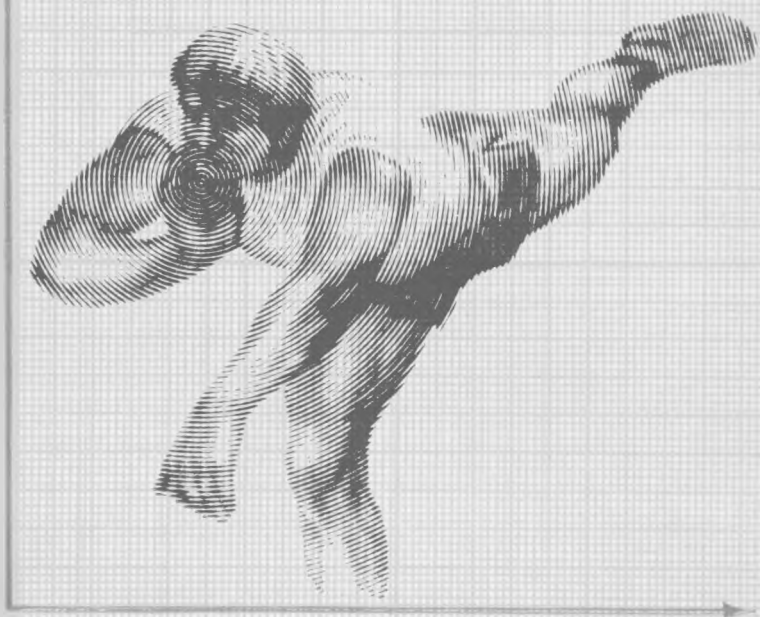




биомеханика

4517.118.8

1226



Я.Е.Ланка Ан.А.Шалманов

# БИОМЕХАНИКА ТОЛКАНИЯ ЯДРА



Library stamp

*био.механика*

Я. Е. Ланка, Ан. А. Шалманов

# БИОМЕХАНИКА ТОЛКАНИЯ ЯДРА

Под общей редакцией  
проф. В. М. Зациорского



Москва  
«Физкультура и спорт»  
1982

ББК 75.0  
Л226

Рецензент: канд. пед. наук, доцент Е. И. Михайлов

Ланка Я. Е., Шалманов Ан. А.

Л22 Биомеханика толкания ядра. — М.: Физкультура и спорт, 1982. — 72 с., ил. — (Наука — спорту).

Поиски рациональных вариантов техники толкания ядра и пути ее совершенствования привели к появлению многочисленных исследований в этом направлении. В книге обобщаются теоретические и экспериментальные данные отечественной и зарубежной литературы по биомеханике толкания ядра, систематизируются сведения о том, что в настоящее время следует считать доказанным, намечены основные направления дальнейшего поиска более рациональных вариантов техники толкания ядра.

Книга адресована специалистам по биомеханике, тренерам и спортсменам.

л 60902—045 71—82  
009(01)—82

4201000000

ББК 75.0  
7А.06

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
1. История развития толкания ядра . . . . .	4
2. Полет ядра . . . . .	8
3. Динамика скорости и факторы, ее определяющие . . . . .	9
4. Сила взаимодействия спортсмена с ядром . . . . .	23
5. Силы взаимодействия спортсмена с опорой . . . . .	32
6. Движение отдельных звеньев тела и активность мышц . . . . .	43
7. Оценка технического мастерства спортсменов . . . . .	58
Литература . . . . .	70

162815

Серия «Наука — спорту»

Янис Екабович Ланка, Анатолий Александрович Шалманов

БИОМЕХАНИКА ТОЛКАНИЯ ЯДРА

Заведующая редакцией Л. И. Кулешова. Редактор А. С. Иванова. Художник В. С. Лындин. Художественный редактор В. А. Галкин. Технический редактор Т. Ф. Евсенина. Корректор Э. В. Солдатенкова. ИБ № 1356. Сдано в набор 17.07.81. Подписано к печати 27.11.81. А 13117. Формат 84×108/32. Бумага тип. № 2. Гарнитура «Литературная». Высокая печать. Усл. п. л. 3,78. Усл. кр.-отт. 4,20. Уч.изд. л. 4,10. Тираж 9700 экз. Издат. № 6752. Зак. 482. Цена 25 коп. Ордена «Знак Почета» издательство «Физкультура и спорт» Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 101421. Каляевская ул., 27. Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

БИБЛИОТЕКА

© Издательство «Физкультура и спорт», 1982 г.

Львовского гос.

института физкультуры

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель книги — обобщить результаты экспериментальных и теоретических исследований по биомеханике толкания ядра и сопоставить их с современными представлениями о технике этого вида спорта, бытующими в среде тренеров и спортсменов.

Основная сложность состояла не столько в том, чтобы собрать обширный материал, сколько в его анализе и систематизации, что связано с противоречивостью некоторых экспериментальных данных и особенно мнений о технике толкания ядра. Это в известной степени наложило отпечаток на форму изложения материала и доказательность некоторых выводов о рациональности тех или иных вариантов толкания ядра.

Последовательность изложения материала подчинена следующему принципу. После краткого очерка по истории техники толкания ядра разбираются показатели, определяющие полет снаряда. Затем рассматриваются действия спортсмена с точки зрения кинематики и динамики, обеспечивающие достижения оптимальных значений этих показателей. Последний раздел посвящен некоторым вопросам оценки спортивно-технического мастерства толкателей ядра.

В книге широко использованы результаты собственных исследований техники толкания ядра, начатых авторами в 1972 г. Работа проводилась на базе группы биомеханики проблемной лаборатории и кафедры легкой атлетики ГЦОЛИФКа. Авторы благодарны сотрудникам и руководителям этих подразделений (В. И. Воронкину, С. К. Сарсания, Л. М. Райцину, В. Н. Селуянову, Б. А. Суслакову, С. Ю. Алешинскому, Р. И. Максиму, Ал. А. Шалманову, С. И. Чабовскому и др.) за большую помощь в выполнении этой работы.

Особенно благодарны автору профессору В. М. Зацiorскому, роль которого в подготовке рукописи и формировании научных взглядов авторов неоценима.

---

## 1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ТОЛКАНИЯ ЯДРА

---

Толкание ядра имеет больше чем столетнюю историю. За это время мировой рекорд был улучшен более чем в два раза. Значительно изменились представления о технике метателя. От простейших приемов до сложных поступательно-вращательных движений, выполняемых на большой скорости, — такой путь прошла техника толкания ядра за столетие. Становление методических основ ее шло от изучения эмпирического опыта тренеров и спортсменов к использованию законов биомеханики, физиологии и других наук.

Эволюция техники прослеживается при анализе техники лучших толкателей (Doherty, 1963; Кръстев, 1971). Так, представления о технике толкания ядра начала двадцатого столетия связаны с анализом техники рекордсмена мира Роуза (15,54 м), 20-х годов Гиршфельда (16,04 м), 30-х — Торренса (17,40 м), 40-х — Фонвилла (17,68 м) и Фукса (17,95 м), 50-х — О'Брайена (19,30 м), 60-х — Лонга (20,68 м) и Матсона (21,78 м), 70-х — Фейербаха (21,82 м), А. Барышникова (22,0 м) и Байера (22,15 м). При анализе исследователи определяли те качественные изменения, которые отличают технику одного спортсмена от техники другого, предыдущий этап развития толкания ядра от последующего.

Если оставить в стороне имена рекордсменов, время и способ толкания, то в принципе технику толкания ядра можно свести к четырем основным приемам, которые использовались спортсменами разных поколений. Это толкание ядра с места, толкание ядра после скачка из стартовых положений боком и спиной к направлению полета снаряда и толкание ядра вращательным способом.

Схематично эволюцию техники толкания можно пред-



Рис. 1. Толкание ядра из стартового положения боком к направлению метания

ставить следующим образом (В. Н. Тутевич, 1952). На первом этапе толчок совершался преимущественно рукой; на втором — с использованием силы руки и туловища, но почти без участия ног; на третьем — с использованием силовых возможностей всего тела, в частности ног. Последний этап характеризуется также возросшей скоростью движения спортсмена через круг.

Первым важным нововведением после толкания ядра с места явилось перемещение атлета через круг (скачок) с последующим выталкиванием снаряда. Множество вариантов перемещения через круг, предложенных разными спортсменами, привели к способу толкания ядра боком к направлению полета снаряда (рис.1) с энергичным маховым движением прямой или незначительно согнутой ногой. Этот способ и его модификации использовались в течение нескольких десятилетий, вплоть до 1950 г. Основными показателями лучшего выполнения этого способа являются: поддержание скорости движения через круг, почти одновременная постановка ног после скачка, значительное сгибание в тазобедренных суставах в начале финального разгона, полное разгибание тела в конце толчка.

В конце 40-х годов способ толкания ядра боком к направлению полета снаряда был значительно изменен с целью уменьшить потери скорости после скачка и

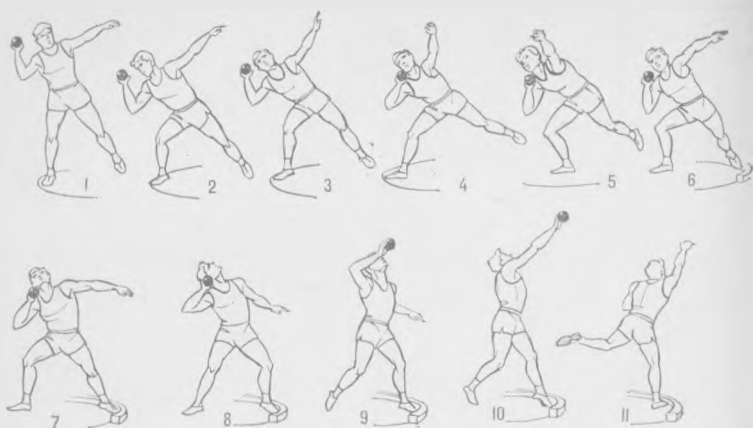


Рис. 2. Техника толкания ядра Фукса

создать более благоприятные условия для использования силы ног и туловища, приложения ее к ядру на максимально длинном пути. Стали больше сгибать ноги перед началом скачка, больше наклонять туловище к правой ноге, ядро располагать не у шеи, а на некотором расстоянии от нее (рис.2).

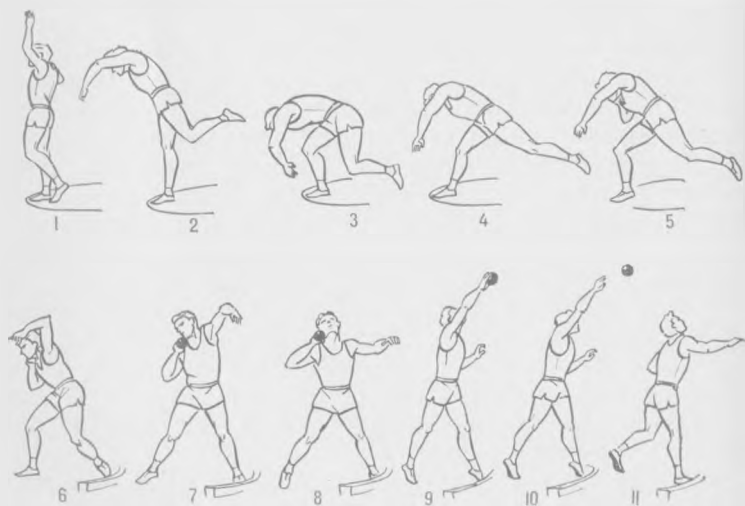


Рис. 3. Техника толкания ядра О'Брайена

Последующее значительное изменение техники толкания ядра произошло в 50-х годах. В основу нового способа легла техника американского спортсмена (О'Брайена). Он толкал ядро из исходного положения спиной к направлению полета снаряда, увеличил наклон туловища, ввел вращательное движение в фазе выталкивания снаряда (рис. 3). Эти нововведения являются самыми важными на последнем этапе развития техники толкания ядра (Doherty, 1963). Новое исходное положение имеет ряд преимуществ. Снизилась высота ядра над землей, создались условия для непрерывного, направленного вверх-вперед разгона ядра. Вращательные движения позволили увеличить путь разгона ядра за счет искривления его траектории в проекции на горизонтальную плоскость (рис. 4), что при прочих равных условиях увеличивает скорость вылета снаряда.



Рис. 4. Траектория ядра (вид сверху)

Техника, предложенная О'Брайеном, непрерывно развивалась и совершенствовалась другими спортсменами. Более простыми стали подготовительные движения, длинный активный путь воздействия на снаряд стал сочетаться с ускоренным ритмом движения. Лучших толкателей отличает «закрытое» положение перед финальным усилием — максимальный поворот туловища вправо в низком исходном положении.

Поиски лучшей техники продолжаются. Тренерами ГДР предложен способ толкания ядра с так называемым «коротко-длинным ритмом», дающим возможность увеличить путь воздействия на снаряд и выполнить его разгон по более прямолинейной траектории. В начале 60-х годов впервые был описан (Nett, 1961) способ толкания ядра круговым махом, более известный как «способ А. Барышникова», усовершенствованный его тренером В. И. Алексеевым и названный так в честь спортсмена, установившего в 1976 г. рекорд мира — 22,00 м.



## 2. ПОЛЕТ ЯДРА

Траектория ядра с момента его отрыва от руки спортсмена \* до падения на землю (рис.5) зависит от начальной скорости вылета, угла места (оптимального угла вылета ядра) и высоты вылета снаряда. Дальность полета ядра ( $L$ ) можно определить по следующей формуле:

$$L = \frac{v_0^2}{g} \cos \alpha_0 \left( \sin \alpha_0 + \sqrt{\sin^2 \alpha_0 + \frac{2gh_0}{v_0^2}} \right), \quad (1)$$

где:  $v_0$  — скорость ядра в момент его отрыва от руки,  $\alpha_0$  — угол места, угол между направлением вектора скорости ядра в момент вылета и горизонтом,  $h_0$  — высота, на которой ядро покидает руку спортсмена. В данной формуле не учитывается сопротивление воздуха, которое при безветренной погоде незначительно (В. Н. Тутевич, 1969; Schmolinsky, 1971). Однако сильный встречный ветер может несколько снизить результат (В. Н. Тутевич, 1969).

Начальная скорость вылета ядра является основной характеристикой, определяющей дальность его полета, поскольку дальность полета пропорциональна квадрату скорости. Например, скорости вылета ядра 10 м/с соот-

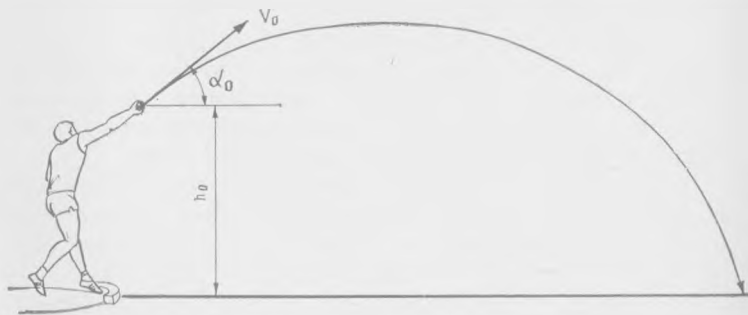


Рис. 5. Траектория ядра и показатели, ее определяющие

\* Здесь и дальше речь идет о спортсменах, толкающих ядро правой рукой.

