в организации отталкивания и улучшения условий его выполнения является поведение ОЦМ на последних шагах разбега. Как отмечает Исэв (1961), его понижение в конце разбега полезно и неизбежно, хотя при хорошем ритме внешне и не всегда заметно (Попов).

Большое значение имеет время начала понижения ОЦМ. Дьячков, а также Андреев и Мирзаев считают, что оно должно происходить в предпоследнем перед полетом контакте толковой ноги с опорой. Дьячков отмечает, что у спортсменов, недостаточно владеющих техникой и стремящихся выше прыгнуть, подседание происходит преждевременно и заметно уже за три шага до отталкивания. В то же время отсутствие понижения ОЦМ в последнем шаге отмечается Дьячковым как положительный фактор. По мнению Кузнецова, снижение ОЦМ должно быть лишь в полетной фазе предпоследнего шага.

Толковая нога ставится на планку с передней части стопы,

по возможности сверху под углом $60-70^\circ$ к горизонтали (Попов).

Перечислим теперь основные начальные условия перехода от разбега к отталкиванию, достижение которых имеет своей целью успешный разбег; это достижение высокой (контролируемой) скорости, отсутствие опускания ОЦМ в момент перехода к толчку, вертикальное или чуть отклоненное назад положение корпуса и постановка ноги под углом порядка $60-70^\circ$.

По единодушному мнению специалистов, основу двигательных действий составляют разбег и отталкивание (Кузнецов, 1964; Фермер, 1971; Гагин и др., 1976), причем Ионов (1961), Бутенко (1962), Попов (1964, 1969), Еремин (1967), Тер-Ованесян (1971), анализируя действия прыгунов в длину, отмечают необходимость совершенствования фазы перехода от разбега к отталкиванию для достижения высоких результатов.

ОТТАЛКИВАНИЕ

Результат прыжка в длину (точнее его "зачетная длина") L может быть представлен в виде:

$$L = X_1 + X_2 + X_3, \quad (1)$$

где X_1 - расстояние от переднего края бруска до проекции ОЦМ на плоскость опоры в момент вылета, X_2 - дальность полета ОЦМ, X_3 - расстояние между проекцией ОЦМ в момент приземления и ближайшими к бруску следами приземления. Рассмотрим вначале факторы, влияющие на величину X_2 , составляющую в среднем 88,5% от L (X_1 - 3,5%, X_3 - 8%, Най, 1978).

Как известно, дальность полета тела, имеющего горизонтальную скорость вылета V_x , вертикальную $-V_y$ и начальную высоту y_0 , определяется формулой:

$$X_2 = \frac{V_x}{g} (V_y + \sqrt{V_y^2 + 2gy_0}) \quad (2)$$

Известно также, что если задана абсолютная величина скорости, то X_2 будет максимальной в случае, когда $V_x = V_y$, или, что то же самое, когда угол вылета $\alpha = \text{arctg}(\frac{V_y}{V_x}) = 45^\circ$.

В то же время расчеты горизонтальной и вертикальной составляющих вектора скорости вылета ОЦМ для реальных прыжков в длину показывают, что α гораздо меньше 45° . Связано это, очевидно, с тем, что создание вертикальной и горизонтальной скорости вы-

лета является для прыгуна задачами отнюдь не равной трудности хотя бы потому, что к началу отталкивания он уже имеет значительную горизонтальную скорость. Обычное соотношение между V_x и V_y равно 3:1 (Ломан, 1974), что приблизительно соответствует углу вылета $18,5+21^\circ$ (Дьячков). Лучшим прыжкам, как правило, соответствует угол $20+24^\circ$ (Андерсез, Мирзаев Попов), $\bar{L} = 24,2^\circ$ (Bedi, Couvet), $\bar{L} = 21^\circ$ (Попов), плохим - около 17° (Bedi, Couvet).

Проиллюстрируем важность достижения некоего минимального угла вылета двумя примерами. Из уравнения (2) следует, что даже при фантастически высокой скорости бега (14 м/с) и отсутствии толчка вверх ($\bar{L} = 0$, $V_y = 0$) расчетная длина прыжка будет лишь около 6 м (Кузнецов, 1961).

Можно получить выражение для прироста длины прыжка в зависимости от увеличения V_x и V_y (Ramey, 1972):

$$\Delta X_2 = \frac{1}{g} \left\{ [V_y + (V_y^2 + 2gy_0)^{1/2}] \Delta V_x - V_x [1 + V_y(V_y^2 + 2gy_0)^{-1/2}] \Delta V_y \right\}, \quad (3)$$

из которого легко видеть, что при параметрах прыжка $V_x = 9+10$ м/с, $V_y = 3+3,5$ м/с, $y_0 = 1$ м приращение вертикальной скорости приблизительно вдвое выгодней (Кузнецов; Ballzeich; Bedi, Couvet).

По Донскому основная задача отталкивания - в обеспечении максимально возможной скорости вылета тела при наиболее благоприятном расположении его частей.

Обратим внимание, что в реальных прыжках с установкой на максимальный результат при отталкивании уменьшается не только горизонтальная скорость (на 1,8-2 м/с (Дьячков) или на 10-15% (Jarvet), 11,3-14,8% (Дурсенев, 1974), но и результирующая скорость вылета^{x)}. По данным Попова, у лучших прыгунов она снижается на 0,6+1,1 м/с, по Нау - на 1 м/с, а, например, в достаточно удачном тройном прыжке О. Федосеева (16 и 35 см) горизонтальная скорость в конце разбега была 10,2 м/с, начальная же скорость скачка - 9,35 м/с при горизонтальной скорости 8,9 м/с. На последних шагах и при отталкивании горизонтальная скорость нередко снижается почти на 20% (Кузнецов)

^{x)} Верхошанским (1974) показано, что сохранение или увеличение скорости за время отталкивания возможно лишь при прыжках с места или с медленного разбега.

Будем считать, что с точностью до X_1 и X_3 техника с галкивания является оптимальной, если спортсмен, используя скорость разбега и свои физические возможности, добивается сочетания величин горизонтальной и вертикальной скорости вылета, дающих наиболее дальнюю траекторию полета.

Берштейн (1940), Осипов (1940), Садчиков (1940), Лукин (1949), анализируя основные факторы, определяющие дальность прыжка, считали, что даже ничтожные изменения времени опорной реакции при отталкивании сумес зенно влияют на дальность прыжка.

Время опоры у лучших прыгунов равно 0,11±0,03 с (Дьячков, Попов, Андреев, Мирзаев), 0,11±0,12 с (Vedi, Соверт), 0,115±0,118 с (Гирис, Сарис, 1973), причем оно сокращается как с повышением спортивного мастерства (Верхованский; Vedi, С. Jaz), так и с улучшением результатов в конкретных попытках (Ecker; Volkreich; Соверт и др., 1973). В последнем случае указываются коэффициенты корреляции, равные - 0,581 (Flynn), -0,64 (Nigg), -0,89 (Bosco), -0,881 (Примаков), -0,72 (Василин). Nigg, определяя время опоры у шести прыгунов (во время матча Западная Германия - Швейцария), обнаружил, что у победителя его изменения колебались от попытки к попытке между 0,080 и 0,104 с, а у проигравших - в диапазоне 0,107±0,143 с.

