

Т. П. 1971 № 9, 9-14

## Опыт изучения биомеханической структуры спортивной техники методом многомерного статистического анализа

Ю. В. ВЕРХОШАНСКИЙ

Государственный Центральный ордена Ленина институт физической культуры

Изучение движений человека в плане формирования и совершенствования спортивной техники, во-первых, расширяет наши возможности в деле активного руководства этим процессом и, во-вторых, дает основание к объективному решению вопроса о подборе средств и методов тренировки. В целом и то и другое способствует реализации принципа оптимального управления многолетней подготовкой спортсменов.

Как правило, при анализе спортивной техники ограничиваются получением и сопоставлением тех или иных биомеханических характеристик движений. В предлагаемой работе на примере тройного прыжка с разбега предпринята попытка дополнить этот традиционный метод многомерным статистическим анализом и расширить тем самым возможности интерпретации экспериментального материала.

Таблица 1

Матрицы факторных весов

№ п/п	Характеристики	Скачок		2-й прыжок			3-й прыжок			
		Факторы после вращения								
		I	II	I	II	III	I	II	III	
1	Скорость предыдущей фазы прыжка	968	212	860	-315	-040	916	055	194	
2	Начальная скорость вылета о. ц. т. т. ( $V_0$ )	955	103	858	-501	-078	942	208	240	
3	Потери скорости в толчке ( $\Delta V$ )	242	765	-283	781	201	-150	783	132	
4	Угол вылета о. ц. т. т. ( $\alpha$ )	046	877	-209	531	632	-363	524	693	
5	Высота взлета о. ц. т. т. ( $h$ )	272	934	183	008	797	420	137	873	
6	Длина прыжка ( $l$ )	734	625	753	472	196	970	-059	-170	
7	Длительность толчка ( $t$ )	918	252	741	239	157	847	356	-313	
8	Центробежная составляющая в толчке ( $F_{ц}$ )	466	800	903	358	-187	760	097	-083	
9	Тангенциальная составляющая в толчке ( $F_{т}$ )	251	799	-150	944	055	-321	778	156	
10	Коэффициент реактивности толчка ( $R$ )	680	679	969	004	-070	971	126	092	

Экспериментальный материал. Методом киноциклографии получены следующие кинематические и динамические характеристики тройного прыжка у 38 спортсменов:

- скорость перемещения о. ц. т. тела (о. ц. т. т.) на последнем шаге разбега ( $V_p$ );
- начальная скорость вылета ( $V_0$ ) о. ц. т. т. прыгуна в каждом прыжке;
- потери скорости в опорно-толковых фазах ( $\Delta V$ );
- угол вылета ( $\alpha$ ) и высота взлета ( $h$ ) о. ц. т. т. в полетных фазах;

- центробежная (обеспечивающая поворот вектора скорости о. ц. т. т. —  $F_{ц}$ ) и тангенциальная (вызывающая потери скорости о. ц. т. т. по траектории —  $F_{т}$ ) составляющие активных усилий прыгуна в толчке;
- значение коэффициента реактивности

( $R = \frac{F_{ср}}{Pt}$ )<sup>1</sup> для каждого отталкивания. Цифровой материал был подвергнут факторному (центроидный метод) и множественному регрессионному анализу, результаты которого представлены соответственно в табл. 1 и 2<sup>2</sup>.

С целью наблюдения структуры специальной физической подготовленности прыгунов у 148 спортсменов разной квалификации были зарегистрированы очевидные из табл. 3 показатели, применяющиеся в практике для педагогической оценки уровня развития спринтерских, силовых и скоростно-силовых способностей спортсменов, а также длина отдельных частей тройного прыжка при рекордном для каждого прыгуна результате. Многомерный статистический анализ полученных характеристик

<sup>1</sup> Характеризует перегрузку рабочего аппарата в единицу времени ( $P$  — вес тела,  $F_{ср}$  — среднее значение силы и  $t$  — время отталкивания).

<sup>2</sup> Во всех таблицах и на рисунке нули и запятые опущены.