ветствует результат — 12 м, а скорости 15 м/с — результат около 25 м, т. е. увеличение скорости в 1,5 раза приводит к увеличению результата в 2,25 раза.

Ядро следует выталкивать без его вращения, поскольку оно имеет плохие аэродинамические свойства и преимуществ от вращения таких, например, как при метании диска (вращение диска повышает его устойчивость в полете), получить нельзя.

Оптимальный угол вылета ядра (угол места) меньше  $45^\circ$ , потому что точка, в которой оно покидает руку, находится на некоторой высоте от поверхности земли. Зависит этот угол и от величины начальной скорости вылета ядра: с увеличением ее он также увеличивается (В. Н. Тутевич, 1969; Dyson, 1968). Изменение величины угла места в пределах  $3-4^\circ$  относительно мало влияет на дальность полета ядра (В. Н. Тутевич, 1969).

Высота вылета ядра зависит в основном от длины тела и рук спортсмена, от степени его физической подготовленности и технического мастерства. Увеличение высоты вылета ядра увеличивает дальность его полета приблизительно на ту же величину, на которую удастся приподнять его над землей (В. Н. Тутевич, 1969).

Угол места и высота вылета ядра у каждого спортсмена варьируют незначительно и практически не могут быть существенно изменены с целью увеличения результата (О. Я. Григалка, 1974; Dyson, 1968; Savidge, 1970). Таким образом, начальная скорость вылета ядра является основной характеристикой, увеличение которой приводит к существенному росту спортивного результата.

---

### **3. ДИНАМИКА СКОРОСТИ И ФАКТОРЫ, ЕЕ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ**

---

Под динамикой скорости здесь понимается зависимость скорости ядра или какой-либо точки тела спортсмена от времени.

Во время толкания ядра перед спортсменом стоит задача добиться максимально возможной скорости вылета снаряда (при оптимальных значениях угла места и высоты вылета ядра).

В связи с этим возникают следующие вопросы:

1) какая динамика скорости является оптимальной?

2) какова динамика скорости ядра у высококвалифицированных спортсменов?

3) как спортсмен должен организовать свои движения, чтобы скорость вылета ядра была максимальной?

4) какие механизмы двигательных действий используются спортсменом для сообщения максимальной скорости снаряду?

К сожалению, не на все эти вопросы в настоящее время можно дать исчерпывающий ответ. Причина состоит в недостаточности точных экспериментальных данных по технике толкания ядра, а результаты исследований, уже накопленные к настоящему времени, порой противоречивы.

Ни одному исследователю пока не удалось получить математическую функциональную зависимость скорости ядра от времени, как это сделано, например, в спринтерском беге (Hill, 1927; Henry, Trafton, 1952; В. М. Зациорский, Ю. Н. Примаков, 1968, и др.). Очевидно, это вызвано сложностью динамики скорости ядра. Как же должна изменяться скорость движения снаряда в руке спортсмена?

Некоторые исследователи (Doherty, 1950; Simonyi, 1973) подчеркивают важность более раннего по отношению к моменту вылета ядра, достижения максимума его скорости. Большинство же (Fidelus, Zienkowicz, 1965; О. Я. Григалка, 1970; Schpenke, 1973, и др.) считает, что скорость ядра должна увеличиваться равномерно, достигая максимума к моменту его отрыва от руки.

Экспериментальные данные, полученные Susanka (1974), свидетельствуют о том, что изменение скорости ядра имеет весьма сложный характер (рис. 6). Автор отмечает два участка падения скорости ядра. Первый соответствует началу фазы старта (первая группировка, поза 3), после чего скорость почти равномерно увеличивается, достигая 2,0 м/с. В безопорном положении (фаза скачка) скорость ядра практически не меняется, хотя некоторые исследователи (Fidelus, Zienkowicz, 1965; О. Я. Григалка, 1967; Schmolinsky, 1973; Я. Е. Ланка, 1977; Ан. А. Шалманов, 1978, и др.) считают, что у спортсменов разной квалификации она варьирует в пределах 1,3—2,6 м/с, что составляет 15—20% от скорости вылета снаряда, или 3,5—3,7 м/с (Marhold, 1968, 1974).

Второй участок падения скорости ядра Susanka от-

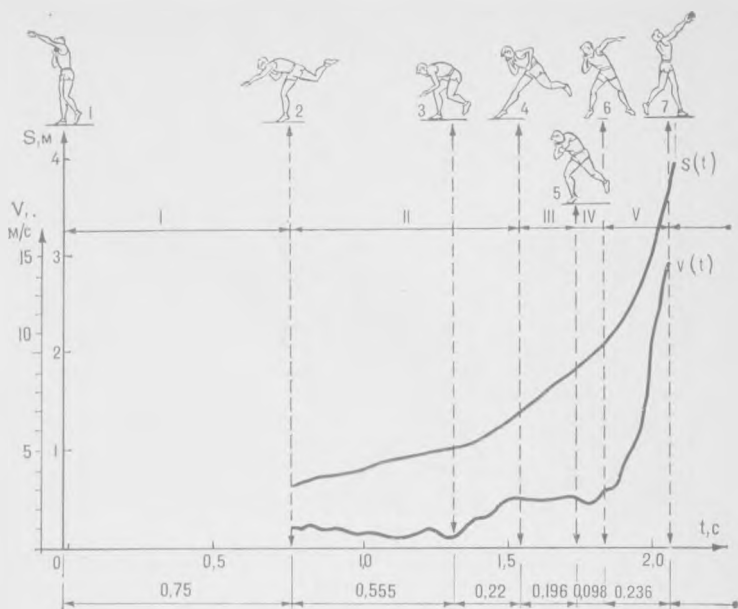


Рис. 6. Перемещение  $[s(t)]$  и скорость  $[v(t)]$  ядра у высококвалифицированного спортсмена (по Susanka, 1974):

I — подготовительная фаза, II — фаза стартового разгона, III — скачок, IV — перекат, V — фаза выталкивания ядра. Попытка Брабца — 20,11 м

мечает в фазе переката\* с момента постановки правой ноги на опору в конце скачка (поза 5). Приблизительно с момента постановки левой ноги на опору (поза 6) происходит резкое нарастание скорости ядра до момента его отрыва от руки. Уменьшение скорости снаряда во время переката, а в некоторых случаях и после постановки левой ноги на опору отмечают и другие авторы (В. Н. Тутевич, 1955; Marhold, 1968).

Более поздние исследования динамики скорости ядра с помощью стереофотоциклосъемки (Я. Е. Ланка, 1977; Ан. А. Шалманов, 1978) показывают, что у большинства спортсменов, особенно высокой квалификации, скорость ядра в фазе переката практически не изменяется (рис. 7), а в удачных попытках даже увеличивает-

\* Перекат — время между моментами постановки правой и левой ноги на опору в фазе финального разгона.

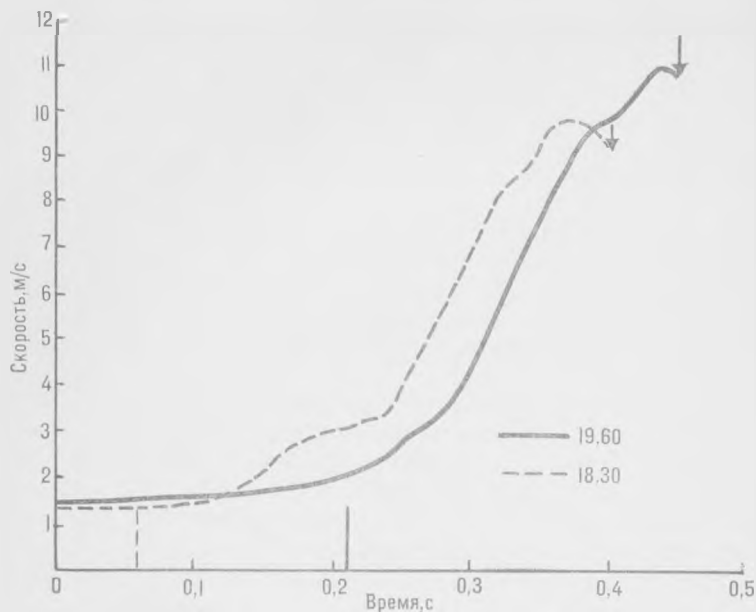


Рис. 7. Скорость лучезапястного сустава в фазе финального разгона у спортсменов разной квалификации (до начала разгибания в нем она совпадает со скоростью ядра). Стрелками обозначены моменты вылета снаряда, вертикальными линиями — моменты постановки левой ноги на опору

ся. Уменьшение скорости в фазе переката, отмеченное Susanka (1974) и некоторыми другими исследователями, по-видимому, связано с тем, что плоскостная киносъемка, использованная ими, позволяет зарегистрировать лишь две составляющие вектора скорости ядра в вертикальной плоскости. Стереофотосъемка дает возможность измерить все три составляющие вектора скорости.

Здесь и в дальнейшем приводятся собственные данные авторов, полученные при комплексном исследовании техники толкания ядра. В эксперименте участвовали 50 спортсменов разной квалификации (вес  $105 \pm 9,7$  кг, длина тела —  $187,5 \pm 4,8$  см), лучшие результаты которых были от 12 до 20,5 м. Регистрировались кинематические, динамические и электрофизиологические характеристики движения: изменение углов в суставах (электрогониометрия), силы взаимодействия с опорой (три тензодинамометрические платформы), координаты основных точек тела спортсмена с последующим расчетом их скоро-



Рис. 8. Результаты применения стереофото съемки для изучения техники толкания ядра (левый снимок стереопары)

стей (стереофотоциклосъемка) и электрическая активность мышц (электромиография). Методика проведения экспериментов подробно описана в работах Я. Е. Ланка (1977) и Ан. А. Шалманова (1978). Результаты, полученные при использовании стереофото съемки, показаны на рис. 8.

Вопрос о том, какая динамика скорости ядра является оптимальной, пока остается открытым. Частичное его решение можно найти, рассмотрев закономерности изменения динамики скорости ядра по мере роста мастерства спортсменов.

Большинство исследователей (Fidelus, Zienkowicz, 1965; О. Я. Григалка, 1970; Schpenke, 1973; Marhold, 1968, 1974; Я. Е. Ланка, 1977; Ан. А. Шалманов, 1978, и др.) приходят к выводу о том, что у спортсменов высокого класса более равномерно увеличивается скорость ядра от старта до вылета. Значительные колебания скорости вредны и наблюдаются, как правило, у спортсменов низкой квалификации. Кроме того, спортсменом высокого класса отличает большая величина скорости ядра в начале финального разгона.

Одним из факторов, лимитирующих скорость вылета ядра, является несовпадение векторов скоростей, со-

общаемых снаряду в фазах стартового и финального разгона. Скорость вылета ядра равна сумме скоростей, сообщенных снаряду в этих фазах. Из-за несовпадения направления скоростей их можно суммировать только геометрически, т.е. по правилу параллелограмма (рис. 9).

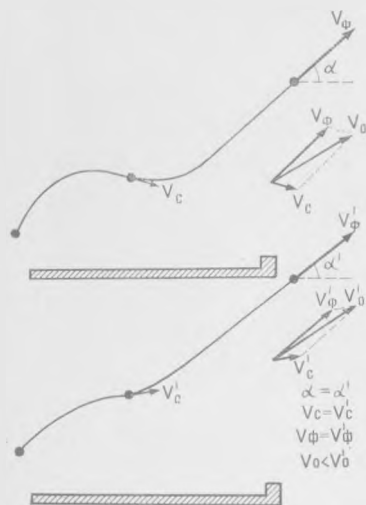


Рис. 9. Схема сложения скоростей стартового и финального разгонов при разных формах траектории ядра:

$v_c$  — скорость в конце скачка,  $v_\phi$  — финальная скорость в момент вылета,  $v_o$  — суммарная скорость вылета ядра,  $\alpha$  — угол вылета

Как уже отмечалось, скорость ядра в конце стартового разгона достигает около 2,5 м/с. Современные лучшие спортсмены при толкании с места показывают результаты 19—20 м, что соответствует скорости вылета снаряда около 13 м/с. Если бы спортсмену удалось так выполнить движение, что эти скорости можно было сложить арифметически (направление скоростей совпало бы), то скорость вылета ядра была бы равна 15,5 м/с, что соответствует результату около 26 м (Koltai, 1973). Поскольку скорости стартового и финального разгонов не совпадают по направле-

нию, то большая часть стартовой скорости (60—70%) теряется (Koltai, 1973; Schwanbeck, 1974).

Каковы же возможные пути уменьшения этих потерь?

Первый — выталкивать ядро под более острым углом вылета. Однако это не выгодно из-за уменьшения дальности полета ядра за счет отклонения величины угла вылета от оптимальной. Все же некоторое уменьшение угла вылета возможно, поскольку выигрыш в скорости превысит проигрыш за счет уменьшения угла и высоты вылета снаряда. Рациональность такого способа выполнения упражнения еще требует экспериментальной проверки.



Рис. 10. Положение толкателя ядра в начале стартового разгона:  
*а* — Слупянек, *б* — С. Крачевская, *в* — Фейербах

Второй — раньше выпрямлять ноги и туловище в начале финального разгона. Этот путь, по-видимому, неприемлем, так как спортсмен уже в начале финального разгона займет слишком выпрямленное положение и не сможет в полной мере использовать силу ног для разгона ядра.

Третий — понижать положение ядра в начале стартового разгона. Благодаря этому траектория в проекции на вертикальную плоскость будет более прямолинейной и, следовательно, потери в скорости будут меньше. По такому пути изменения техники пошли большинство лучших представителей толкания ядра (О. Я. Григалка, 1970, Marhold, 1970, 1974; Schpenke, 1973). Например, у сильнейших немецких спортсменов расстояние между ядром и поверхностью земли в начале стартового разгона за последние годы в среднем уменьшалось от 104 до 80 см (Marhold, 1974). Наиболее яркой иллюстрацией сказанному является положение в начале старта спортсменки из ГДР Слупянек, спортсмена из США Фейербаха и советской спортсменки С. Крачевской (рис. 10).

Как уже отмечалось, поиски наиболее рациональных вариантов техники толкания ядра с целью увеличения скорости вылета снаряда привели к использованию вращательных движений туловища и пояса верхних конечностей в фазе финального разгона, что отражается в искривлении траектории ядра в проекции на горизонтальную плоскость (см. рис. 4).

Известно, что при вращении тела вокруг оси линейная скорость ( $v$ ) какой-либо его точки будет тем больше, чем по большему радиусу двигается эта точка, т. е.:

$$v = \omega \cdot r, \quad (2)$$



где:  $\omega$  — угловая скорость вращения тела,  $r$  — расстояние от оси вращения до движущейся точки.