Шоппе вероятно, что такая тесная связь объясняется известной зависимостью (2) длины прыжка от горизонтальной скорости вылета, которая, в свою очередь, связана со скоростью разбега, а коэффициент корреляции этой скорости - со временем отталкивания равен -0,43 (Nigg).

Сокращение времени опоры усложняет задачу развития вертикальной скорости. Исследованию того, как решение этой задачи влияет на результат, посвящена работа Bosco, Luhtanen, Komi (1976). Время опоры делится на две части - до пересечения траекторией OIM вертикали, проходящей через точку контакта, и после. Оказалось, что результат прыжка в весьма значительной степени зависит от прироста вертикальной скорости (ΔV_y) в первой части ($r = 0,78$) и почти не зависит от ΔV_y - во второй, хотя именно в это время происходит среднее увеличение V_y на 50%. В хороших попытках OIM начинает перемещаться вверх сразу после контакта, увеличивая путь подъема OIM в первой

Еще одно замечание касается мнения авторов, которые считают концом фазы амортизации момент достижения второго главного максимума вертикальной компоненты опорной реакции, исходя из якобы наименьшего положения в это время ОЦМ. Это утверждение неверно, так как из наличия в некоторой точке экстремума функции (минимума перемещения) вовсе не обязательно следует максимум ее второй производной (ускорения или равной ему с точностью до константы и постоянного множителя силы).

Итак, первый максимум, достигающий значений порядка 400 кг (Попов; Jatzvet ; Bosco и др.) или 600-700 кг (Озолин), и дальнейшее убывание величины вертикальной компоненты опорной реакции является следствием сопряжения ударной постановки опорной ноги и ее амортизационного действия, время которого, по мнению Попова, необходимо сократить для "разворота вектора скорости" вверх на больший угол. Однако амортизационные действия необходимы не только для смягчения удара при постановке (Озолин), но и для создания таких углов в суставах ноги, при которых взрывное разгибающее действие мышц при аккильном отталкивании будет наибольшим (Лукин). Постановка почти прямой ноги (Озолин; Лалиашвили) при угле в КС 165-177° (Дьячков) или 175-178° (Попов) и 165-170° в ТБС (Попов) осуществляется под углом 65-70° (Андреев, Мирзаев) угол увеличивается до 70° с ростом результатов (Попов) почти на всю ступню (Дьячков, Лалиашвили, Солдаткин). Далее осуществляется быстрый перекач на носок (Андреев, Мирзаев; Ломан) значительно раньше достижения телом вертикали (Дьячков). Дьячков отмечает, что ударная постановка при большом угле упора не дает положительных результатов.

Эрмимов рекомендует скоростную установку на отталкивание, что пригодит к более эффективной организации движения. Силовая же установка характеризуется значительным снижением предтолчковой скорости и перегрузкой толчковой ноги (Еремин).

Второй максимум превышает вес тела приблизительно в 4-4,5 раза и достигается за время, близкое к половине времени отталкивания (Ramey). Возрастание опорной реакции является результатом маховых движений и разгибания толчковой ноги (преодолевающая работа).

Большинство авторов отмечает большее значение создания в этот период наибольшего давления на опору (Попов; Nay ; Ramey),

которое обеспечивается в основном за счет быстрого разгибания опорной ноги (Кузнецов). Ramey, рассчитав значения инерционных сил с помощью 9-звенной математической модели, определил, что вклад маховых движений в величину вертикальной опорной реакции не превышает 20% (по данным Попова - 27%).

Вопросу об использовании маховых движений посвящено значительное количество работ (Донской, Коренберг, Семенов, Бальсевич, Дурсенев, Терхошанский, Лалиашвили).

Обсуждаются вопросы о моменте начала и конца маховых движений ноги, их интенсивности, плавности торможения и т.д. В частности, рекомендуется мах согнутой ногой (Лалиашвили) с "подобранной" голенью (Еремин), причем Nigg отмечает неожиданное слабое влияние высоты подъема маховой ноги на вертикальную скорость вылета ($\Gamma = 0,15$). На наш взгляд, ряд вопросов об эффективности маховых движений мог бы быть снят при рассмотрении их с точки зрения решения основной задачи отталкивания - создания оптимального соотношения между величиной и направлением вектора скорости вылета С.М. С точки зрения динамики это означает создание таких инерционных сил в центрах масс (ЦМ) маховых звеньев, которые, вычитаясь из величины реакции опоры от действия толчковой ноги, максимально сильно "толкают" ОЦМ в направлении, вылет в котором обеспечивает наибольшую дальность.

Хотя такой подход сразу и не дает однозначных ответов, однако указывает направление путей их поиска.

Например, решение вопроса о том, когда должен начинаться и заканчиваться мах ногой до (Бачваров) или после (Коренберг) окончания отталкивания может быть существенно облегчено использованием результатов количественного расчета векторов сил в ЦМ сегментов маховой ноги.

Увеличение максимальных значений вертикальных составляющих опорных реакций отмечал Дьячков у спортсменов I-II разрядов 300-350 кг (мужчины), 200-275 кг (женщины), у мастеров спорта - более 400 кг (мужчины) и более 300 кг (женщины).

Селуинов и Максимов (1977), определяя зависимость между временем последнего шага и результатом прыжка двух испытуемых при установках на "легкое, среднее и максимальное усилие", сделали вывод о постоянстве импульса и вертикальных составляющих опорной реакции для каждого спортсмена, т.е. о линейной зависимости между скоростью разбега и результатом.

Попов, анализируя динамические характеристики отталкивания при увеличении скорости разбега с 7 до 10 м/с, обнаружил закономерное увеличение ударных сил и вертикальных усилий на 15-20%.

Организация поворота вектора горизонтальной скорости тесно связана с действием продольной составляющей опорной реакции, которая почти во все время отталкивания тормозит движение ОЦМ вперед, увеличивая тем самым время проявления подъемных сил. Дьячков считает стопорящий толчок единственно правильным, так как он приводит к подъему ОЦМ и увеличивает вертикальную скорость вылета, что подтверждают *Bedi*, *Cooper*. Суммарный вектор опорной реакции направлен назад вверх в течение почти всего опорного периода. Средний импульс вертикальной силы равен 187 нс, продольной - 82 нс (*Bedi*, *Cooper*). Если известна начальная скорость спортсмена в момент наступания, его вес и табулированные профили опорных реакций, возможен расчет скорости вылета ОЦМ на основе определения импульса действующих сил. Как уже отмечалось выше, сложность выбора техники прыжка в длину связана с предпочтением наиболее выгодного сочетания целого ряда, как правило, противоречивых факторов. Создание наилучших скорости и угла вылета является обычно результатом таких начальных положений и скоростей сегментов тела прыгуна и деф-т-вий таких опорных реакций относительно ОЦМ, которые приводят к вращению тела в полете, причем хорошим прыжкам соответствует переднее вращение (*Bedi*, *Cooper*; *Ramey*; *Hay*). Как известно, кинетический момент, отражающий степень вращения тела спортсмена в полете относительно поперечной оси, можно рассчитать по формуле (см. рис. 2):

$$H = H_0 + \int_0^{t_{on}} [R_x y_c - (x_c - x_0) R_y] dt, \quad (4)$$

где H_0 - кинетический момент, имеющий к началу опоры, H - его величина к концу опоры; t_{on} - продолжительность опоры; R_x , R_y - горизонтальная и вертикальная компоненты вектора опорной реакции; x_c , y_c - координаты ОЦМ, x_0 - координата точки приложения вектора \vec{R} .