Таблица 2

Коэффициенты уравнения множественной регрессии

Части прыжка	Значения $\beta$ -коэффициентов				Коэффициент множественной корреляции
	$V_0$	$\Delta V$	$h$	$F_{ц}$	
Скачок	495	262	379	451	957
2-й прыжок	482	-202	145	558	952
3-й прыжок	532	-252	286	491	965

проводился для трех (соответственно результатам в тройном прыжке 13,00—14,49 м,  $n=50$ ; 14,50—15,49 м,  $n=50$  и 15,50—16,75 м,  $n=48$ ) и двух (квалифицированные,  $n=78$  и начинающие,  $n=70$ ) групп прыгунов. В первом случае исследовалась тенденция изменения тесноты связи внутри комплекса контрольных характеристик с ростом мастерства прыгунов (результаты представлены на рисунке в виде графической корреляционной модели). Во втором случае на основе факторного анализа (см. табл. 3) предпринималась попытка группировки оцененных в исследовании двигательных способностей с целью выявления их общей характеристики, а с помощью многошагового регрессионного анализа исследовались наиболее существенные для тройного прыжка двигательные способности. Рассчитаны следующие уравнения множественной регрессии (в стандартизованном масштабе)<sup>1</sup>.

$$^1 \text{ Уравнение вида } t_{1,2,3...n} = \sum_{j=2}^n \beta_j t_j,$$

где  $t_{1,2,3...n}$  — зависимая переменная,  $t_j$  — независимые переменные,  $\beta_j$  — коэффициенты уравнения, выраженные в долях собственного стандартного отклонения соответствующей переменной.

Таблица 3

Матрицы факторных весов

№ п/п	Контрольные характеристики		Начинающие прыгуны		Квалифицированные прыгуны		
			Факторы после вращения				
			I	II	I	II	III
1	Тройной с разбега		758	-094	671	-244	290
2	Длина с разбега		731	-153	840	-078	175
3	Бег 100 м		685	-237	672	-064	416
4	Бег 30 м		492	-290	180	-159	567
5	Длина с места		642	-205	267	035	551
6	Тройной с места		709	-192	153	020	711
7	Шагга	рывок	259	839	186	815	214
8		толчок	205	882	189	877	218
9		приседания	190	754	081	790	229

Для начинающих прыгунов:

$$t_1 = 0,589t_2 + 0,502t_3 - 0,123t_4 + 0,122t_5;$$

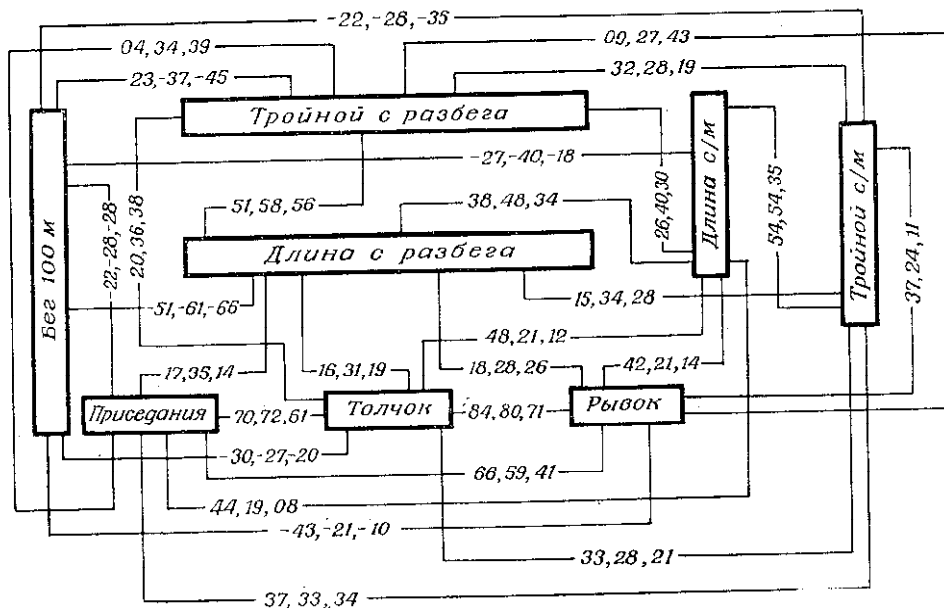
для квалифицированных прыгунов:

$$t_1 = 0,560t_2 + 0,288t_3 - 0,218t_4 + 0,214t_5 - 0,087t_6.$$

Подстрочные индексы переменных соответствуют нумерации табл. 3, все коэффициенты достоверны при 5-процентном уровне значимости. Коэффициенты множественной корреляции ( $r$ ) равны при этом соответственно 0,723 и 0,707. Кроме того, с помощью множественного регрессионного анализа исследовалась связь между длиной отдельных частей тройного прыжка и ведущими двигательными способностями (табл. 4).

Обсуждение результатов. Итоги работы в целом дают определенное представление о биомеханической структуре спортивной техники и особенностях соответствующей ей специальной физической

подготовленности прыгунов тройным прыжком. С помощью факторного анализа в 1-м прыжке (скачке) выделены две, а во 2-м и 3-м прыжках — по три группы взаимосвязанных биомеханических характеристик (см. табл. 1). Исходя из значений факторных весов, мы видим, что в скачке 1-я группа объединяет характеристики, оценивающие скорость перемещения тела спортсмена (I фактор), а 2-я (II фактор) — характеристики, оценивающие его действия, обеспечивающие необходимую высоту и дальность полетной фазы. Факторный состав биомеханических характеристик 2-го и 3-го прыжков имеет более сложный вид. В 1-й группе объединены характеристики, оценивающие скорость перемещения тела спортсмена и его действия, направленные на поворот вектора этой скорости (I фактор), во 2-й — характеристики, оценивающие уси-



Корреляционная модель скоростно-силовой подготовленности прыгунов тройным прыжком. Первый коэффициент для группы 13,00—14,49, второй — для группы 14,50—15,49 и третий — для группы 15,50—16,75 м

Таблица 4  
Коэффициенты уравнения множественной регрессии

Части прыжка	Значения $\beta$ -коэффициентов			Коэффициент множественной корреляции
	100 м	тройной с места	толчок штанги	
Скачок	-478	115	219	748
2-й прыжок	-172	299	368	679
3-й прыжок	-124	275	286	661

лия, связанные с преодолением внешних сопротивлений, возникающих в опорно-толчковых фазах (II фактор), и 3-й — характеристики, оценивающие действия, необходимые для создания требуемой высоты взлета тела в полетной фазе (III фактор). Таким образом, при выполнении тройного прыжка преимущественная направленность действий прыгуна сводится в целом к: 1) приобретению значительной скорости перемещения тела, 2) преодолению внешних сопротивлений в опорных фазах и тем самым уменьшению исходящих отсюда потерь скорости и 3) достижению некоторой высоты взлета тела в полетных фазах, необходимой для требуемой дальности прыжка.

Несколько слов о внешних сопротивлениях. В данном случае это та часть реакции опоры (оцениваемая при нашем методе анализа тангенциальной составляющей), которая направлена навстречу движению спортсмена и обязана своим происхождением стопорящему эффекту, возникающему при взаимодействии тела прыгуна с опорой. Внешние сопротивления, однако, являются не только помехой движению. Они, во-первых, выступают как одно из условий, обеспечивающих поворот вектора скорости о. ц. т. т. в опорных фазах, и, во-вторых, как условие, способствующее наиболее эффективно использовать рабочие возможности опорного аппарата (резкое растяжение рабочих групп мышц в начале опорной фазы увеличивает мощность их последующего сокращения). Детальное изучение этого вопроса показало<sup>1</sup>, что с ростом спортивного мастерства относительная доля сил, способствующих движению, увеличивается, а определенная часть внешних сопротивлений превращается из фактора, создающего помеху движению, в фактор, способствующий более эффективно решению двигательной задачи. Вероятно, это одна из важнейших закономерностей процесса становления спортивно-технического мастерства.