В фазе финального разгона пояс верхних конечностей участвует в двух движениях — поступательном (спортсмен перемещается через круг в направлении полета снаряда) и вращательном (плечевая ось поворачи-

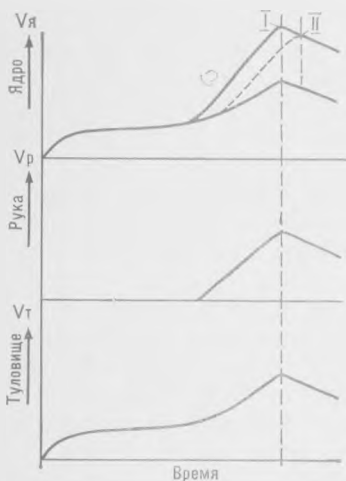


Рис. 11. Схема сочетания скоростей отдельных звеньев тела (по Marhold, 1964):

I — скорость ядра максимальна, если максимумы скоростей руки и туловища совпадают во времени; II — несовпадение максимумов скоростей руки и туловища во времени уменьшает скорость ядра

вается против часовой стрелки с выходом грудью вверх-вперед в сторону метания). В зависимости от того, где пройдет вертикальная ось вращения, ядро будет двигаться по большему или меньшему радиусу: чем ближе она к левому плечу, тем больше будет радиус поворота и (при постоянной угловой скорости) линейная скорость ядра. Однако, чем больше радиус движения ядра, тем больше нагрузка на мышечный аппарат, поэтому при описанном варианте техники толкания ядра возрастают требования к силовой подготовленности спортсмена. Этот вариант нашел наиболее яркое выражение во вращательном способе.

Скорость ядра является результатом суммирования скоростей отдельных звеньев тела — ног, туловища, руки. Естественно, возникает вопрос о том, как должны сочетаться скорости отдельных звеньев тела, чтобы скорости конечного звена (пальцев кисти) и ядра были максимальными.

Теоретически существуют два способа взаимодействия звеньев тела, при которых скорость конечного звена максимальна. Первый характеризуется такой организацией движения, при которой максимумы скоростей отдельных звеньев совпадают во времени (рис. 11). При втором способе происходит последовательный разгон звеньев снизу вверх, т. е. каждое последующее зве-

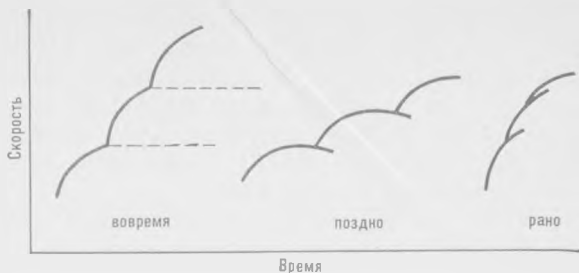


Рис. 12. Варианты сочетания скоростей отдельных звеньев тела (по Dyson, 1968)

но начинает движение, когда скорость предыдущего достигает максимума. Схематично подобное взаимодействие звеньев представлено на рис. 12.

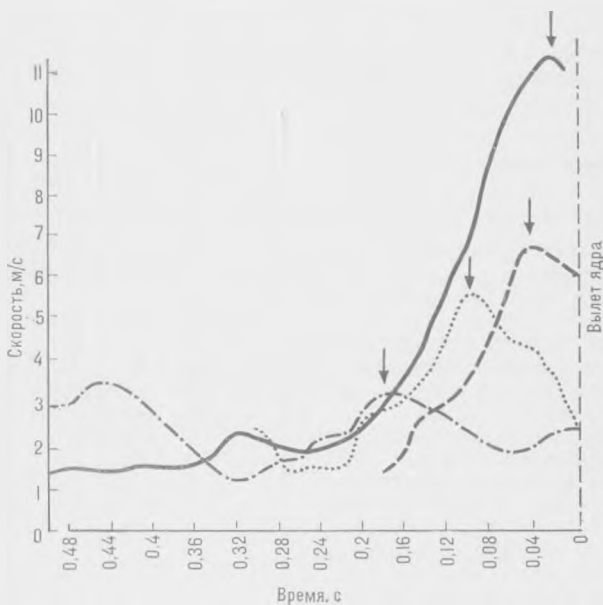


Рис. 13. Скорость основных звеньев тела в фазе финального разгона:

— лучезапястный сустав правой руки; — — — — правый плечевой сустав; ..... — правый тазобедренный сустав; — · — · — — правый коленный сустав. Стрелками отмечены максимумы скоростей

На практике, по экспериментальным данным ряда исследователей, при метании копья (Е. Н. Матвеев, В. М. Зациорский, 1967), бросках мяча (Collins, 1960; Atwater, 1970) и толкании ядра (Fidelus, Zienkovich, 1965; Ariel, 1973; В. П. Хвостиков, 1975; Я. Е. Ланка, 1977; Ан. А. Шалманов, 1978) спортсмены выполняют движения, используя второй способ.

Результаты собственных исследований динамики скорости основных звеньев тела при толкании ядра, полученные с помощью стереофото съемки, подтвердили рациональность последовательного характера не только разгона, но и торможения звеньев тела снизу вверх (рис. 13).

По мере роста квалификации спортсменов увеличиваются значения максимальной скорости отдельных звеньев тела, начиная с правого тазобедренного сустава и кончая пальцами толкающей руки (табл. 1).

Таблица 1

Скорость (м/с) основных звеньев тела у спортсменов разной квалификации в фазе финального разгона (собственные данные)

Регистрируемый показатель	Результат в толкании ядра (м)			
	19,60	18,30	13,30	12,26
Максимум скорости правого коленного сустава . . . . .	3,62	2,45	2,45	2,25
Максимум скорости правого тазобедренного сустава . . . . .	5,74	5,13	4,28	4,81
Скорость правого тазобедренного сустава в момент вылета ядра . .	2,75	1,05	0,83	1,96
Максимум скорости правого плечевого сустава . . . . .	6,77	7,66	4,91	5,32
Скорость правого плечевого сустава в момент вылета ядра . . . . .	6,34	5,46	3,10	4,82
Скорость правого плечевого сустава в момент начала разгибания руки . . . . .	2,75	5,25	4,6	2,7
Максимум скорости лучезапястного сустава правой руки . . . . .	11,00	10,04	8,02	7,95
Скорость лучезапястного сустава в момент вылета ядра . . . . .	10,90	9,25	7,51	7,85
Скорость дистальной фаланги среднего пальца правой руки в момент вылета ядра . . . . .	13,12	12,51	10,49	10,12

Говоря об эффективности торможения звеньев тела, необходимо отметить следующее. Во-первых, резкое торможение тазобедренного сустава должно сочетаться с непрерывным перемещением тела спортсмена через круг в направлении полета ядра (табл. 2), т. е. скорость

Таблица 2

Перемещение ОЦМ тела в разных попытках толкания ядра  
(по Ariel, 1972)

Результат (м)	Время выталкивания (с)	Горизонтальное перемещение (см)	Вертикальное перемещение (см)
19,81	0,22	39	14
21,38	0,22	52	27

тазобедренного сустава должна падать, но не до нуля. Отсутствие такого перемещения резко уменьшает спортивный результат (Ariel, 1972). Во-вторых, эффективность торможения звеньев в значительной степени зависит от сочетания скоростей отдельных звеньев во времени (см. рис. 12). Излишне раннее достижение максимальной скорости, как и позднее, одним звеном по отношению к другому или к моменту вылета ядра (рис. 14) уменьшает результат. Существует оптимальная последовательность движения звеньев тела, при которой достигается наибольшая скорость вылета ядра (табл. 3).

Таблица 3

Временные (мс) показатели динамики скорости основных звеньев тела в финальной фазе толкания ядра (собственные данные)

Время от момента вылета ядра до максимума скорости отдельных звеньев тела	Спортсмены высокой квалификации ( $n=10$ , $\bar{X}=17,34 \pm 1,16$ м)		Спортсмены низкой квалификации ( $n=10$ , $\bar{X}=12,62 \pm 1,32$ м)	
	$\bar{X}$	$\sigma$	$\bar{X}$	$\sigma$
Правого коленного сустава	179,2	14,3	141,6	87,3
Правого тазобедренного сустава	93,7	17,2	98,9	81,6
Правого плечевого сустава	59,3	11,6	67,1	26,2
Правого лучезапястного сустава	24,4	20,2	29,3	8,9

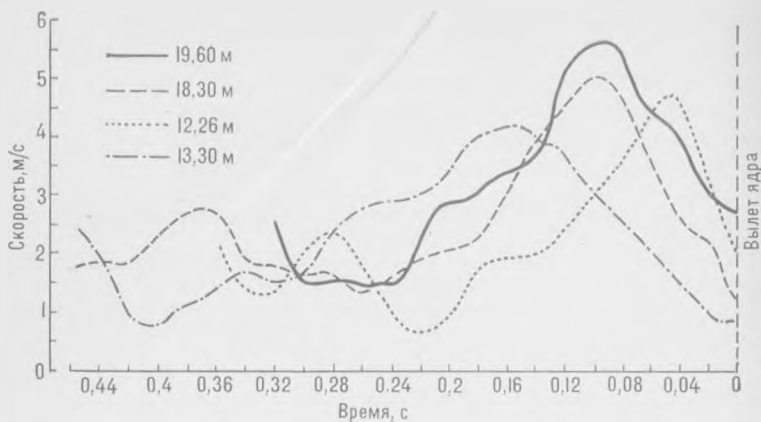


Рис. 14. Скорость правого тазобедренного сустава у спортсменов разной квалификации

Основной вывод, который вытекает из полученных данных, состоит в том, что у квалифицированных спортсменов больше сходство во временной последовательности движения правых коленного и тазобедренного суставов. Средние квадратические отклонения этих показателей соответственно равны 14,3 и 17,2 мс. У спортсменов низкой квалификации разброс значительно больше, стандартные отклонения у них соответственно равны 87,3 и 81,6 мс, что говорит о нарушении оптимальной последовательности разгона и торможения звеньев снизу вверх и соответственно о снижении результата.

Какие же механизмы, обеспечивающие максимальную скорость ядру, могут лежать в основе рассмотренного способа взаимодействия звеньев тела?

Известно, что если на тело или систему тел не действуют внешние силы, то скорость центра масс системы должна оставаться постоянной (внутренние силы не могут изменить его движение). Однако внутри самой системы возможно перераспределение количества движения\*, т. е. если уменьшить скорость какого-либо из тел, входящих в систему (за счет действия внутренних сил),

\* Количество движения — произведение массы тела на скорость его центра масс.

затормозив его, то это приведет к увеличению скорости остальной части системы. Разумеется, данный закон в применении его к движениям толкателя ядра не проявляется в чистом виде, поскольку на спортсмена действуют внешние силы (силы реакции опоры и трения, силы сопротивления среды и т. п.). Однако с его помощью можно в какой-то мере объяснить последовательный характер увеличения скорости звеньев тела снизу вверх.

Процесс сообщения скорости ядру можно разделить на два этапа. На первом этапе сообщается скорость всей системе метатель — снаряд, вследствие чего система приобретает определенное количество движения. На втором этапе за счет тормозящего действия левой, а затем и правой ноги (см. раздел 5) происходит последовательное торможение звеньев тела снизу вверх. Это приводит к уменьшению движущейся массы тела спортсмена и как следствие — к увеличению скорости вышележащих звеньев вплоть до кисти и ядра. Иными словами, происходит перераспределение количества движения между звеньями тела.

В настоящее время, однако, отсутствуют точные данные о том, в какой мере рассмотренный закон действует в толкании ядра, так как тормозящее действие внешних сил уменьшает количество движения системы метатель — снаряд.

Второй механизм, обеспечивающий нарастание скорости ядра, основан на использовании энергии упругой деформации мышц. Мышца наряду со способностью сокращаться при ее возбуждении со стороны ЦНС обладает рядом весьма важных механических свойств. Среди них особое значение имеет упругость, которая проявляется в возникновении силы тяги на конце мышцы в ответ на ее растягивание (В. М. Зациорский, А. С. Аруин, 1978; В. М. Зациорский, А. С. Аруин, В. Н. Селуянов, 1981). Зависимость между силой тяги мышцы и ее длиной имеет нелинейный характер (рис. 15). Многочисленные эксперименты на изолированных мышцах животных и человека показали, что предварительно растянутая мышца при последующем сокращении проявляет большую силу тяги.

В легкоатлетических метаниях предварительное натяжение мышц создается так называемым обгоном звеньев. Подобное движение выполняется следующим образом. Проксимальный сустав звена ускоренно выдвигает-

ся в направлении метания. Поскольку звено имеет определенную массу, т. е. обладает инерционными свойствами, его дистальный конец отстает в своем движении. Вследствие этого происходит растягивание мышц, обслуживающих данный сустав. Примером такого движения является ускоренный выход толкателя ядра грудью



Рис. 15. Зависимость сила тяги — длина мышцы:

— для активной мышцы,  
 - - - для пассивной мышцы,  
 . . . . для контрактильных компонент

вперед в направлении полета снаряда во время его выталкивания, что приводит к растягиванию мышц-сгибателей плеча (большой и малой грудных мышц, переднего пучка дельтовидной мышцы и др.). В результате в них накапливается потенциальная энергия упругой деформации, которая при последующем сокращении мышц частично переходит в кинетическую энергию движущегося звена, увеличивая скорость его движения. Дополни-

тельному растягиванию мышц в рассматриваемом случае способствует энергичное отведение левой руки по дуге вперед-в сторону.

Описанный выше механизм увеличения скорости звеньев тела и ядра в практике спорта получил название «хлеста».

К сожалению, в настоящее время нельзя точно указать, каков количественный вклад, получаемый за счет использования энергии упругой деформации мышц, в скорость вылета ядра. Но некоторые экспериментальные данные, а также практический опыт позволяют предполагать, что этот вклад весьма значителен.

Косвенно об этом говорит следующий факт. Разница между максимальной скоростью лучезапястного сустава и дистальной фаланги среднего пальца толкающей руки составляет у большинства спортсменов около 2 м/с (см. табл. 1). Такая прибавка в скорости увеличивает дальность полета ядра почти на 5 м. Движение кисти в конце фазы выталкивания ядра происходит за счет активности мышц-сгибателей кисти и пальцев, а также сил упругой деформации, возникающих в результате растягивания этих мышц силой, действующей со сторо-

ны ускоряемого снаряда (Ньютонова сила инерции). Величина сил упругой деформации мышц при правильном выполнении упражнения значительно больше, чем величина силы, вызванной активностью мышц.

Таким образом, умелое использование энергии упругой деформации мышц в толкании ядра является одним из основных источников повышения скорости вылета снаряда.

Растягивание мышц в процессе толкания может вызвать действие еще одного механизма. При растягивании мышцы происходит возбуждение расположенных в ней рецепторов (мышечных веретен), что может привести к рефлекторному усилению нервной импульсации, приходящей к мышце (так называемый стреч-рефлекс).

В настоящее время трудно сказать, какой из названных механизмов в большей мере используется при организации движений. Несомненно одно: понимание этих механизмов расширит представления о рациональных способах техники толкания ядра и путях ее дальнейшего совершенствования.