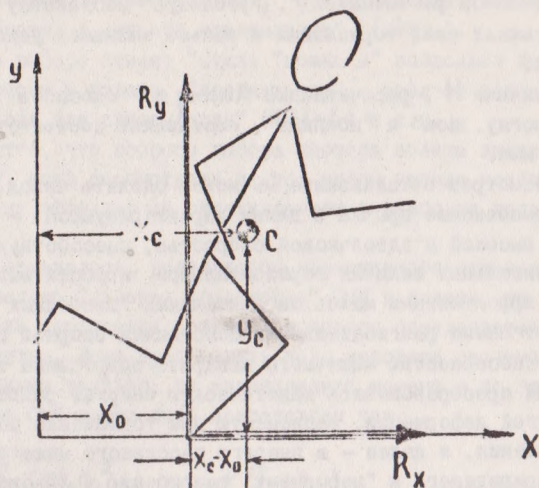


Рис. 2. Используемая система координат

Поскольку компонента R_x почти во все время отталкивания отрицательна, т.е. направлена против движения ОЦМ, то и интеграл от первой части подынтегрального выражения ввиду положительности y_c также отрицателен. Это означает создание отрицательного (поворачивающего по часовой стрелке, если смотреть справа) кинетического момента.

Расчеты Bed_1 , $Coopex$ кинетического момента, обусловленного вертикальной компонентой, показывают что интеграл от второй части подынтегрального выражения (4) может иметь как положительное, так и отрицательное значение в зависимости от соотношения величин вертикального и горизонтального опорной реакции до пересечения траекторией ОЦМ линии его действия и после. Однако абсолютная величина этой части выражения (4) значительно меньше интеграла от первой части. Это и является формальной причиной переднего вращения, наблюдаемого в реальных прыжках.

Фактической же причиной является постановка напряженной ноги впереди ОЦМ, причем $Coopex$ считает, что для лучших прыгунов характерен наибольший тормозящий импульс. В то же

4/5106

время Бачваров рекомендует "гребущую" постановку ноги, которая снижает силы торможения и раньше вызывает ускорение маховой ноги.

Величины H , рассчитанные Ramey для способов "поджав ноги", "прогнувшись" и "ножицы", составляют соответственно 5, 10 и 15 нмс.

Рассмотрев отталкивание, мы можем сделать вывод, что техническое выполнение прыжка в длину характеризуется:

- 1) высокой толчковой скоростью, способствующей созданию значительных величин горизонтальной скорости вылета;
- 2) эффективными маховыми движениями "свободных" конечностей и активными разгибательными действиями опорной ноги;
- 3) способностью мышечного аппарата спортсмена за кратчайшее время преобразовывать кинетическую энергию разбега в энергию упругой деформации, запасаемую при торможении поступательного движения, и далее - в энергию пассивного мышечного сокращения, приводящего к "взрывному" разгибанию толчковой ноги.

Последнее положение соответствует мнению о том, что в основе отталкивания лежит использование способности мышц к растяжению с последующим быстрым и мощным сокращением (Попов), а также рекомендациям учитывать при отборе способности атлетов к концентрации больших динамических усилий (Гирис, Сирис).

ПОЛЕТ

Прежде всего заметим, что определение стилей прыжков, исходя из различий в движениях, произведенных спортсменом в воздухе, хотя и является наиболее легким, однако не кажется нам достаточно удачным, поскольку поведение прыгуна в полете не отражается на форме траектории ОЦМ и мало влияет на результат (Ломан, меняя его не более чем на 8% от общей длины (конечно, при успешном приземлении). Следует, вероятно, согласиться с мнением Попова о том, что способы "поджав ноги", "прогнувшись", "ножицы" - это способы сохранения равновесия, а не стили прыжков.

Приведем несколько точек зрения на цель движения сегментов тела спортсмена в полете: "Сохранить и поддержать равновесие и занять исходное положение группировки для последующего далекого выбрасывания ног" (Дьячков), "Создать условия для хо-

рошего приземления" (Stawan, 1963), "препятствовать падению спортсмена обратно в яму при приземлении" (Ecker).

Мнения о выборе стиля: "Стиль "ножницы" позволяет поддерживать равновесие в полете, "прогнувшись" - создает неблагоприятные условия для приземления" (Mal'cov) и т.д.

Нам кажется, что вопросы выбора способа полета значительно прояснятся, если рассмотреть их под углом зрения необходимости связи между эффективным отталкиванием и наиболее дальним приземлением.

Как уже отмечалось, результатом эффективного отталкивания является не только "дальняя траектория" ОЦМ в полете, но и переднее вращение спортсмена, степень которого определяется кинетическим моментом. Если представить тело человека системой шарнирно-соединенных звеньев, то кинетический момент в полете относительно его ОЦМ может быть представлен как

$$H = \sum_{i=1}^n (m_i r_i^2 \omega_i / \omega_{ЦМ} + J_i \omega_i), \quad (5)$$

где m_i , J_i , ω_i - соответственно масса, момент инерции и угловая скорость i -го звена; $\omega_i / \omega_{ЦМ}$ - угловая скорость отрезка, длиной r_i ; соединяющего ОЦМ и ЦМ i -го звена.

Из закона сохранения кинетического момента системы при отсутствии действия на него внешних сил (сопротивлением воздуха здесь мы можем пренебречь) следует, что, меняя угловые скорости звеньев (в результате чего меняются и r_i), можно придать слагаемым ту или иную величину (естественно, имеются ограничения скорости - силового и анатомического характера). Замедляя или ускоряя звенья конечностей, спортсмен имеет принципиальную возможность изменить скорость поворота туловища вперед, приводя его к моменту приземления в положение, удобное для приземления. Таким образом, разные стили полета являются способами различной эффективности борьбы с передним вращением туловища.

Подтверждением высказанного положения является использование "ножниц" квалифицированными спортсменами, создающими при отталкивании в качестве "издержек производства" большой вращательный момент. "Бег по воздуху", когда назад проводятся распрямленные, а вперед (иногда "через стороны") согнутые но-

ги, приводит к обтому компенсаторному повороту туловища назад. По своим потенциальным возможностям способы "поджав ноги", "прогнувшись", "ножницы $2\frac{1}{2}$ и $3\frac{1}{2}$ шага" имеют возрастающую эффективность в смысле гашения переднего вращения туловища.

В связи с приведенными рассуждениями интересно наблюдение Коробова о том, что при "потере равновесия" в воздухе, когда прыгуна "начинало крутить", переход на "ножницы" позволял осуществить "нормальное" приземление.

El Khadem, Husek (1966) считают, что стиль прыжка должен определяться временем полета: в прыжке до 6 м следует использовать способ "поджав ноги", от 6 до 6,5 м - "поджал ноги" или "прогнувшись", от 6,5 до 7 м - "прогнувшись", от 7 до 7,5 м - "ножницы $2\frac{1}{2}$ шага", свыше 7,5 - "ножницы $3\frac{1}{2}$ шага".