Если факторный анализ биомеханических характеристик указывает на основную направленность в комплексе действий спортсменов при выполнении тройного прыжка, то в результатах множественного регрессионного можно видеть те качественно специфические особенности, которые присущи

действиям прыгуна в каждой из частей прыжка. Исходя из значений  $\beta$ -коэффициентов (см. табл. 2), очевидно, что для скачка решающее значение имеют действия спортсмена, обеспечивающие высокую скорость вылета тела ( $V_0$ ) и необходимую высоту его взлета ( $h$ ) в полетной фазе, для 2-го прыжка — действия, направленные преимущественно на поворот вектора скорости ( $F_{\text{ц}}$ ), и для 3-го — на сохранение поступательной скорости тела ( $V_0$ ).

В итогах множественного регрессионного анализа заслуживают быть отмеченными еще два момента. Во-первых, относительно большее значение  $\beta$ -коэффициентов для начальной скорости вылета тела ( $V_0$ ) и центробежной силы толчка ( $F_{\text{ц}}$ ), что подтверждает вывод о существенности действий спортсмена, направленных на сохранение поступательной скорости тела и поворот ее вектора в опорных фазах на необходимый угол, и, во-вторых, на положительный знак  $\beta$ -коэффициента для потерь поступательной скорости ( $\Delta V$ ) в скачке. Последнее говорит о том, что в первом отталкивании стопорящий эффект способствует увеличению дальности скачка, так как является необходимым условием для поворота вектора скорости тела на требуемый угол. При этом потери скорости (которые количественно меньше, чем в последующих отталкиваниях) компенсируются высотой взлета тела. Однако во 2-м и 3-м прыжках стопорящее действие толчка приводит к необратимым потерям скорости и снижению дальности полетных фаз.

Результаты исследования позволяют проследить связь между двигательной спецификой тройного прыжка и определяемыми этой спецификой требованиями к физической подготовленности прыгунов, а также обрисовать в общих чертах структуру специальной физической подготовленности и ее изменения в процессе становления спортивного мастерства<sup>1</sup>.

Так, на основе корреляционного анализа выявляется степень существенности оцененных в исследовании двигательных способностей для прыгунов тройным прыжком с учетом уровня их мастерства (см. рисунок). Не останавливаясь на детальном разборе корреляционной модели, отметим следующее: 1) теснота связи между результатом в тройном прыжке и отдельными двигательными способностями, равно как и внутри комплекса исследуемых способностей, не остается постоянной; 2) изменение степени связи с ростом мастерства происходит с определенной закономерностью; 3) три тенденции характеризуют эту закономерность: неуклонное увеличение или уменьшение или последовательное увеличение, а затем уменьшение тесноты связи. В частности, с ростом мастерства связь между достижениями в тройном прыжке и отдельными двигательными способностями (например, оцениваемыми бегом на

<sup>1</sup> Под структурой физической подготовленности имеется в виду целесообразно-логический принцип связи отдельных двигательных способностей, обеспечивающий в целом уровень специфической работоспособности спортсмена.

<sup>1</sup> «Теор. и практ. физ. культ.», 1966, № 11.

ду характером специальной физической подготовленности атлетов и режимом работы двигательного аппарата в условиях спортивной деятельности.

В частности, выявлены ведущие двигательные способности, качественная характеристика и уровень развития которых определяются двигательной спецификой спортивного упражнения, проанализирована структура специальной физической подготовленности спортсменов. Установлено, что с ростом мастерства и переменами в характере внешних взаимодействий рабочего аппарата наблюдается усложнение состава ведущих способностей за счет формирования новых, качественно специфических способностей, а также перестройка структуры специаль-

ной физической подготовленности. Последнее выражается в закономерном изменении взаимосвязи как внутри комплекса двигательных способностей, так и между отдельными способностями и результирующим показателем спортивного упражнения. В частности, те двигательные способности, которые обеспечивают успех на этапе овладения спортивной техникой, в дальнейшем могут терять свое значение и наоборот — менее существенные вначале способности начинают играть решающую роль на этапе высшего мастерства. Естественно, что в интересах рациональной организации многолетнего тренировочного процесса необходимо знать эти закономерности и сознательно управлять их реализацией.