---

#### **4. СИЛА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СПОРТСМЕНА С ЯДРОМ**

---

До сих пор рассматривались движения, направленные на сообщение максимальной скорости вылета снаряду. Причем речь шла лишь о внешней картине движения, т. е. о кинематике. Теперь те же вопросы следует рассмотреть с точки зрения динамики.

Причиной изменения скорости движения тела являются действующие на него силы. Действие силы проявляется в пространстве и во времени, количественной мерой чего являются соответственно работа и импульс силы. Введение этих понятий позволяет лучше понять, как связаны между собой скорость вылета ядра и действующая на него сила.

Чем большую силу удастся приложить к ядру и чем продолжительнее ее воздействие, тем выше результат. Возможность увеличения времени действия силы на ядро ограничивается размером круга, поэтому большее значение имеет увеличение силы.

Работа, выполненная по перемещению снаряда, равна произведению силы, приложенной к нему, на пройденный путь:



$$A = F \cdot S, \quad (3)$$

где  $A$  — работа,  $F$  — сила,  $S$  — путь.

Эта формула справедлива в случае, если сила постоянна и ее направление совпадает с направлением перемещения. Связь между работой и скоростью снаряда можно установить из следующей зависимости. Известно, что работа, выполненная по перемещению ядра, равна изменению его полной механической энергии, которая складывается из потенциальной энергии и кинетической энергии поступательного и вращательного движения ядра:

$$A = \Delta mgh_0 + \frac{mv_0^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}, \quad (4)$$

где  $A$  — работа,  $h_0$  — высота вылета ядра,  $m$  — масса ядра,  $I$  — его момент инерции,  $v$  и  $\omega$  — соответственно линейная и угловая скорости ядра в момент вылета. Последнее слагаемое в формуле очень мало и им можно пренебречь.

А. А. Самоцветов определил (1961), что в толчке на 18, 19 м работа по перемещению ядра равнялась 731,8 Дж, 80% из которой ушло на разгон ядра по горизонтали и 20% — на подъем. Кратковременность активного разгона ядра (0,2—0,3 с) и большая работа, выполненная за это время, свидетельствуют о том, что спортсмен должен развивать большую мощность. В рассматриваемой попытке он развил мощность, равную 5078,4 Вт.

Из формул 3 и 4 следует, что энергия вылетающего снаряда зависит не только от приложенной силы, но и от того, на каком пути эта сила действует.

Поиски наиболее рациональной техники толкания ядра тесно связаны со стремлением увеличить путь разгона снаряда (важно подчеркнуть, что увеличение пути без приложения на нем силы, т. е. при постоянной скорости ядра, бесполезно). Можно выделить несколько способов увеличения этого пути. Первый из них связан с изменением формы, а значит, и длины траектории снаряда как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Разумеется, при этом решаются и другие задачи, такие, как повышение эффективности использования скоростно-силовых возможностей атлета, обеспечение необходимой устойчивости тела в стартовом положении

и при движении через круг, поиск наилучшего способа сложения скоростей в стартовом и в финальном разгонах и т. п.

О траектории в проекции ядра на вертикальную плоскость существуют две конкурирующие точки зрения. Сторонники одной полагают, что идеальным является разгон ядра по прямолинейной наклонной траектории (линия *a* на рис. 16). Действительно, Schpenke (1973), Maghold (1970, 1974) нашли, что траектория ядра у современных сильнейших спортсменов все больше приближается к идеальной. Разделяя траекторию ядра на подготовительную и финальную части, они отмечают две основные тенденции: 1) приближение траектории ядра в каждой части к прямой линии, 2) приближение угла между траекториями двух частей к  $180^\circ$  (рис. 16, б). Аналогичные результаты, приведенные на рис. 17, получены в работе Dessureault (1978).

Сторонники другой точки зрения, в частности Григалка (1974), считают, что прямолинейная траектория ядра не выгодна для использования силовых возможностей метателя. Вогнутость траектории в средней части (см. рис. 16, в) косвенно свидетельствует о понижении ОЦМ системы метатель — снаряд после скачка, что может увеличить давление на нижние конечности спортсмена, а значит создать эффект предварительного растягивания мышц. При таком способе толкания направление скоростей стартового и финального разгонов не совпадает (см. раздел 3).

Существует мнение, что и в горизонтальной плоскости необходимо максимально приблизить траекторию ядра к прямолинейной (Pearson, 1966). Однако поскольку ядро находится не на вертикальной центральной оси системы метатель — снаряд, а на некотором расстоянии от нее, то только при ошибке, когда во время выталкивания пояс верхних конечностей «завален» влево, ядро пройдет по прямолинейной траектории.

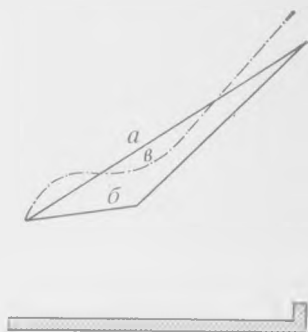


Рис. 16. Траектория ядра, вид сбоку (по Григалка, 1974)

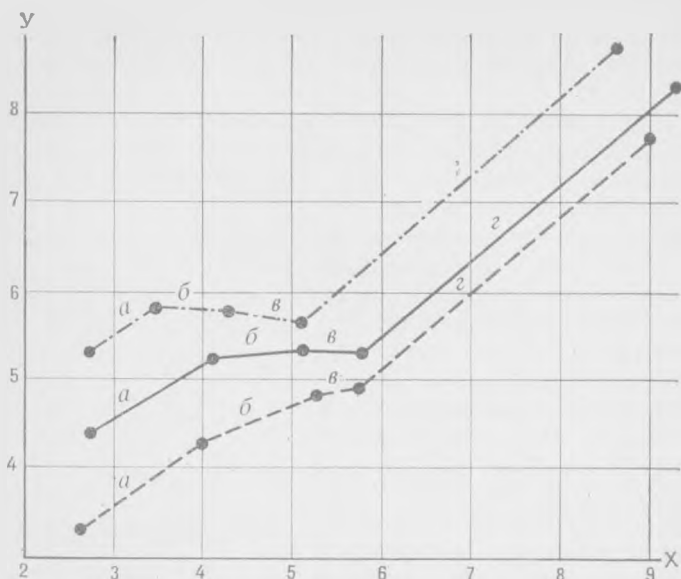


Рис. 17. Перемещение ядра по фазам (по Dessureault, 1978):  
*a* — фаза стартового разгона, *б* — скачок, *в* — пережат, *г* — фаза выталкивания ядра; ———— данные спортсмена высокой квалификации (20,67 м); -.-.-.- данные спортсмена низкой квалификации (10,69 м); ———— средние данные 13 испытуемых; X — горизонтальные координаты, Y — вертикальные координаты

Для современных сильнейших спортсменов характерно искривление траектории снаряда (точнее, ее проекции на горизонтальную плоскость) в фазе выталкивания. Возникает вопрос: по какому радиусу следует во время поворота пронести ядро — по большему или по меньшему? Решающим при ответе является не возможный выигрыш скорости в повороте (см. раздел 3), а удобство выполнения финального усилия с момента, когда ядру сообщается большая часть скорости. Движение ядра в повороте по излишне большому радиусу может затруднить быстрое выпрямление толкающей руки.

Говоря о значении формы траектории, следует еще раз отметить, что для разгона ядра важна лишь та ее часть, по которой снаряд движется с ускорением. По данным Schpenke (1973), у сильнейших спортсменов мира путь финального разгона составляет около 180 см, а время, необходимое для прохождения этого пути, — 0,18—0,20 с (табл. 4).

Некоторые показатели техники толкания ядра у ряда сильнейших спортсменов по данным разных авторов

Фамилия спортсмена	Результат в толкании ядра, м	Длина тела, см	Вес, кг	Путь разгона ядра, м	Время выталкивания, с	Растояние от края сегмента до проекции точки вылета ядра на землю, м	Высота вылета, м	Угол вылета, градус	Длина скачка, м	Автор
Матсон . . . . .	20,27	199	118	1,70	0,26	—	2,25	42	—	Кутъев, 1966
Мак Грат . . . . .	19,08	—	—	1,50	0,26	—	2,20	42	—	»
Карасев . . . . .	18,98	186	115	1,48	0,27	—	2,06	39	—	»
Бризеник . . . . .	21,54	191	112	1,70	0,20	0,33	2,27	40	0,68	Kerssenbrock, 1973
Бризеник . . . . .	20,29	191	112	1,55	0,18	—	2,25	39	—	Schpenke, 1973
Гисс . . . . .	21,07	194	100	1,78	—	0,44	—	—	0,52	»
Матсон . . . . .	20,68	199	118	1,80	—	0,23	—	—	0,83	Kerssenbrock, 1973
Барышников . . . . .	20,54	198	122	1,80	—	0,22	—	40	1,08	»
Вудс . . . . .	20,55	188	137	1,73	—	0,25	—	—	0,97	»
Фейербах . . . . .	20,91	186	114	1,74	—	0,19	—	—	0,95	»
Брабец . . . . .	20,11	190	117	1,71	—	0,29	—	—	1,06	»

Казалось бы, некоторые проблемы разгона снаряда можно решить, толкая его способом кругового маха, поскольку при этом теоретически возможны увеличение пути приложения силы в финальной части движения и большее совпадение направлений стартовой и финальной скорости. Однако, как показывают измерения Kerssenbrock (1974), в попытке А. Барышникова на 20,54 м, выполненной этим способом, потеря стартовой скорости достигает 65%, а путь приложения силы составляет 180 см, что примерно соответствует потере скорости и длины пути у сильнейших спортсменов, использующих традиционный способ толкания ядра.

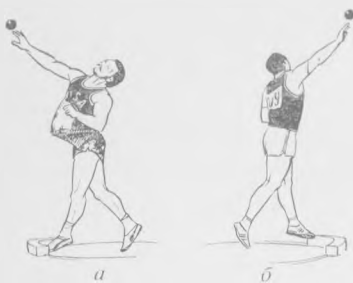


Рис. 18. Положение спортсмена в момент вылета ядра:  
*а* — в контакте с опорой, *б* — без контакта с опорой

Следующий способ увеличения длины пути разгона ядра связан с завершением выталкивания ядра в безопорном положении (рис. 18).

Вопрос о потере контакта с опорой в момент выпуска снаряда в научно-методической литературе по толканию ядра дискутируется уже несколько десятилетий. Одни авторы (Christmann, 1937; Г. В. Васильев, 1940; Marhold, 1964; О. Я. Григалка, 1970, и др.) считают, что наибольшую силу можно приложить к ядру только при хорошем контакте с опорой; другие (Nett, 1962; В. Н. Тутевич, 1969, и др.) допускают возможность отрыва ног от опоры до момента вылета ядра.

Без сомнения, преждевременный отрыв ног от опоры может уменьшить скорость вылета ядра. Однако не возможна ли компенсация последствий снижения скорости ядра за счет увеличения пути приложения силы и высоты вылета снаряда при выталкивании его в безопорном положении?

Теоретические подсчеты (В. Н. Тутевич, 1969) показывают, что масса тела спортсмена достаточна для ускорения движения ядра, если он находится в безопорном положении. Тело спортсмена (при весе около 100 кг) будет отброшено назад на 1 мм, если потеря контакта с опорой произойдет за 20 см пути до вылета

ядра. Дальность полета ядра от этого уменьшится всего на 1 см.

Результаты экспериментальных исследований не вполне согласуются с этими расчетами. Анализ попытки Т. Пресс на 16,42 м, проведенный Marhold (1964), показывает, что из-за преждевременного отрыва от опоры потеря в скорости ядра составила 0,3 м/с, что снизило результат на 40 см. Выигрыш в высоте вылета ядра, равный 10—15 см, увеличил дальность полета его на те же 10—15 см. Из этого следует, что потеря за счет снижения скорости вылета ядра была больше, чем выигрыш от повышения точки вылета.

Наши экспериментальные данные (Я. Е. Ланка, 1977; Ан. А. Шалманов, 1978) показывают, что по мере роста спортивного мастерства закономерно уменьшается время безопорного разгона ядра: у некоторых спортсменов низкой квалификации оно достигает 100 мс, у высококвалифицированных спортсменов близко к нулю, а некоторые спортсмены заканчивают выталкивание ядра, находясь еще в опорном положении на левой ноге. Коэффициент корреляции между временем безопорного положения и спортивным результатом равен  $-0,55$  ( $n=50$ ).

Что же заставляет спортсмена завершать упражнение в воздухе? Marhold (1964) высказывает предположение, что причина заключается в несоответствии силовых возможностей ног и туловища, с одной стороны, и руки — с другой: ноги и туловище разгибаются излишне быстро, а рука «отстает», запаздывает с выталкиванием ядра.

В последнее время лучшие спортсмены пошли по пути приближения моментов завершения разгибания правой руки и левой ноги, что в итоге привело к уменьшению времени безопорного разгона ядра.

Еще один способ увеличения пути разгона снаряда заключается в применении широкой расстановки ног во время финального разгона (см. раздел 6.3).

Рассмотрим, как изменяется сила, действующая на ядро, в процессе всего движения.

Прямым способом измерить силу, приложенную к ядру в любой момент движения, весьма трудно, поэтому исследователи (Кръстев, 1973; В. Н. Тутевич, 1955; Fidelus, Zienkiewicz, 1965, и др.) рассчитывали ее на основе известного ускорения (ускорение пропорциональ-

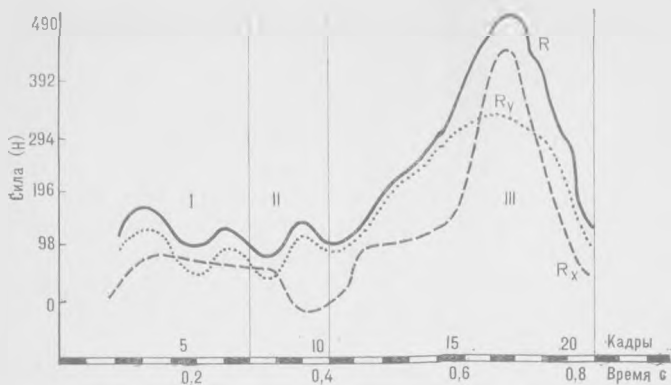


Рис. 19. Сила, приложенная к ядру (по Fidelus, Zienkowicz, 1965):

$R_x$  — горизонтальная составляющая;  $R_y$  — вертикальная составляющая;  $R$  — результирующая. Результат — 17,96 м. I — фаза стартового разгона, II — скачок, III — фаза финального разгона

но силе). В основном для этого использовались методы киносъемки и акселерометрии.

Многочисленные работы (В. Н. Тутевич, 1955; О. Я. Григалка, 1967; Г. С. Мачабели, 1968, 1969; В. М. Лебедев, 1962, и др.) свидетельствуют о значительных колебаниях величины силы, приложенной к ядру. Данные о количестве экстремальных значений силы и положениях тела атлета, которым эти значения соответствуют, весьма противоречивы.