Хотя рекомендации скорее всего верны, однако в основе их лежит прежде всего необходимость выбора более эффективного способа борьбы с большим передним вращением, свойственным далеким прыжкам. Кроме того, ошибочным является неявно высказываемое положение об однозначной связи между длиной прыжка и временем полета.

Не кажется правильным и заключение **Ramey** о том, что кинетический момент, приобретенный за время отталкивания, должен соответствовать избранному стилю прыжка. Наоборот, характер движений прыгуна в воздухе должен определяться степенью получаемого при отталкивании вращения.

Как видим, формальный подход нередко приводит к ошибочным заключениям. Еще раз это демонстрирует работа **Muthiah**, который пытался определить направление вращения тела прыгуна в полете, исходя из поворота оси, проходящей через центр масс верхней и нижней частей тела по отношению к некоторому фиксированному направлению. Обнаружив у каждого из 38 прыгунов во все время их полета поворот (на $10-36^\circ$) указанной оси против часовой стрелки (если наблюдать справа от прыгуна), **Muthiah** сделал вывод о заднем вращении всего тела.

Помимо положения туловища, определенную роль в сохранении динамического равновесия и увеличении дальности прыжка играют угловые скорости и положения всех сегментов в момент приземления, например, подъем ступней на 10 см перед приземлением приносит около 16 см "дополнительной" дальности.

Высот. подъема ОЦМ в полете 35-40 см у женщин и 40-55 см у мужчин (Дьячков).

ПРИЗЕМЛЕНИЕ

Хотя техника приземления изучалась рядом авторов (например, *Miler*, 1965; *Malcolm*, 1961), однако количественные результаты, к сожалению, почти полностью отсутствуют.

Как и для других частей прыжка в длину, требования, предъявляемые к приземлению, в определенной степени противоречивы - это максимально далекое вынесение ног, увеличивающее результат, и в то же время создание такой позы и скоростей сегментов тела в момент приземления, которые позволяют избежать падения прыгуна на спину.

С биомеханической точки зрения оптимальным приземлением является такое, при котором возникающий при контакте максимально удаленных от толчковой планки стоп с опорой вектор опорной реакции (точнее его момент относительно ОЦМ) снижает кинетический момент до нулевого значения, не меняя его знака. Практически это достигается предварительным движением рук назад, их дальнейшим выносом вперед при возникновении контакта (Чен), "поддвигиванием" в коленях (Короиков) и продвижением туловища вперед между коленей (Нау). Описание движения рук и туловища сокращает плечо действия вектора силы опорной реакции, относительно ОЦМ, а подгибание ног уменьшает величину этой силы, что совместно снижает опрокидывающий момент.

McIntosh и *Haley* (1952), исследуя технику приземления, с удивлением обнаружили, что стопы прыгуна при приземлении касаются опоры ближе к месту отталкивания, чем воспринимаемая точка пересечения траектории ОЦМ с опорой. Авторы определили также, что при приземлении положение "перочинный нож" (туловище наклонено вперед, руки вытянуты в направлении ступней) менее выгодно, чем разгруппированное положение (туловище слегка отклонено назад, руки свисают бедер). Если в первом случае пятки касаются опоры на 40 см позади названной точки пересечения, то во втором случае это расстояние сокращается до 30 см. Полученные результаты ввиду малой статистики (две попытки одного испытуемого) требуют, безусловно, экспериментального подтверждения.

Прыжок Боба Бимона

Выдающийся рекордный прыжок Бимона на 8 м 90 см в 1968 г. на Олимпийских играх в Мехико неоднократно подвергался качественному и количественному, описательному и сравнительному анализу (Ecker, 1971; Muthiah, 1972; Nett, 1972; Pickering, 1971; Pflagenhoef, 1973; Ryan, 1969).

Пожалуй, наибольший интерес представляет работа Pflagenhoef, основанная на кинограмме, полученной им от Muthiah, представлявшего доклад о прыжке Бимона на III Международном симпозиум по биомеханике (Рим, 1971). Исследование Pflagenhoef направлено, в основном на определение сил, действующих в опорной части прыжка. Для большей наглядности данные, полученные в процессе анализа прыжка Бимона, сравнивались с соответствующими характеристиками прыжков победителя Олимпийских игр 1972 г. Рэнди Вильямса (8 м 24 см) и студента одного из американских колледжей, специализирующегося в прыжках в длину (6 м 70 см). Обработка экспериментального материала проводилась с использованием ЭЕМ.

Начальные условия опоры. Скорость разбега перед опорой у Бимона (Б) и Вильямса (В), составляя 10,7 м/с, была на 1,2 м/с больше, чем у студента (С). Последний шаг Б (2 м 57 см) и В длиннее предпоследнего, равного у Б 2 м 40 см. Б касается опоры более согнутой ногой (160°), в то время как В и С ставят ее почти выпрямленной (175°).

Движения маховой ноги. Основные сведения о кинематике маховой ноги, взятые из статьи Pflagenhoef, сведены нами в табл. 4. Анализ сил в центрах масс бедра показывает, что в результате его значительного ускорения и торможения Б удалось создать не только большие величины сил, но и более близкое к вертикали положение их равнодействующей. Влияние голени, которое имеет негативный характер, так как сила в ЦМ направлена обычно назад, сведено Б до минимума ее незначительным торможением.

Суммарная величина сил в центре масс бедра и голени составила у Б 546 кг и была направлена под углом 34° (т.е. почти в направлении вылета, так как угол вылета равен 24°), в то время как у В и С эта сила равнялась 370 кг и имела направление назад-вверх.

Таблица 4

Движения маховой ноги

Показатели	Бимон	Вильямс	Студент
Максимум угловой скорости бедра маховой ноги, рад/с	26,6	18,2	18,0
Угол между бедром и горизонталью в момент максимальной скорости, град	63	63	90
Максимальное торможение бедра, рад/с ²	575	525	253
Угол между бедром и горизонталью в момент максимально заторможенной скорости бедра, град	26	35	39
Максимальное торможение голени, рад/с ²	98	785	320
Угол в коленном суставе в момент вылета, град	50	50	31
Минимальные величины угла в коленном суставе, град	38	26	39
Суммарная величина сил, развиваемых маховой ногой (кг) и ее направление	546	370	370
	(в направлении прыжка)	(вверх и назад)	(вверх и назад)

Движения толчковой ноги. Несмотря на большую угловую скорость голени толчковой ноги (см. табл.5) в момент ее постановки, в активным разгибательным движением в ТБС выровнял угловые скорости голени и бедра и так же, как В, был готов к активному отталкиванию при положении голени, отклоненной от вертикали на несколько градусов назад. (Анализируя технику В, Попов также видит одну из основных причин его успеха в малой амортизации - 18° против 25° у В и С). С добился этого лишь после поворота голени относительно вертикали на 10° . Рассчитанная сила, развиваемая В, в четыре раза превисила соответствующую силу у С.