Например, Fidelus и Zienkowicz (1965), регистрируя вертикальную и горизонтальную составляющие и результирующую силу, приложенную к ядру (использовалась плоскостная съемка), показали, что она падает почти до нуля в конце скачка и резко возрастает после постановки левой ноги на опору (рис. 19, кадры 10—17).

О. Я. Григалка (1967) отмечает наибольшие ускорения ядра, а значит и силы во время «захвата»\*, где за очень короткое время скорость ядра возрастает примерно от 2 до 8 м/с. По данным В. Н. Тутевича (1967), максимум силы проявляется в момент, когда левая нога закончила разгибание и угол в локтевом суставе правой руки равен  $90^\circ$ .

\* «Захват» — часть финального разгона от постановки левой ноги на опору до начала разгибания правой руки.

Различия в данных разных авторов, по-видимому, связаны, с недостаточной точностью использованных методов исследования. Киносъемка дает большие ошибки при определении скоростей и (особенно) ускорений (Federle и др., 1969; Gutewort и Topfer, 1968; В. М. Зациорский и др., 1973).

Исследователи регистрировали ускорение и силу, приложенную к ядру, в проекции на вертикальную плоскость и тем самым не смогли учесть силу, действующую в горизонтальной плоскости. Естественно, это снижает ценность полученных данных, тем более что в последнее время в технике толкания ядра наметилась тенденция ко все большему использованию вращательных движений в горизонтальной плоскости.

Датчики ускорения также имеют ряд недостатков: техническое несовершенство, трудности точной тарировки и т. п. (Miller, Nelson, 1973).

К сожалению, пока нет достаточно обоснованных данных о том, как должна изменяться сила, приложенная к ядру, от старта до вылета ядра, хотя это один из наиболее важных вопросов техники толкания ядра. Имеются лишь попытки теоретического решения данного вопроса.

Так, Кръстев и др. (1973) предлагают теоретически составленную динамограмму силы, приложенной к ядру (рис. 20).

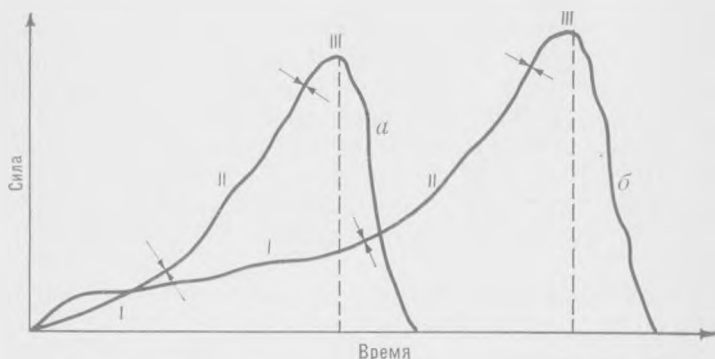


Рис. 20. Теоретически составленные динамограммы в толкании ядра (по Кръстеву, 1973):

а — с места, б — со скачка; вертикальные линии — момент достижения максимальной силы



I зона динамограммы — самая продолжительная — характеризуется небольшими усилиями; II зона — тем, что метатель находится в двухопорном положении, «работают» самые мощные мышечные группы; III зона — последняя часть движения, самая короткая — тем, что метатель находится в одноопорном или безопорном положении.

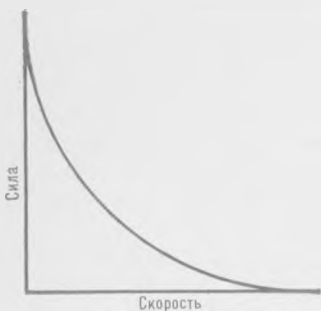


Рис. 21. Зависимость между силой тяги и скоростью сокращения мышцы

Авторы отмечают необходимость оптимального распределения усилий в каждой зоне, чтобы получить наибольший импульс при оптимальной скорости изменения силы (градиенте силы). Обоснованность последнего вывода вытекает из зависимости между скоростью и силой действия человека (рис. 21). Эту зависимость, применительно к толкателям ядра, можно интер-

претировать следующим образом: чем с большей скоростью двигается ядро, тем меньшую силу можно к нему приложить для еще большего разгона снаряда.

## 5. СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СПОРТСМЕНА С ОПОРОЙ

Обычно для измерения сил, приложенных к опоре, использовались динамометрические платформы (А. Д. Марков, 1964; Marhold, 1968, 1970; Payne и др., 1968; Payne, 1974; Н. А. Лебедев, 1969; А. А. Селиверстов, 1973, и др.). Лишь Fidelus и Zienkowicz (1965) определяли эти силы аналитическим способом по методу Н. А. Бернштейна, обрабатывая результаты киносъемки.

Рассмотрим динамику сил взаимодействия с опорой в толкании ядра по фазам.

### 5.1. ФАЗА СТАРТОВОГО РАЗГОНА

Взаимодействие спортсмена с опорой во время старта представляет интерес, поскольку от величины, длительности проявления и направления силы в этой фазе

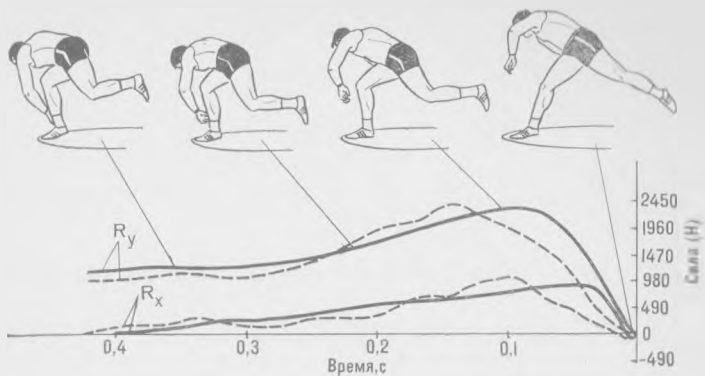


Рис. 22. Динамограммы вертикальной ( $R_y$ ) и горизонтальной ( $R_x$ ) составляющих силы действия правой ноги на опору в фазе стартового разгона:

————— спортсмен высокой квалификации (19,60 м), - - - - - спортсмен низкой квалификации (12,74 м)

зависит траектория и скорость центра масс системы метатель — снаряд, продолжительность безопорной фазы, от этого, в свою очередь, — удачное выполнение финальной части движения.

Динамика вертикальной и горизонтальной составляющих силы давления правой ноги на опору в фазе стартового разгона (рис. 22) характеризуется постепенным нарастанием их величин до максимума с последующим резким падением до нуля. Спортсменов высокой квалификации отличает более равномерный прирост этих величин и более быстрое их падение. Волнообразное изменение силы давления на опору свойственно спортсменам низкой квалификации, что свидетельствует об асинхронной работе ног (Fidelus и Zienkowicz, 1965).

Нами обнаружена слабая, но достоверная положительная корреляционная связь (0,29;  $n=50$ ) между продолжительностью отталкивания правой ноги от опоры во время старта и спортивным результатом. Иными словами, для лучших спортсменов характерно сравнительно медленное выполнение стартового разгона. Резкое и короткое во времени увеличение силы отрицательно влияет на дальнейшие действия спортсмена.

Величина вертикальной составляющей силы во время старта почти в два раза превышает собственный вес атлета и находится в прямой зависимости от него. Ана-

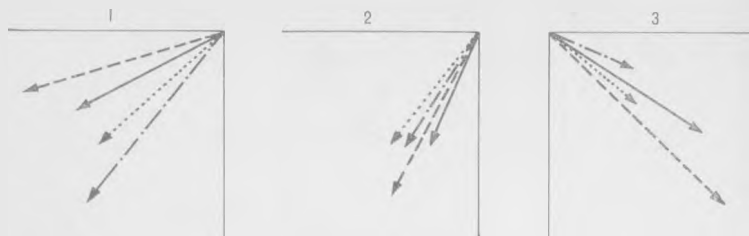


Рис. 23. Векторы средней силы действия ног на опору (по Marhold, 1970):

1 — сила правой ноги в стартовом разгоне, 2 — сила правой ноги в финальном разгоне, 3 — сила левой ноги в финальном разгоне (— и - - - - - данные спортсменов высокого класса; . . . . . и - . - . - . - . - данные спортсменов низкого класса)

логичный вывод получен А. А. Селиверстовым (1973) при изучении динамики опорных реакций у женщин.

Максимум горизонтальной составляющей силы достигает 647,4 Н ( $\sigma=240,3$  Н) и положительно коррелирует со спортивным результатом ( $r=0,39$ ;  $n=50$ ). Об этом, в частности, свидетельствуют данные Marhold (1970), установившего, что по мере роста спортивного мастерства уменьшается угол между горизонталью и направлением силы давления правой ноги на опору (рис. 23). Следует подчеркнуть, что чем больше этот угол и величина силы давления в стартовом разгоне, тем более высокий скачок совершает спортсмен. Это не рационально, и такой способ выполнения стартовой фазы и скачка характерен для начинающих.

Непосредственно перед отрывом правой ноги от опоры направление горизонтальной составляющей силы давления изменяется на противоположное, что вызвано скольжением стопы по поверхности круга. Эта сила, равная в среднем 121,6 Н ( $\sigma=54,0$  Н), несколько уменьшает горизонтальную скорость спортсмена.

## 5.2. ФАЗА ФИНАЛЬНОГО РАЗГОНА

Динамограммы вертикальной и продольной горизонтальной составляющих силы давления правой ноги на опору представляют собой довольно сложные волнообразные кривые со значительными различиями в величинах сил и времени их проявления у спортсменов различной квалификации (рис. 24, табл. 5).

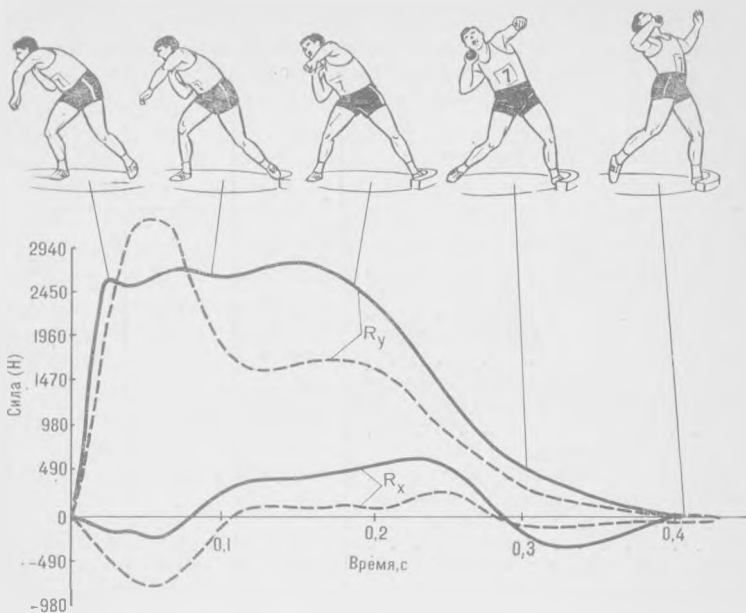


Рис. 24. Динамограммы вертикальной ( $R_y$ ) и горизонтальной ( $R_x$ ) составляющих силы действия правой ноги на опору в фазе финального разгона:

— у спортсмена высокой квалификации (19,60 м); - - - - у спортсмена низкой квалификации (12,74 м)

Динамограмма вертикальной составляющей силы имеет двухвершинную форму с постепенным падением силы к моменту отрыва ноги от опоры.

В начале взаимодействия с опорой правая нога «работает» в уступающем режиме, поэтому максимум вертикальной составляющей силы достигает больших величин (у некоторых спортсменов в 3—4 раза больше их собственного веса).

По-видимому, величина первого максимума вертикальной составляющей силы находится в прямой зависимости от способа выполнения скачка, постановки правой ноги на опору и ее последующего действия. Спортсменов низкой квалификации можно разделить на две группы по характеру постановки ноги на опору и величине силы давления: на тех, кто ставит ногу после высокого скачка, вследствие чего максимум вертикальной

Временные (мс) и силовые (Н) показатели взаимодействия правой ноги с опорой в фазе финального разгона (собственные данные)

Исследуемые показатели	$\bar{x}$	$\sigma$	Коэффициент корреляции с результатом ( $n=50$ )
Первый максимум вертикальной составляющей силы . . . . .	2716,4	572,9	0,31
Минимум вертикальной составляющей силы . . . . .	1447,9	387,5	0,45
Второй максимум вертикальной составляющей силы . . . . .	1889,4	370,8	0,34
Первый максимум отрицательной горизонтальной составляющей силы . . . . .	435,6	146,2	-0,41
Максимум положительной горизонтальной составляющей силы . . . . .	380,6	99,1	0,60
Второй максимум отрицательной горизонтальной составляющей силы . . . . .	140,3	68,7	0,49
Время нахождения ноги на опоре	362,7	43,3	-0,28
Время отрицательной горизонтальной составляющей силы (после постановки ноги на опору) . . . . .	71,0	21,8	-0,43
Время положительной горизонтальной составляющей силы . . . . .	212,2	32,6	-0,30
Время отрицательной горизонтальной составляющей силы (перед отрывом ноги от опоры) . . . . .	76,3	19,4	-0,21

составляющей силы достигает весьма больших величин (свыше 3000 Н), и тех, кто мягко ставит правую ногу на опору с последующим быстрым переносом веса тела на левую, в результате чего максимум силы колеблется от 1570 до 2350 Н. Спортсменам высокой квалификации свойственна активная, быстрая постановка ноги, что сказывается на характере изменения силы. Передний фронт ее нарастания у квалифицированных атлетов значительно круче, а величина силы достигает 2943 Н. Отсюда можно предполагать, что характер нарастания силы в большей степени отражает класс спортсмена, чем ее величина в момент первого максимума.

После первого максимума вертикальная составляющая силы падает, а затем вновь повышается. С ростом

квалификации спортсменов величина падения силы уменьшается, а величина второго максимума возрастает и на 65—75% превышает собственный вес атлета. Коэффициенты корреляции между минимумом и вторым максимумом вертикальной составляющей силы и спортивным результатом соответственно равны 0,45 и 0,41 ( $n=50$ ). Второй максимум силы примерно совпадает с началом разгибания в коленном суставе правой ноги, что согласуется с данными Раупе и др. (1968).

Таким образом, по мере роста спортивного мастерства увеличивается вертикальная составляющая силы давления правой ноги на опору, особенно во время амортизации.

Продольная горизонтальная составляющая силы давления правой ноги на опору трижды меняет свое направление: после постановки ноги на опору она направлена в сторону толкания (отрицательное значение силы), затем в противоположную сторону (положительное значение силы), а непосредственно перед отрывом ноги от опоры — опять в сторону толкания.

Максимальная величина и время проявления отрицательной горизонтальной составляющей силы в момент постановки правой ноги на опору по мере роста спортивной квалификации уменьшаются. Эта сила направлена в сторону толкания и тормозит продвижение атлета через круг, что невыгодно. Стопорящая сила у отдельных спортсменов достигает 687—785 Н и вызывает значительное падение горизонтальной скорости.

Положительная горизонтальная составляющая силы направлена в сторону, противоположную толканию, и ускоряет движение спортсмена и ядра через круг. Максимальная величина этой силы с ростом квалификации спортсменов возрастает (коэффициент корреляции с результатом 0,60;  $n=50$ ), достигая у сильнейших 490—589 Н. Кроме того, эта сила отрицательно коррелирует ( $r=-0,50$ ;  $n=50$ ) с максимумом стопорящих усилий. Данный факт говорит о том, что спортсмены, которые меньше тормозят свое движение через круг сразу после скачка, проявляют большие величины сил, направленных на ускорение всей системы в сторону толкания.

В конце разгибания правой ноги примерно за 70—80 мс до момента ее отрыва от опоры, когда вертикальная составляющая силы еще имеет величину 392—

598 Н, горизонтальная составляющая силы вновь становится отрицательной, достигая 196—294 Н у лучших спортсменов. Выявлена положительная корреляционная связь (0,49;  $n=50$ ) величины этой силы со спортивным результатом. Эта сила возникает в результате скольжения правой стопы по опоре, от центра круга к сегменту, и обусловлена стремлением спортсмена при движении туловища вперед сохранить контакт с опорой (так называемый «скользящий контакт», по В. Глущенко, 1975), а кроме того, затормозить продвижение нижележащих звеньев тела через круг.

Динамограммы вертикальной и продольной горизонтальной составляющих силы давления левой ноги на опору также представляют собой довольно сложные кривые (рис. 25).

Горизонтальная составляющая силы у всех спортсменов направлена в сторону толкания и тормозит его движение. Иными словами, действие левой ноги в фазе

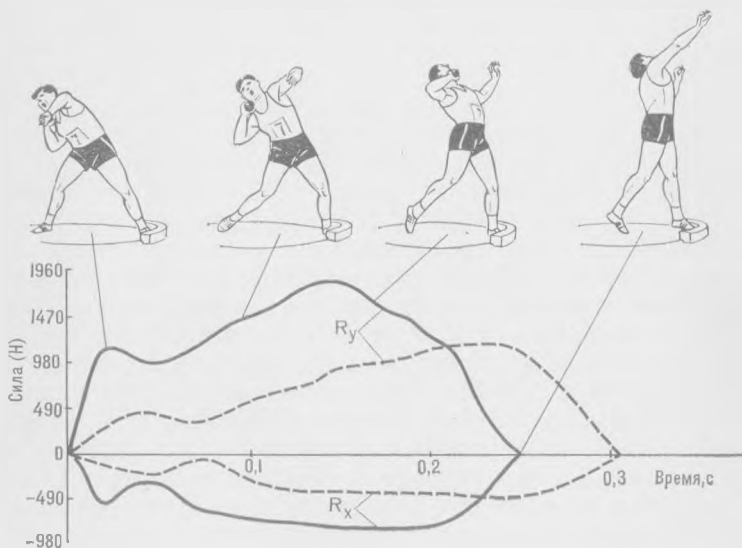


Рис. 25. Динамограммы вертикальной ( $R_y$ ) и горизонтальной ( $R_x$ ) составляющих силы действия левой ноги на опору в фазе финального разгона:

————— спортсмен высокой квалификации (19,60 м); - - - - - спортсмен низкой квалификации (12,74 м)

финального разгона имеет исключительно стопорящий характер, а также способствует подъему ОЦМ тела спортсмена и ядра вверх.

Спортсменов высокого класса отличает большая величина и крутизна нарастания как вертикальной, так и горизонтальной составляющих силы и меньшее ее падение во время амортизации (табл. 6). Однако, несмотр-

Таблица 6

**Временные (мс) и силовые (Н) показатели взаимодействия левой ноги с опорой в фазе финального разгона (собственные данные)**

Исследуемые показатели	$\bar{X}$	$\sigma$	Коэффициент корреляции с результатом ( $n=50$ )
Первый максимум вертикальной составляющей силы . . . . .	719,1	380,5	0,42
Минимум вертикальной составляющей силы . . . . .	480,7	264,9	0,34
Второй максимум вертикальной составляющей силы . . . . .	1410,7	249,2	0,39
Второй максимум горизонтальной составляющей силы . . . . .	577,8	124,6	0,40
Первый максимум горизонтальной составляющей силы . . . . .	320,7	167,8	0,36
Время от постановки левой ноги на опору до второго максимума горизонтальной составляющей силы	96,3	36,7	-0,38
Время нахождения ноги на опоре	298,5	40,8	-0,31

ря на определенные закономерности в характере изменения силы действия левой ноги на опору, у спортсменов высокой и низкой квалификации имеются значительные индивидуальные различия, которые обусловлены разными способами постановки левой ноги на опору, различной манерой действия ноги в финале (см. раздел 6.3), а главное — согласованием в действиях правой и левой ног. Все же можно предполагать, что при современной тенденции к увеличению горизонтальной скорости движения системы метатель — снаряд через круг (Fidelus и Zienkowicz, 1965; Marhold, 1970; Simonyi, 1973) и торможению звеньев тела снизу вверх с целью увеличить скорость вышележащих звеньев тела и ядра (Ariel, 1972, 1973), жесткая постановка левой



ноги на опору и крутое нарастание значительных по величине сил становятся целесообразными.

Одна из основных задач спортсмена в начале финального разгона заключается в том, чтобы, не потеряв горизонтальной скорости, дополнительно разогнать всю систему метатель — снаряд в направлении толкания. В связи с этим большое значение приобретают время постановки левой ноги и характер действия ее после касания опоры.

Мнения специалистов по поводу длительности фазы переката различны. Одни (В. Н. Тутевич, 1955; Кръстев, 1971, и др.) считают, что перекат должен быть как можно короче, т. е. целесообразно приземление почти одновременно на обе ноги, так как оно до минимума сократит эту пассивную, с точки зрения ускорения ядра, фазу. Другие (Christmann, 1937; Bresnahan, Tuttle, 1947; Jones, 1948; Simonyi, 1973; и др.) полагают, что необходим некоторый интервал между моментами постановки ног, чтобы сохранить непрерывность разгона ядра и избежать снижения горизонтальной скорости тела, которое может возникнуть вследствие стопорящего действия левой ноги (Simonyi, 1973).

Решение вопроса о том, какой должна быть длительность фазы переката, связано с выяснением роли правой и левой ног в ускорении системы спортсмен — снаряд в финальном разгоне.

В отличие от прежних представлений о технике толкания ядра, когда считали, что основную роль в ускорении спортсмена и ядра играет правая нога (В. Н. Тутевич, 1952, 1955; Doherty, 1963; Mortensen, 1952; Weiershauzer, 1951; Nett, 1955; Miller, 1950, и др.), в последние годы многие специалисты стали утверждать, что от правильного действия левой ноги в большей степени зависит ускорение ядра, особенно в горизонтальном направлении (Fidelus, Zienkowicz, 1965; Marghold, 1970; Ariel, 1970; Delevan, 1973, и др.).

Накопленные к настоящему времени экспериментальные данные позволяют утверждать, что характер разгона ядра, а значит и спортивный результат зависят от правильного действия как правой, так и левой ноги.

Спортсменов высокой квалификации отличает следующая последовательность действия ног (с точки зрения их взаимодействия с опорой).

Правая нога должна в начале финального разгона

разогнать всю систему спортсмен — снаряд в направлении толкания, при этом до минимума снизив стопорящие (горизонтальные) силы, которые возникают при постановке ноги на опору, и время их проявления. В дальнейшем ускоряющее действие правой ноги прекращается, направление горизонтальной составляющей силы давления на опору меняется на противоположное (сила направлена по ходу движения атлета), и нога тормозит продвижение спортсмена через круг. Тормозящее действие правой ноги совпадает по времени с началом действия на опору левой ноги. Поскольку оно имеет исключительно стопорящий характер, то это приводит к еще большему торможению нижележащих звеньев тела. Таким образом, правая нога в фазе финального разгона выполняет двоякую функцию: сначала ускоряет движение всей системы спортсмен — снаряд, а затем совместно с левой ногой тормозит движение звеньев тела снизу вверх, что в конечном итоге увеличивает скорость вышележащих звеньев тела и ядра.

Рассмотренный характер распределения сил, действующих на опору, позволяет теперь частично решить вопрос о длительности фазы переката. Поскольку высоких спортивных результатов спортсмены добиваются как при малом, так и при относительно большом времени переката, то решающим фактором является не сама постановка левой ноги на опору (время переката), а те силы, которые развивает спортсмен, действуя левой ногой на опору. Отрицательная корреляционная связь между максимумом положительной горизонтальной составляющей силы правой ноги и горизонтальной составляющей силы левой ноги, измеренной в тот же момент времени, свидетельствует о том, что стопорящую силу левой ноги следует проявлять тогда, когда правая нога заканчивает ускоряющее действие на систему спортсмен — снаряд. Некоторые данные, подтверждающие высказанную мысль, представлены в табл. 7. Из нее видно, что с увеличением длительности фазы переката величина вертикальной и горизонтальной составляющих силы левой ноги в момент максимума положительной горизонтальной составляющей силы правой ноги уменьшается. Такое распределение силы действия ног на опору присуще многим лучшим спортсменам.

Например, у спортсмена с результатом 19,60 м время переката 212 мс. В тот момент, когда правая нога

в фазе финального разгона проявляет наибольшую силу, ускоряющую движение тела в направлении толкания, давление левой ноги на опору очень мало, вертикальная и горизонтальная составляющие силы соответственно равны 78 и 49 Н, т. е. стопорящее действие левой ноги не мешает ускоряющему действию правой. У спортсмена с результатом 12,72 м картина другая. Время переката мало — 36 мс, и стопорящая сила левой ноги во время активного разгона тела правой ногой весьма велика (вертикальная составляющая силы равна 1628 Н, горизонтальная — 491 Н). Происходит следующее: правая нога ускоряет тело в направлении толкания, а левая в это время тормозит, т. е. мешает ее действию. Однако некоторым спортсменам удается добиться высокого результата при относительно коротком перекате (см. в табл. 7 результат 18,30 м). Спортсмены, которые максимума положительной горизонтальной составляющей силы правой ноги достигают поздно (время от постановки ноги на опору до максимума этой силы велико), даже при значительной длительности перека-

Таблица 7

**Некоторые показатели техники толкания ядра спортсменами  
разной квалификации в фазе финального разгона  
(собственные данные)**

Результат в толкании ядра, м	Вес, кг	Время переката, мс	Силовые показатели взаимодействия с опорой, Н			
			I	II	III	IV
19,60	120	212	78	1834	49	765
17,73	110	172	98	1353	196	677
17,20	108	131	225	1226	451	559
17,11	120	178	392	2060	226	873
16,31	125	46	1353	1440	397	441
16,42	115	31	1353	1510	657	677
12,72	106	36	1628	1707	491	491
18,30	122	59	833	1510	546	676
14,20	101	195	1350	1451	589	726

Примечание. I — вертикальная составляющая силы давления левой ноги на опору в момент максимума положительной горизонтальной составляющей силы правой ноги; II — максимум вертикальной составляющей силы правой ноги; III — горизонтальная составляющая силы левой ноги в момент максимума горизонтальной составляющей силы правой ноги; IV — максимум горизонтальной составляющей силы левой ноги.

та, имеют очень большие величины вертикальной и горизонтальной составляющих силы левой ноги (см. в табл. 7 результат 14,20 м). При таком действии ног максимумы положительной горизонтальной составляющей силы правой ноги и отрицательной горизонтальной составляющей силы левой ноги совпадают по времени, что ухудшает результат.

Все же нельзя сказать, что вопрос о целесообразной длительности фазы переката решен окончательно. Трудность однозначного ответа на этот вопрос связана с тем, что ноги в фазе финального разгона должны не только своевременно разогнать и затормозить систему спортсмен — снаряд в определенной последовательности, но и обеспечить устойчивое положение спортсмена. Кроме того, во время взаимодействия с опорой спортсмен не только ускоряет свое тело, но и осуществляет обгон звеньев (см. раздел 6.3). В одноопорном положении на правой ноге выполнять это довольно сложно. Постановка левой ноги увеличивает площадь опоры, и положение атлета становится более устойчивым. И, наконец, постановка левой ноги с выведением таза, а затем и груди вперед способствует лучшему предварительному растягиванию мышц туловища.

Таким образом, перед спортсменом возникает определенная трудность: с одной стороны, более ранняя постановка левой ноги на опору повышает его устойчивость и создает благоприятные условия для использования предварительного растягивания мышц туловища, с другой — она может привести к преждевременному проявлению стопорящих усилий левой ноги. Можно предположить, что существует определенный оптимум длительности переката, и поэтому излишнее уменьшение, как и намеренное увеличение времени переката, ошибочно.

---

## **6. ДВИЖЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЗВЕНЬЕВ ТЕЛА И АКТИВНОСТЬ МЫШЦ**

---

Величины импульсов сил, которые спортсмен создает при взаимодействии с опорой и снарядом, зависят от положения тела и движения отдельных его звеньев.

## 6.1. ФАЗА СТАРТОВОГО РАЗГОНА



Рис. 26. Подготовительные действия (замах) перед началом стартового разгона



Рис. 27. Исходное положение (группировка) в начале стартового разгона.

Средние величины углов в суставах: правый коленный сустав (а) —  $108 \pm 11,9^\circ$ ; правый тазобедренный сустав (б) —  $109 \pm 24,8^\circ$ ; левый коленный сустав (в) —  $80 \pm 10,9^\circ$ ; правый локтевой сустав (г) —  $65 \pm 7,1^\circ$

Фаза стартового разгона начинается с принятия исходного положения (группировки), которому предшествуют подготовительные движения. В 50—60-х годах большинство спортсменов выполняли энергичный подъем туловища и высокий замах левой ногой (рис. 26) с последующим резким подседанием на правой ноге, чтобы за счет него создать большее давление на опору (используется эффект предварительного растягивания мышц правой ноги). Однако такие движения ухудшают устойчивость тела, находящегося в одноопорном положении, что может вызвать отклонение движения тела через круг от оптимального направления.

За последние 10—15 лет произошло некоторое упрощение предстартовых движений. Взросшие силовые возможности спортсменов позволяют эффективно выполнять стартовый разгон лишь за счет использования силы мышц правой ноги и маха левой ногой. Это дает возможность принимать более низкое и устойчивое исходное положение (рис. 27). При таком положении

проекция ОЦМ тела проходит через переднюю часть правой стопы. Голова находится в одной плоскости с туловищем или несколько наклонена вниз. Фронтальные оси плеч и таза параллельны между собой и перпендикулярны направлению метания (рис. 28, а). Некоторые спортсмены используют дополнительный поворот пояса верхних конечностей, т. е. принимают более «закрытую» позу в группировке (рис. 28, б, в).

Значительные величины средних квадратических от-



Рис. 28. Исходное положение (группировка) в начале стартового разгона (вид спереди):

*а* — ось плеч перпендикулярна направлению метания (Слупянек); *б, в* — «закрытое» положение (Матсон и Барышников)

клонений углов в суставах, отмеченных на рис. 27, свидетельствуют о больших индивидуальных различиях спортсменов в исходном положении. Нами обнаружена слабая, но достоверная отрицательная корреляционная связь ( $-0,30$ ;  $n=50$ ) между величиной угла в коленном суставе правой ноги и спортивным результатом, т. е. лучших спортсменов отличает более низкое положение в начале стартового разгона.