Движения туловища. Отмечая важность движения туловища, **Plagenhoef** указывает на его исключительно малое колебание у В ($87-93^{\circ}$ против $75-95^{\circ}$ у В и $75-110^{\circ}$ у С). Этого удалось добиться активным разгибанием ТБС, которое с учетом большого относительного веса туловища привело к созданию значительной вертикальной силы.

Таблица 5

Движения толчковой ноги

Показатели	Бимон	Вильямс	Студент
Угол сгибания в КС в момент постановки, град.	160	175	175
Угол сгибания в КС перед началом фазы отталкивания, град.	142	150	150
Положение голени в момент начала активного отталкивания	отклонена на не- сколько градусов назад		вперед на 10°
Скорость голени в момент постановки, рад/с	22	15	10

Таблица 6

Движения руки разноименной толчковой ногой

Показатели	Бимон	Вильямс	Студент
Диапазон движения плеча, град.	38	34	12
Скорость движения плеча, рад/с	13,4	11,6	весьма мала
Максимальная величина торможения, рад/с ²	121	не ука- зана	не ука- зана
Диапазон движения предплечья, град.	65	19	81
Угол в локтевом суставе в момент отталкивания, град.	131	98	40
Направление силы реакции, вызванной движением руки	вперед- вверх	вверх	не ука- зана

Движения руки разноименной толчковой ногой. Эта рука непрерывно движется назад, причем действие ее наиболее эффективно у Б, который сочетал движение предплечья с движением плеча таким образом, что результирующая сила опорной реакции, вызванная движением всей руки, почти во все время опоры была направлена вперед вверх. Более согнутое в локте положение руки разноименной толчковой ногой вызвало при прыжке В результирующую силу, направленную почти вертикально вверх.

Движения руки одноименной толчковой ногой. Эта рука выполняет энергичное движение вперед, причем у Б и В диапазон движе-

ния на 20° больше, чем у С, за счет ее начального положения. Максимальные скорость и торможение руки 27 рад/с и 606 рад/с² имел Б. У В - 17 рад/с и 470 рад/с², у С - 11 рад/с и 279 рад/с². Бимон раньше других начал торможение, облегчая работу по разгибанию ТЭС, что имело большее значение. Б и В во все время опоры сохраняли угол в локтевом суставе постоянным.

В заключение *Plagenhuf* отмечает, что в основе столь далекого (и высокого^х) прыжка Бимона лежат не только большие величины сил и ускорения, но, главное, такая координация движений всех частей тела, при которой развивающиеся силы действуют в нужном направлении.

Прыжок в длину способом сальто

В 1971 г. *Ecker* высказал в печати мысль о целесообразности использования техники выполнения сальто для прыжков в длину, обосновывая это возможным уменьшением потерь скорости, приобретенной при разбеге за время отталкивания. В США и Скандинавских странах началось интенсивное освоение нового стиля, причем в лабораториях Дании и США был проведен анализ сальто-техники. В 1974 г. *Ecker* опубликовал статью, где, основываясь на результатах, полученных *Twietmeyer* (1973), он попытался обосновать выгоду поворота спортсмена вперед в полетной фазе прыжка. Идвинутые преимущества новой техники можно сформулировать следующим образом:

1. Возможность более далекого выноса ОЦМ вперед к моменту окончания отталкивания (X_T) за счет большего наклона тела вперед (5 см).
2. Меньшее снижение горизонтальной скорости вылета ОЦМ за счет отсутствия необходимости торможения, препятствующего переднему вращению.
3. Увеличение угла вылета.
4. Уменьшение потерь на преодоление сил сопротивления воздуха за счет большей группировки (5 см против 10 см при использовании "ножниц").
5. Возможность более дальнего выноса ног вперед при приземлении (на 15 см и более).

^х) Наивысшая точка траектории полета ОЦМ у Б была на 75 см выше положения ОЦМ при вылете. Обычно эта высота у высококвалифицированных прыгунов равна 45-60 см.

Остановимся на преимуществах способа сальто, отмеченных **Ескез** :

1. Расчеты, проведенные Дурсеневым по определению положения ОЦМ в момент вылета у победителя матча команд СССР, США и ФРГ Дженнера, использовавшего сальто, и Тер-Ованесяна, свидетельствуют о большем выносе вперед ОЦМ американским спортсменом (на 5 см) (в предположении соответствия использованных при вычислениях величин масс сегментов тела).

Однако **Нау** (1975), давая некоторые средние кинематические характеристики прыжков сальто и "ножницы $2\frac{1}{2}$ шага", полученные при анализе восьми попыток студентов колледжа (средние результаты соответственно равны 6 м 40 см и 6 м 20 см), приводит для сальто $X_T=38$ см, для "ножниц" $X_T=46$ см). **Ramey** (1976) также считает, что X_T сокращается при сальто на несколько см, в то время как высота вылета ОЦМ увеличивается на 10 см.

2. Потери горизонтальной скорости, наблюдавшиеся **Нау**, были действительно меньше (на последнем шаге $V_{\text{х сальто}} = 9,5$ м/с, $V_{\text{х ножн.}} = 9,9$ м/с, при вылете $V_{\text{х сальто}} = 8,3$ м/с, $V_{\text{х ножн.}} = 8,5$ м/с), однако причина, указанная **Ескез**, неверна, так как торможение всегда способствует переднему вращению. Объяснение возможности меньших потерь горизонтальной скорости, несмотря на необходимый больший вращательный импульс при отталкивании в сальто, объясняется тем вкладом опорной реакции в переднее вращение, который происходит при сальто после прохождения спортсменом вертикали и оказывается достаточным для поворота на угол порядка 360° .

3. Угол вылета в экспериментах **Нау** был больше в случае сальто ($17,6^\circ$ против $15,7^\circ$ при "ножницах") за счет более высокой вертикальной скорости вылета (2,61 м/с против 2,37 м/с).

Поскольку начальная скорость вылета ОЦМ определяется импульсом опорной реакции, то из результатов **Нау** следует, что условия отталкивания при сальто дают возможность создания большего импульса вертикальной силы.

Отметим ошибочность точки зрения Дурсенева о том, что "при одинаковой величине толчкового импульса сообщение телу вращательного движения обязательно ведет к меньшему эффекту в изменении направления его поступательного движения". Коль скоро некоторый импульс создан, то он всегда приведет к предельной ско-

рости влета (безусловно, с учетом начальной скорости). Конечно, создание одинаковых импульсов, например вертикальной составляющей, требует тем большей результирующей силы, чем больше она отклонена от вертикали. Результат Ная, свидетельствующий о благоприятных условиях организации большого вертикального импульса при технике сальто, чем при общепринятой, кажется весьма интересным.

4. Пожалуй, ослет признать достоинства сальто-техники, связанные с уменьшением затрат на преодоление сопротивления воздуха (по данным Фиделюса эта сила составляет при беге со скоростью 10 м/с около 50 н). В то же время этот вопрос не так прост, как кажется на первый взгляд, так как помимо площади миделева сечения сопротивление воздуха зависит от характера отталкивания тела спортсмена, а возникающие при сальто-технике турбулентные завихрения могут уменьшить имеющееся преимущество.

5. По мнению Ecker, предложившего сальто-технику для прыжка в длину, ее основное преимущество состоит в возможности далекого выноса ног без последующего падения на спину за счет большего вращательного движения.

Упрощенное уравнение движения спортсмена после приземления может быть записано в виде (Алешинский, Запирский и др., 1975):

$$(\mathcal{J}_{цм} + \ell^2 m) \ddot{\varphi} = -mg\ell \cos \varphi, \quad (6)$$

где φ - угол между трезком прямой, соединяющей центр масс с точкой приземления и опорной поверхностью, ℓ - длина этого отрезка, $\mathcal{J}_{цм}$ - момент инерции тела спортсмена относительно его центра масс.

Интегрирование этого уравнения приводит к выражению для минимального угла φ , при котором еще не происходит опрокидывания:

$$\sin \varphi_{\min} = 1 - \frac{(\mathcal{J}_{цм} + m\ell^2) H_0^2}{2\rho\ell \mathcal{J}^2}, \quad (7)$$

откуда видно, что φ_{\min} тем меньше, чем больше кинетический момент H_0 и меньше момент инерции $\mathcal{J}_{цм}$, т.е. ноги могут быть тем дальше вытянуты вперед, чем больший вращательный момент

имеет спортсмен перед приземлением и чем в более группированном положении он касается опоры. Прыжок сальто обеспечивает эти условия. Уменьшение $U_{цм}$ в конце полета показано в работе Mann, Adrian, Sotensen (1976). Подстановка в уравнение (7) реальных данных приводит к выигрышу порядка 10 см.

Таким образом, способ сальто имеет потенциальные возможности по превращению недостатка естественного отталкивания, состоящего в "автоматическом" создании переднего вращения, в достоинство, позволяющее выполнять более эффективное приземление.

Для решения вопроса, на сколько величина кинетического момента, создаваемого при естественном отталкивании, ближе к общепринятым стилям ($H = 15+20$ нмс) или к сальто ($H = 40+45$ нмс) (Алешинский, Зацюрский и др., 1975; Ramey, 1976), был бы полезен эксперимент, состоящий в определении H , когда спортсмен не должен заботиться о приземлении (например, при прыжках в мягкий поролон).

Отрицательные стороны сальто-техники состоят в меньших возможностях использования движений маховой ноги для создания продольной (так называемой "проталкивающей" по Bedi и Cooper) силы, необходимости точного регулирования величины момента инерции тела, предотвращающего преждевременное опускание ног (Бундин), и большем по сравнению с общепринятой техникой сгибании в ТБС при отталкивании, мешающем развитию сил в направлении вылета. Последний недостаток скорее всего связан с невысокой техникой исполнения сальто, так как классные акробаты, выполняя затыжные прыжки, в первой фазе полета имеют почти полностью выпрямленное туловище.

Хотя в настоящее время применение сальто-техники в соревнованиях запрещено Конгрессом ИААФ, на наш взгляд, этот способ имеет большие потенциальные возможности и вопрос о его праве на существование вряд ли можно считать окончательно решенным.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Приведенный в данной работе фактический материал является результатом наблюдений (или измерений) рядом авторов кинематических, динамических и ритмовых характеристик прыжка в длину. Эти данные в общих чертах позволяют судить о модели техники выполнения этого легкоатлетического упражнения, однако ос-

новой вопрос, состоящий в выборе оптимального соотношения между факторами, влияющими на результат, остается по-прежнему открытым.

Одним из путей его решения, очевидно, является применение математических методов и, в частности, метода механико-математического моделирования. Первые попытки в этом направлении уже сделаны - это работы Ramey.

Представив тело спортсмена вначале плоской системой десяти шарнирно соединенных звеньев, он, например, моделировал полетную фазу или трех стилей прыжка. Ramey установил для них диапазоны кинетических моментов (1973), зависимость между изменением длины последнего шага и степенью вращения в воздухе (1973), влияние параметров отталкивания на результат (1972), а также провел сравнительный анализ сальто-техники и "ножниц" (1976). В работе Ramey 1978 года используется уже трехмерная модель, на основе которой автором показана несостоятельность решения ряда вопросов с помощью двумерного анализа. В целом работа Ramey вызывает большой интерес, особенно если учесть возможности дальнейшего развития имеющегося в них подхода. К сожалению, обычно используемый Ramey прием изменения одной из характеристик при фиксировании других весьма ограничивает возможности реального применения результатов.

Определенный уход от реальности характерен и для работы Галина и др. (1976), в которой "полная механическая энергия, накопленная при разбеге и в фазе амортизации, приравнивается к величине кинетической энергии, необходимой для переноса тела спортсмена по параболической траектории". Отсутствие в предлагаемом балансе энергии активной мышечного сокращения делает предлагаемую модель некорректной.

Бальсевич (1974) справедливо отмечает, что выбор количественных характеристик, описывающих технику движений, - вопрос, не имеющий однозначного ответа, и должен решаться индивидуально.

Удовлетворительное решение такой задачи, на наш взгляд, может быть получено с помощью применения метода так называемой "многопараметрической оптимизации". Суть этого метода заключается в следующем.

Спорно-двигательный аппарат моделируется системой звеньев,

соответствующих по массе-инерционным характеристикам сегментам тела конкретного прыгуна, и достаточно хорошо отражающей его строение. Записывается уравнение движения модели с учетом имеющихся анатомических связей (кинематические ограничения). Задаются начальные положения и скорости звеньев модели в момент контакта стопы толчковой ноги с опорой, а также зависимости максимальных моментов мышечных сил от суставных углов и их угловых скоростей (динамические ограничения). Далее одним из известных методов поиска экстремумов функций нескольких переменных устанавливается зависимость от времени суставных моментов, углов и угловых скоростей, доставляющих максимум величине дальности прыжка (выражение типа (1)).

Полученное решение должно, с одной стороны, дать кинематическую картину оптимального движения, а с другой - вариации каждого из динамических ограничений позволят выявить те суставы, изменение движения в которых приводит к наибольшему приросту результата, с учетом чего и должен строиться тренировочный процесс. Управление же тренировочным процессом высококвалифицированных спортсменов на современном этапе требует перехода от эмпирического к научно обоснованному подходу с использованием достижений науки и техники (Верхошанский, 1970; Бутенко, 1972; Кузнецов, Новиков, 1974, 1975 и др.).