Стартовый разгон начинается с перемещения проекции ОЦМ тела от передней части стопы к пятке за счет отталкивания от опоры правой ногой, махового движения левой ноги и действия момента силы тяжести тела и ядра, который возникает при выходе проекции ОЦМ системы спортсмен — снаряд за пределы площади опоры. Точных экспериментальных данных о том, в какой последовательности должны выполняться эти движения, нет. Существуют лишь некоторые теоретические предположения о том, что мах левой ногой должен начинаться после начала падения тела в круг и до начала действия правой ноги на опору (О. Я. Григалка, 1967; Кръстев, 1971; Гамаль Мохамед Ахмед Алаа Эльдин, 1976).

Дополнительной экспериментальной проверки требует также вопрос о количественном вкладе перечисленных движений в скорость системы спортсмен — снаряд в фазе стартового разгона.

Так, Doherty (1958) утверждает, что падение тела в круг более эффективно, чем мах левой или отталкивание правой ногой. В то же время из практики известно, что акцентирование внимания на падении в круг является трудно исправимой ошибкой. По данным Мазарева

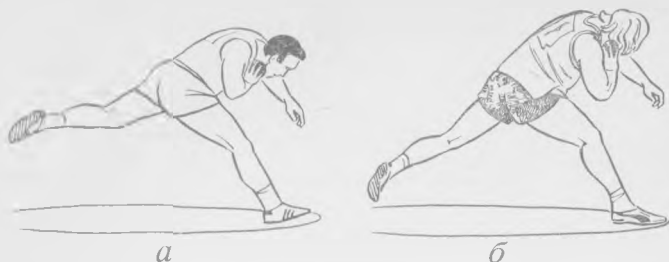


Рис. 29. Варианты направления маха левой ногой в фазе стартового разгона:

*а* — мах вперед-вверх (Войкин); *б* — мах вперед-вниз (Фейербах)

(1974), основное ускорение тела создает мах левой ногой. И наконец, Schrenke (1973) высказывает мнение о том, что силовой подготовленности современных спортсменов достаточно, чтобы добиться необходимой скорости в фазе стартового разгона практически одними усилиями правой ноги. Назначение действий левой ноги в этой части движения заключается в том, чтобы в фазе финального разгона обеспечить ее постановку на опору в нужный момент и в нужное место.

Что касается направления маха, то большинство спортсменов использует два варианта маха: вперед-вверх и вперед-вниз (рис. 29). В первом варианте стартовые движения напоминают активное разведение бедер с последующим активным их сведением. Недостатком такого маха является компенсаторный подъем туловища вверх, что приводит к искривлению траектории движения ядра в проекции на вертикальную плоскость. Частичного уменьшения подъема туловища можно достичь, распрямляя левую руку и отводя ее в сторону, противоположную направлению маха левой ноги, т. е. назад-вниз. Такое положение руки создает момент силы тяжести, противодействующий моменту силы тяжести левой ноги. Выполнение маха вперед-вниз проще по координации, оно облегчает своевременную и правильную постановку ноги на опору в фазе финального разгона и не вызывает столь значительного подъема туловища.

Мах левой ногой «открывает» таз (поворачивает его в сторону метания). Часто фронтальная ось таза оказывается почти параллельной направлению метания. В по-

следнее время многие специалисты перестали это считать ошибкой (Nett, 1969; Delevan, 1973, и др.), правда, при условии, что фронтальная ось плеч остается перпендикулярной направлению метания. «Открытое» положение таза имеет некоторые преимущества: достигается предварительное растягивание мышц туловища (например, внутренней косой мышцы живота); появляется возможность более раннего воздействия на снаряд.

Фаза стартового разгона заканчивается моментом отрыва правой ноги от опоры. Он сопровождается либо перекатом стопы через пятку, либо отталкиванием с носка (см. рис. 29). Большинство специалистов (Nett, 1969; О. Я. Григалка, 1967; и др.) считает, что для достижения оптимального начального положения при выталкивании ядра не имеет значения, чем именно.

## 6.2. БЕЗОПОРНАЯ ФАЗА (СКАЧОК)

Безопорная фаза, с точки зрения разгона ядра, является относительно пассивной. В безопорном положении нельзя увеличивать горизонтальную скорость ОЦМ системы спортсмен — снаряд, поскольку на спортсмена действует только сила тяжести. Некоторое увеличение скорости ядра возможно лишь за счет разгибания туловища. Однако оно должно быть незначительным, в противном случае спортсмен в начале финального разгона займет излишне выпрямленное положение.

После отрыва правой ноги от опоры происходит быстрое сгибание в коленном суставе. Перед постановкой ее на опору большинство спортсменов выполняет неуловимое встречное к опоре разгибание ноги, размах которого составляет 10—15°. Такое движение дает возможность начать активное давление на опору сразу с момента постановки ноги.

Стремление активно воздействовать правой ногой на опору подтверждается исследованиями электрической активности мышц. В среднем за 40—70 мс до касания ногой опоры у всех спортсменов, независимо от квалификации, возникает электрическая активность икроножной мышцы (медиальной головки) и прямой мышцы бедра, которая, по-видимому, имеет рефлекторный характер и связана с подготовкой ноги к последующему мощному действию на опору в фазе финального разгона.



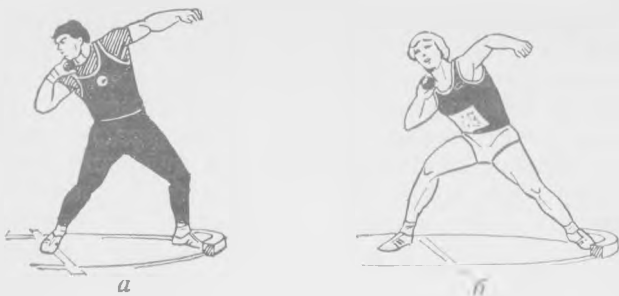


Рис. 30. Варианты расстановки ног в финальном разгоне:  
 а — узкая расстановка (Бабер); б — широкая расстановка (Слупяnek)

### 6.3. ФАЗА ФИНАЛЬНОГО РАЗГОНА

Фаза финального разгона, по мнению многих специалистов (Christmann, 1940; Lundberg, 1947; Jones, 1948; Rieder, 1960; Ward, 1970; О. Я. Григалка, 1970; Я. Е. Ланка, 1977; Ан. А. Шалманов, 1978, и др.), начинается с момента постановки правой ноги на опору.

Большинство спортсменов ставит правую ногу в центре круга (рис. 30, а). Поскольку левая нога практически всегда ставится около сегмента, расстояние между ногами не превышает 1 м. Такое расположение ног выгодно с точки зрения проявления их силовых возможностей за счет большого сгибания и относительно продолжительного разгибания (Powell, 1960; Boosen, 1970). К недостаткам узкой расстановки ног следует отнести несовпадение направления силы давления правой ноги на опору с направлением силы, приложенной к ядру, а также уменьшение пути приложения силы к снаряду.

В последнее время некоторые спортсмены стали применять широкую расстановку ног — 110—120 см между стопами (рис. 30, б), что имеет и преимущества, и недостатки. С одной стороны, уменьшается проявление силы правой ноги (Tschiene, 1973), но с другой — увеличивается путь приложения силы к ядру (Schpenke, 1973), и направление ускоряющей силы давления правой ноги на опору больше совпадает с направлением вылета ядра, чем при узкой расстановке ног.

Независимо от ширины расстановки ног стопа правой ноги в момент касания опоры развернута на 45—

90° к направлению вылета ядра, что связано с величиной поворота фронтальной оси таза в этом же направлении. Поворот таза и правой ноги в безопорной фазе вызывает компенсаторный поворот пояса верхних конечностей в противоположную сторону. Такое движение, как уже было отмечено, способствует предварительному растягиванию мышц туловища еще до постановки правой ноги на опору. Кроме того, движение таза и правой ноги позволяет продолжать поворот ноги (относительно продольной оси) сразу после касания опоры.

Существует мнение (О. Я. Григалка, 1967; Кръстев, 1971), что после приземления стопы необходимо, не опускаясь на пятку, немедленно начать ее подъем (рис. 31). Однако не все спортсмены делают это. Некоторые ставят ногу на всю стопу и оставляют ее в таком положении до снятия с опоры. Это основано на предположении, что стопа является слабым звеном в цепи звеньев ноги и при разгибании ноги может возникнуть амортизация в голеностопном суставе, что уменьшит силу, приложенную к опоре. Экспериментально преимущество какого-либо из этих способов не доказано.

В фазе финального разгона современные спортсмены применяют так называемое вращательное разгибание правой ноги (см. рис. 31), которое объединяет в себе два использовавшихся ранее варианта ее движения. Первый вариант — такое движение ноги, при котором она только разгибается, поднимая туловище главным образом вверх. Он был основан на предположении о том, что сила ног в финальном разгоне должна быть направлена на подъем туловища и ядра вверх, а сила руки — вперед (Г. В. Васильев, 1947; В. Н. Тутевич, 1953, 1955; Mortensen, 1952, и др.).

Второй вариант движения правой ноги — поворот ее после постановки на опору относительно вертикальной оси в сторону метания, а затем разгибание. Он основан



Рис. 31. Схема движения звеньев тела в фазе финального разгона (по О. Я. Григалка, 1970):  
1, 2, 3, 4 — траектории отдельных звеньев

на том, что после касания правой ногой опоры проекция ОЦМ системы спортсмен — снаряд проходит сзади стопы (по отношению к направлению вылета ядра). Поэтому давление правой ноги на опору вызовет ускорение системы спортсмен — снаряд в противоположную сторону. Следовательно, первым движением правой ноги должен быть ее поворот, пока проекция ОЦМ тела не будет находиться впереди правой стопы. Чем дальше впереди стопы окажется проекция ОЦМ тела, тем большую силу спортсмен сможет приложить к ядру в направлении его вылета (Lundberg, 1947).

Современные сильнейшие спортсмены смогли объединить эти два варианта движения правой ноги, что дает возможность эффективно использовать силу ее мышц и выталкивать снаряд по более прямолинейной (в вертикальной плоскости) наклонной траектории.

Действие на опору правой ноги заканчивается в среднем за  $51,5 \pm 21,5$  мс до момента вылета ядра, и нога отрывается от опоры не полностью разогнутой (угол в коленном суставе равен  $160,3 \pm 8,1^\circ$ ).

С точки зрения механики, казалось бы, более выгодно разогнуть ногу полностью или по крайней мере отрывать ее от опоры как можно больше разогнутой. В чем же причина неполного разгибания ноги и раннего по отношению к моменту вылета ядра отрыва ее от опоры? Функция правой ноги перед отрывом ее от опоры состоит не в том, чтобы разогнать систему спортсмен — снаряд в направлении вылета ядра, а в том, чтобы совместно с левой ногой затормозить движение звеньев тела в последовательности снизу вверх (см. раздел 5). Кроме того, завершить выталкивание ядра за сегментом, что свойственно лучшим спортсменам, невозможно при долгом задерживании правой ноги на опоре.

Исследования электрической активности мышц правой ноги в фазе финального разгона позволили установить интересный для практики факт (Я. Е. Ланка, 1977; Ан. А. Шалманов, 1978): активность прямой мышцы бедра уменьшается или исчезает полностью к моменту начала разгибания в коленном суставе; к этому моменту максимальной активности достигает ее антагонист — двуглавая мышца бедра (рис. 32). Данный факт свидетельствует о том, что функцию разгибания ноги в коленном суставе берут на себя мышцы задней поверх-

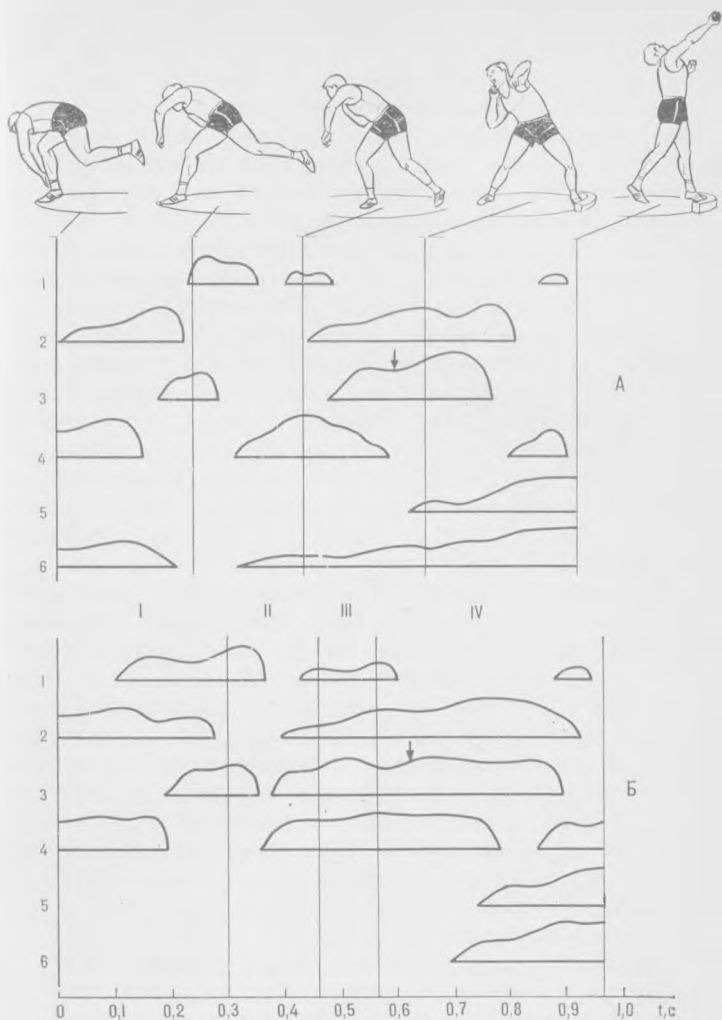


Рис. 32. Активность мышц в толкании ядра:

I — фаза стартового разгона, II — скачок, III — пережат, IV — фаза выталкивания ядра. 1 — передняя большеберцовая м. правой ноги, 2 — икроножная м. правой ноги, 3 — двуглавая м. бедра (длинная головка) правой ноги, 4 — прямая м. бедра правой ноги, 5 — трехглавая м. плеча правой руки, 6 — лучевой сгибатель кисти правой руки. А — спортсмен высокой квалификации, Б — спортсмен низкой квалификации. Стрелками отмечен момент начала разгибания правой ноги в коленном суставе

ности бедра. Корреляционный анализ выявил достоверную положительную связь ( $0,49$ ;  $n=50$ ) между спортивным результатом и временем активности двуглавой мышцы бедра в фазе финального разгона.

Полученные данные говорят о том, что роль мышц задней поверхности бедра правой ноги значительно больше, чем принято было считать до сих пор. Поэтому необходимо дополнительно к тем упражнениям, которые спортсмены применяют для развития силы мышц передней поверхности бедра, выполнять упражнения для повышения силы мышц задней поверхности.