Список цитированной литературы

1. Алешинский С., Зацарский В., Ольхова Г., Переверзев А., Примаков Ю., Сер-Сванесян И., Тела В. Но рано ли сказано: нет! - "Легкая атлетика", 1975, № 6.
2. Андреев Ю.В., Мирзаев Д.Г. Легкая атлетика. Учебник для школ тренеров и техникумов физической культуры, под ред. доцентов Е.М.Лутковского и А.А.Филиппова. М., ФИС, 1970.
3. Андреев Ю.В., Мирзаев Д.Г. Легкая атлетика. Учебник для средних учебных заведений физической культуры, под ред. доцентов Е.М.Лутковского и А.А.Филиппова. М., ФИС, 1977.
4. Бальсевич В.К. Биодинамические характеристики некоторых видов спортивных и естественных локомоций. - В сб. "Вопросы биомеханики физических упражнений". Омск, 1974.
5. Баронсв С. Опыт научного изучения вопросов физической культуры, 1925.
6. Бачваров М. Реактивная сила маха. - "Легкая атлетика", М., ФИС, 1961, № 6.
7. Дукин М.С. Изменение структуры толчка в прыжках в длину в зависимости от скорости разбега. - "Теория и практика физической культуры", т. XI, 1949, № 5.
8. Берштейн И.А. Зависимость между углом вылета, силой толчка и дальностью полета при прыжках в длину с разбега. - В кн.: "Исследования по биодинамике ходьбы, бега и прыжка", под ред. Н.А.Берштейна. М., ФИС, 1940.
9. Борковский Л. Разбег. - "Легкая атлетика", 1976, № II.
10. Бундин М. Быть ли прыжку "сальто"?... - "Легкая атлетика", 1974, № II.
11. Бугенко Б.И. Новое в понимании двигательного навыка. - "Теория и практика физической культуры", 1971, № 2.
12. Вашилин Н.Н. Разработка и экспериментальное обоснование метода диагностики технико-экологической готовности квалифицированных спортсменов на заключительном этапе подготовки к ответственным соревнованиям, автореф. канд.дисс. л., 1978.
13. Верхошанский Ю.В. Закономерности процесса становления спортивного мастерства как предпосылка к управлению многолетней тренировкой. - В кн.: "Управление процессом спортивной тренировки". л., 1974.

14. Гагин Ю.А. Модель прыжка. - "Легкая атлетика", 1976, № 11.
15. Гирис В., Сирис П. Прыжки в длину: отбор и прогнозирование. - "Легкая атлетика", 1973, № 6.
16. Донской А.А. "Легкая атлетика", 1961, № 6.
17. Донской А.А. Биомеханика с основами спортивной техники. М., 1971.
18. Дурсенев Л. Есть ли прыжку "сальто"?.. - "Легкая атлетика", 1974, № 11.
19. Дьячков В.М. Обучение легкоатлетическим упражнениям. М., ФИС, 1960.
20. Дьячков В.М. Прыжок в длину с разбега. М., ФИС, 1953.
21. Еремин Ю. Совершенствовать прыжок в длину. - "Легкая атлетика", 1961, № 10.
22. Еремин Ю.С. Исследование влияния различных двигательных установок спортсмена на структуру движений в спортивных упражнениях, автореф. канд.дисс. М., 1967.
23. Еремин Ю. Рэнди Уилькс и Валерий Поддужный. - "Легкая атлетика", 1973, № 11.
24. Еремин Ю. Прыгает Людия Алфьева. - "Легкая атлетика", 1977, № 3.
25. Эронг Нгисел Тыи. Исследование возможностей, повышающих точность движений легкоатлетов (на примере разбега в прыжках в длину), автореф. канд.дисс. М., 1972.
26. Конов Д. Прыгает Игорь Тер-Ованесян. - "Легкая атлетика", 1961, № 6.
27. Коренберг В. Маховые движения при отталкивании. - "Легкая атлетика", 1960, № 3.
28. Корсиков Г.В. Тренировка легкоатлета-многоборца. М., ФИС, 1954.
29. Кузнецов А.И. Методика тренировки прыгун. в длину с разбега, автореф. канд.дисс. Л., 1954.
30. Кузнецов А. Эволюция техники прыжка в длину. - "Легкая атлетика", 1961, № 11.
31. Кузнецов В.В., Новиков А.А., Шустин Б.Н. Разработка модели сильнейших спортсменов. - В сб.: "Управление процессом спортивной тренировки", Л., 1974.
32. Кузнецов В.В., Новиков А.А. К проблеме модельных характеристик квалифицированных спортсменов. - "Теория и практика физической культуры", 1975, № 1.

33. Кузнецов С. Пригает Татьяна Шелконова. - "Легкая атлетика", 1960, № 9.
34. Лалиашвили В., Эль-Хадим А. Ральф Бостон. - "Легкая атлетика", 1960, № 9.
35. Лалиашвили В.А. Школа легкой атлетики, под ред. доц. А.В.Коробова, М., ГИС, 1968.
36. Лалиашвили В., Эль-Хадим А. Техника прыжка в длину Ральфа Бостона и Игоря Тер-Ованесина. - "Легкая атлетика", 1960, № 10.
37. Ломан В. Бег, прыжки, метания. М., ГИС, 1974.
38. Лукин М.С. Изменение структуры толчка в прыжках в длину в зависимости от скорости разбега. - "Теория и практика физической культуры", т.12, 1949, № 5.
39. Лукин М. Амортизация ли это? - "Легкая атлетика", 1961, № 12.
40. Лукин М. Скорость бега и результаты прыгуна. - "Легкая атлетика", 1963, № 3.
41. Масловский В.А., Муравьев В.Н., Попов В.Б., Ратов И.П., Калинин В.П. Исследование показателей вариативности динамических и кинематических параметров отталкивания у прыгунов в длину разной квалификации. - В сб.: "Материалы к итоговой научной сессии ЦНИИФК за 1964 год". М., 1965.
42. Осолин Н. Об одной ошибке. - "Легкая атлетика", 1960, № 11.
43. Осолин Л.С. Толчок в прыжках в длину с разбега. - В кн.: "Исследования по биодинамике ходьбы, бега и прыжка", под ред. Н.А.Вернштейна. М., ГИС, 1940.
44. Попов В. Почему не улучшен рекорд Оузона? - "Легкая атлетика", 1960, № 5.
45. Попов В.Б., Ратов И.П., Муравьев В.Н. Вектординамограммы и специальные упражнения прыгунов в длину. - "Легкая атлетика", 1964, № 10.
46. Попов В. Пригает Б.Бимон и К.Беер. - "Легкая атлетика", 1969, № 4.
47. Попов В. Пригает Валеря Подлужный. - "Легкая атлетика", 1971, № 10.
48. Попов В.В. Прыжок в длину. М., ГИС, 1977.
49. Пришкол В.Н. Исследование динамики скорости в максимально быстрых движениях (на примере легкоатлетических упражнений), автореф. канд.дисс. М., 1969.

50. Ратов И.П., Муравьев В.Н. Изучение особенностей биодинамики основных локомоций методом вектординамографии. - В сб.: "Проблемы биомеханики спорта", Труды ВНИИЖКа, вып.2, М., 1976.
51. Рохлин Э. Перед новыми задачами. - "Легкая атлетика", 1963, № 3.
52. Сацчиков Н.Г. Прыжок в длину с разбега. - В кн.: "Исследования по биодинамике ходьбы, бега и прыжка" (под ред. Н.А.Бернштейна). М., ФизС, 1940.
53. Селуянов В.Н., Максимов Р.И. Скорость и сила. - "Легкая атлетика", 1977, № 10.
54. Семенов Д. Много спорного. - "Легкая атлетика", 1971, № 6.
55. Солдаткин В. Пригает Валерий Подлужный. - "Легкая атлетика", 1974, № 6.
56. Солдаткин В., Подлужный В. Давайте уточним. - "Легкая атлетика", 1974, № 11.
57. Тер-Ованесян И.А. Исследование некоторых путей индивидуализации тренировочного процесса у спортсменов высокой квалификации, автореф. канд. дисс. М., 1971.
58. Фермер Д. Определяющие факторы в прыжках в длину. - "Спорт за рубежом", 1974, № 10.
59. Тилаков В. Тренировка должна быть проблемной. - "Легкая атлетика", 1971, № 9.
60. Чен Е. Прыгает Леонид Барковский. - "Легкая атлетика", 1972, № 6.
61. Чернобай В. Спринтерский бег и разбег. - "Легкая атлетика", 1974, № 11.
62. Щербаков А. Полный или короткий разбег. - "Легкая атлетика", 1962, № 7.
63. Ballreich R., An analysis of long jump. Biomechanics III, Ed. by S. Cerquigni, A. Venerando, J. Wartenweiler, Univ. Park Press, Baltimore, 1973.
64. Ballreich R., "Weitsprung - Analyse", Verlag Bartels and Wernitz KG, Berlin,
65. Bedi J.P., Cooper J.M., Take-off in the long jump - angular momentum considerations. J. Biomechanics, Vol. 10, 1977.
66. Bedi J.P., Cooper J.M., Angular momentum in the flight phase of the long jump. Unpublished material.

67. Bosco C., Luhtanen P., Komi P.V., Kinetics and kinematics of the take-off in the long jump. Biomechanics VB, Ed. by P. Komi, Univ. Park Press, Baltimore, 1976.
68. Cairo A.E.K., Huyck W. Long jump technique analysis. "Track Technique", Vol. 24, 1966.
69. Cooper J.M. et. al., Kinesiology of the long jump. Biomechanics III, Ed. by S. Cerquiglini, A. Venerando, J. Wartenweiler, Univ. Park Press, Baltimore, 1973.
70. Cureton L.K., Mechanics of the broad jump, "Scholastic Coach", Vol. 4, May, 1935.
71. Dyson G., "The Mechanics of Athletics", Univ. of London Press, London, 1972.
72. Ecker T., "Track and Field Dynamics", Tafnews Press, Los Altos, California, 1971.
73. Ecker T., It could have been greater "Athletic Journal", Vol. 51, 1971.
74. Ecker T., The somersault long jump. "Athletic Journal", Vol. 54, no.5, 1974.
75. El Khadem A., Huyck B., Long jump technique analysis, "Track Technic", Vol. 24, 1966.
76. Flynn J.E., Cinematographic study of the kinematic and temporal analysis of the take off in the running long jump. "Track and Field Quart. R.", Vol. 73, 1973.
77. Francis P., Forward somersault long jump, Unpublished article, November, 1973.
78. Gansler R.V., The hop, step and jump, "Athletic Journal", Vol. 35, 1955.
79. Gowan X.G., Long and triple jump questions and answers. "Track Technique", Vol. 12, 1963.
80. Hay J.G., The biomechanics of sports techniques. Prentice - Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.Y., 1973.
81. Hay J., Fundamental mechanics of jumping. In. "Olympic Track and Field Techniques", Ed. by T. Ecker, P. Wilt, J. Hay, Parker Publishing Co., West Nyack, N.Y., 1974.
82. Hay J.G., Biomechanical aspects of jumping. Exercise and Sport sciences reviews. Ed. by Wilmore and Keogh. Vol. 3, Academic Press. N.Y., San Francisco. London. 1975.
83. Hay J.G. The biomechanics of sports techniques. Prentice - Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.Y., 1978.

84. Henry F.M., Research on sprint running, "Athletic J.," XXXI, Febr., 1952.
85. Hopper B.J., The dropping of the legs in long jumping. In "The jumps", Ed. by F. Wilt, Tafnews Press, Los Altos, California, 1972.
86. Jarver J., The long jump. "International Track and Field Coaching Encyclopedia", Ed. by Wilt and Ecker, 1970.
87. Malcolm A.R., Some points on long jumping. "The Athlete", Vol. 1, 1950.
88. Malcolm A.R., Broad jumping, "Track Tech.", Vol. 4, 1961.
89. Mann R., Adrian M., Sorenson H., Computer techniques to investigate complex skills: application to conventional and flip long jump techniques. Biomechanics VII, Ed. by P. Koad, Univ. Park Press, Baltimore, 1976.
90. McIntosh F.C., Bayley A.W.P., An investigation into the running long jump. "J. Phys. Educ.", Vol. 44, 1952.
91. Miller R., Landing in the long jump, "Track Tech.", Vol. 19, 1965.
92. Nathiah C.H., Analysis of Bob Beamon's world record, "Athletic Asia", Vol. 2, 1972.
93. Nathiah C.H., Biomechanical investigations for the problem of backward rotation in broad jump, Biomechanics 11, Ed. by S. Cerquiglioni, A. Venerando, J. Wartenweiler, Univ. Park Press, Baltimore, 1973.
94. Nett T., Landing in Beamon's record jump. In "The jumps: contemporary theory, technique and training", Ed. by F. Wilt, Tafnews Press, Los Altos, California, 1972.
95. Nigg B., Neukamm P., Waser J., Messungen im Wetsprung an Weltklasespringern, "Leistungssport", Vol. 3, 1973.
96. Payne A.H., Slater W.J., Telford T., The use of a force platform in the study of athletic activities, "Ergonomics", Vol. 11, 1968.
97. Flagenhuf S., A biomechanical analysis of Beamon, Williams and an average college long jumper. "Track and Field Quart. Rev", Vol. 73, 1973.
98. Pickering R., Bob Beamon's long jump, "Athletic Journal", Vol. 51, 1971.
99. Popov V., Training of the long jump (transl. by M. Okamoto), Baseball Magazine Co., Tokyo, 1969.
100. Ramey M., Force relationships of the running long jump. "Medicine and Science in Sports", Vol. 2, no. 3, 1970.
101. Ramey M., Effective use of force plates for long jump studies. "Res. Quart." Vol. 43, 1972.

102. Ramey M., The significance of angular momentum in long jumping. "Res. Quart.", Vol. 44, no.4, 1973.
103. Ramey M., A simulation of the running long jump. In "Mechanics and Sport", Ed. J. Bleustein, Amer. Soc. Mech. Eng., New York, 1973.
104. Ramey M., The use of angular momentum in the study of long - jump take-offs, Biomechanics IV, Ed. by R. Nelson and C. Morehouse, Univ. Park Press, Baltimore, 1974.
105. Ramey M., An analysis of the somersault long jump. Biomechanics VB, Ed. by P. Komi, Univ. Park Press, Baltimore, 1976.
106. Ramey M., A three dimensional simulation of the flight phase of jumping activities. (Unpublished paper, 1978).
107. Rya F., Beamon's style: The "height" of fashion, "Scholastic Coach", Vol. 39, 1969.
108. Twietmeyer A., A cinematographical comparison of the somersault and hitch-kick long jumps, Unpublished term paper, Univ. of Iowa, November, 1973.

**БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНИКИ
ПРЫЖКА В ДЛИНУ**

**Учебное пособие для студентов
институтов физической культуры**

Редактор Н.Свечникова. Корректор Н.Лаптова.

Сдано в набор 1.12.1980 г. Подписано в печать 22.12.1980 г.

Объем 4,5 в.л. Тираж 500 экз. Зак. 32 Цена 10 коп.

Издание Редакционно-издательского отдела ЦОЛИФКА.

Типография В/о "Физспортобеспечение".

Москва, Мичуринский проспект, 40.