Что касается движений левой ноги в фазе финального разгона, то спортсмены используют два варианта постановки ее на опору: «втыканием» вниз-вперед к сегменту и «загребаящим» движением сверху-вниз с некоторым поворотом стопы в сторону вылета ядра. В первом случае нога ставится на носок с последующим опусканием на всю стопу, во втором — сразу на всю стопу, что дает возможность быстрее начать ее активное действие на опору (Nett, 1969).

После касания левой ногой опоры, когда угол в коленном суставе равен  $120 \pm 16,2^\circ$ , происходит значительное ее сгибание (в среднем на  $14,9 \pm 8,4^\circ$ ), обусловленное большими нагрузками, возникающими вследствие стопорящего действия ноги на опору. Поскольку сила реакции опоры значительна, величина угла в коленном суставе должна находиться в оптимальных границах. Известно, что максимальная сила при разгибании в коленном суставе проявляется при углах от  $105$  до  $125^\circ$ . Отклонение этой величины в ту или другую сторону значительно снижает силовые возможности (Clark, 1966; Л. М. Райцин, 1972; В. М. Зациорской, А. С. Аруин, В. Н. Селуянов, 1981).

После скачка спортсмен находится спиной к направлению вылета ядра, а завершает выталкивание его лицом к этому направлению. Чтобы после поворота туловища ноги не оказались на одной линии с направлением метания (при этом трудно сохранить устойчивое равновесие), необходимо левую ногу ставить несколько левее. Ширина расстановки ног в поперечном направлении колеблется в пределах  $15$ — $20$  см (по данным Ward, 1970) или  $25$ — $30$  см (по данным Г. В. Васильева, 1947). Расстояние между стопами ног зависит от способа выталкивания ядра. Если акцент делается на разгоне ядра

по более прямолинейной (в горизонтальной плоскости) траектории, то левая нога меньше отставлена влево. Если ядро выталкивается с намерением пронести его по большому радиусу, то стопа левой ноги больше отставлена влево (рис. 33).

Особое место в финальном разгоне занимает движение туловища.

Спортсмены 40-х и 50-х годов выполняли просто разгибание туловища с последующим поворотом его в сторону вылета ядра (см. рис. 1 и 2). Современные сильнейшие спортсмены выполняют сложное движение туловищем, которое включает в себя одновременное разгибание, поворот и скручивание\* относительно продольной оси тела.

Изменение угла в правом тазобедренном суставе при его разгибании у сильнейших спортсменов достигает  $70-80^\circ$ , поворот таза вокруг вертикальной оси —  $175-220^\circ$  (Ariel, 1973). Изменение угла между фронтальными осями плеч и таза при скручивании туловища достигает  $20-25^\circ$  (Я. Е. Ланка, 1977; Ан. А. Шалманов, 1978).

Движение туловища в фазе финального разгона начинается с поворота таза относительно продольной оси тела. При этом пояс верхних конечностей необходимо удерживать в «закрытом» положении. Это приводит к скручиванию туловища и растягиванию внутренней и наружной косых мышц живота. Почти одновременно с поворотом таза происходит разгибание в тазобедренных суставах. Эти два движения вызывают растягивание мышц-сгибателей туловища (прямой мышцы живота, большой и малой поясничных мышц, наружной и внут-

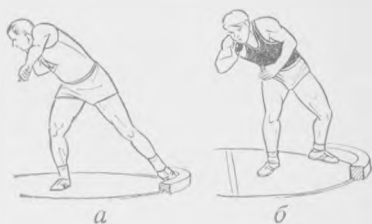


Рис. 33. Варианты расстановки ног в поперечном направлении в фазе финального разгона:

*а* — левая нога незначительно отставлена влево, *б* — левая нога сильно отставлена влево

\* Под «скручиванием» туловища понимается поворот фронтальной оси плеч по отношению к фронтальной оси таза (относительно продольной оси туловища). При повороте же туловища угол между осями плеч и таза не меняется.

решней косых мышц живота). При этом таз движется вперед, а пояс верхних конечностей отстает. Разгибание в правом тазобедренном суставе у некоторых спортсменов достигает  $184,8 \pm 6,5^\circ$ , т.е. происходит переразгибание в нем. Такая поза напоминает так называемое «положение натянутого лука». Максимальное разгибание в правом тазобедренном суставе происходит за  $92,7 \pm 18,4$  мс до момента вылета ядра, после чего угол в суставе остается постоянным в течение 40—50 мс. Непосредственно перед вылетом снаряда (40—60 мс до вылета) он уменьшается на  $5—10^\circ$  и повторно фиксируется в момент вылета ядра. Сгибание в суставе перед вылетом ядра совпадает по времени с поворотом пояса верхних конечностей в сторону вылета. Эти движения происходят при фиксированном положении таза, поворот которого (относительно продольной оси тела) прекращается до момента максимального разгибания в тазобедренном суставе.

Экспериментальное исследование взаимоотношений движения таза и пояса верхних конечностей в фазе финального разгона (Ariel, 1973; Б. П. Лазарев, 1974; Я. Е. Ланка, 1977; Ан. А. Шалманов, 1978) позволило установить следующее:

1) у спортсменов низкой квалификации почти полностью отсутствует угол между фронтальными осями таза и пояса верхних конечностей, т.е. скручивание туловища (рис. 34);

2) время и величина поворота таза больше времени и величины поворота пояса верхних конечностей;

3) момент наибольшего скручивания туловища совпадает с моментом максимальной скорости поворота таза, после чего поворот таза резко тормозится;

4) по сравнению с другими частями туловища пояс верхних конечностей имеет наибольшую угловую скорость (больше  $34,8$  рад/с). После того как она достигает максимума, следует резкое торможение — скорость падает до  $15,7$  рад/с у американских и до  $2,5$  рад/с у лучших европейских спортсменов. Различная степень торможения у представителей разных школ объясняется отличительной манерой выталкивания ядра — с акцентом на разгибательное или вращательное движение звеньев.

Положение головы и ее движение в фазе финального разгона способствуют предварительному растягива-

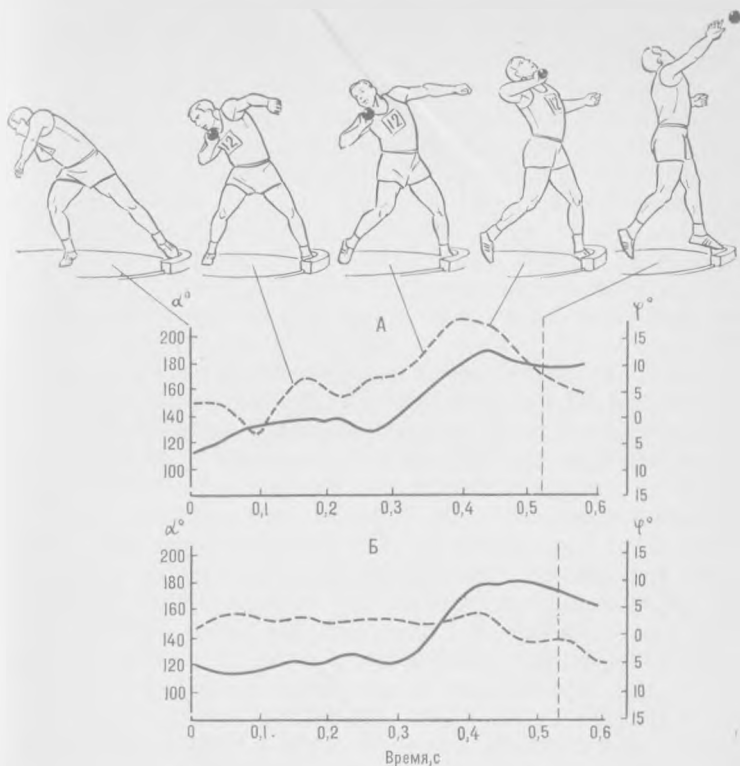


Рис. 34. Гонниограммы изменения угла  $\alpha^\circ$  в правом тазобедренном суставе ————— и угла  $\varphi^\circ$  между фронтальными осями плеч и таза (-----) в фазе финального разгона:

А — спортсмен высокой квалификации, Б — спортсмен низкой квалификации. Вертикальная пунктирная линия соответствует моменту вылета ядра

нию мышц туловища, перераспределению их тонуса с одной части тела на другую, предупреждают раннее разгибание туловища и преждевременный поворот в сторону вылета ядра.

Финальное движение целесообразно начинать с подъема подбородка и незначительного поворота головы влево. Подбородок продолжает подниматься до момента вылета ядра. К началу разгибания толкающей руки следует повернуть голову еще левее для выведения правого плеча вперед (О. Я. Григалка, 1970). Такое движение головы основано на двух теоретических пред-



посылках: во-первых, врожденные рефлекторные механизмы (в частности, шейно-тонические рефлексы) играют существенную роль в формировании двигательной координации; во-вторых, голова и пояс верхних конечностей являются своеобразным каркасом, относительно которого оценивается положение других звеньев тела (Orbach, Traub, 1966).

Фаза финального разгона завершается выталкиванием ядра рукой. Разгибание руки продолжается 90—140 мс, угол в локтевом суставе изменяется на 80—140°. Эта величина зависит от значений угла в момент начала разгибания руки и в момент вылета ядра. Углы в рассматриваемые моменты движения соответственно равны  $65,3 \pm 7,1^\circ$  и  $165,9 \pm 9,5^\circ$ . Значительные индивидуальные различия во времени и размахе движений в локтевом суставе зависят не только от силовой подготовленности спортсменов и анатомических особенностей строения руки, но и от способа выполнения заключительной части движения. Спортсмены, которые завершают выталкивание с акцентом на разгибательном движении туловища и ног, начинают разгибание руки при скорости ядра 3,5—5 м/с, приближая этот момент к началу разгибания левой ноги. Основной прирост скорости у них происходит после начала разгибания руки. У спортсменов, делающих акцент на поворотном движении ног и туловища, скорость ядра в начале разгибания руки составляет около 8 м/с, что лишь на 4—5 м/с меньше скорости вылета ядра.

Движение левой руки во время выталкивания ядра должно способствовать быстрому разгибанию толкающей руки и повороту пояса верхних конечностей в направлении вылета ядра. Для этого руку пужно энергично отводить круговым движением вверх-вперед с выходом грудью в направлении метания. Во время разгибания толкающей руки левая рука, сгибаясь, опускается по дуге вниз к левому боку. Это движение помогает фиксировать левое плечо и выполнять ускоренное движение правого плеча и разгибание рабочей руки.

Движения отдельных звеньев тела в фазе финального разгона должны выполняться в определенной последовательности, с точки зрения изменения углов в суставах тела. Ведь именно на эти характеристики движения в большей степени ориентируются тренеры при обучении технике толкания ядра и ее совершенствованию.

нии. (В разделах 3 и 5.2 этот вопрос уже рассматривался, но в другом аспекте.)

В результате собственных исследований выявлены два варианта последовательности разгибания основных звеньев тела в фазе финального разгона: 1) после начала разгибания правого коленного сустава начинается разгибание правого тазобедренного сустава, потом левого коленного сустава и локтевого сустава толкающей руки; 2) разгибание в левом коленном суставе начинается раньше, чем в правом тазобедренном суставе, а последовательность движения в остальных звеньях не меняется (рис. 35).

Первый вариант отличается более ранним разгибанием всех звеньев, и им пользуется большинство сильнейших спортсменов. Более раннее начало разгибания в левом коленном суставе, чем в правом тазобедренном (второй вариант), замедляет движение через круг и вызывает преждевременный отрыв ног от опоры. Доказательством этому служит тот факт, что 8 из 9 обследованных спортсменов, использующих этот вариант, завершили выталкивание ядра в безопорном положении, в то время как из 14 спортсменов, применявших первый вариант, всего два завершали движение, находясь в без-

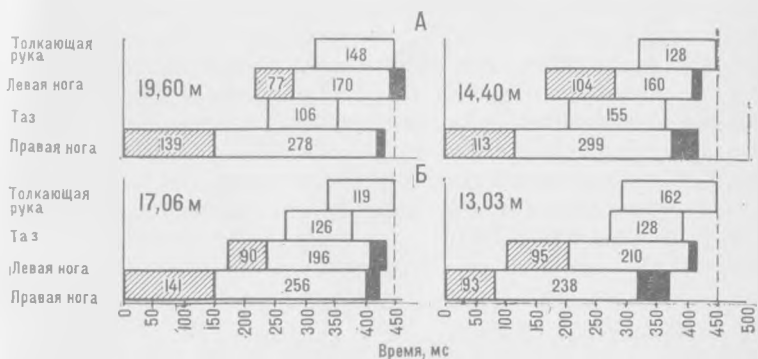


Рис. 35. Схема последовательности движения звеньев тела в фазе финального разгона:

А — первый вариант, Б — второй вариант (объяснения в тексте). Пунктир — момент вылета ядра, штриховка — время от постановки ноги на опору до начала разгибания в суставе; незаштрихованная часть — время разгибания в суставе; зачерненная часть — время от максимума разгибания ноги в суставе до ее отрыва от опоры

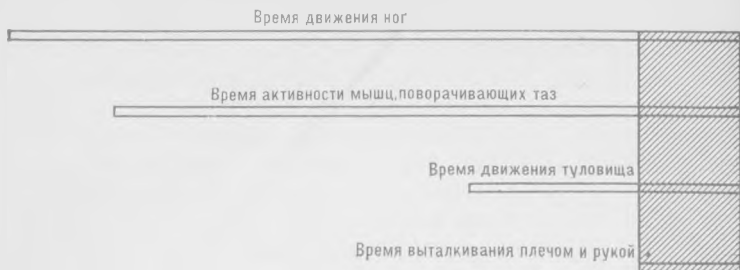


Рис. 36. Схема последовательности движения звеньев в толкании ядра (по Григалка, 1963)

опорном положении (Я. Е. Ланка, 1977; Ан. А. Шалманов, 1978).

Время между моментами начала разгибания звеньев, а также продолжительность этих движений сильно варьируют как у спортсменов разной квалификации, так и у спортсменов примерно одинакового уровня мастерства. И все же следует отметить некоторые закономерности. По мере роста мастерства уменьшается время между началом разгибания в суставах правой ноги и других звеньях, а момент начала разгибания толкающей руки приближается к началу разгибания левой ноги. Не обнаружено одновременного разгибания правой ноги и правой руки, что в свое время считал целесообразным Mortensen (1952). Не обнаружена также последовательность, которую отмечал О. Я. Григалка (1963): разгибание толкающей руки начинается только после полного разгибания ног и туловища. Не находит подтверждения и его теоретическое предположение о том, что все звенья тела должны разгибаться одновременно в момент вылета ядра (рис. 36).

---

## 7. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО МАСТЕРСТВА СПОРТСМЕНОВ

---

Техническое мастерство спортсмена складывается из многих показателей, основными из которых являются рациональность техники и ее эффективность.

Под рациональностью техники в современной биомеханике спорта понимается оценка того или иного варианта с точки зрения возможности демонстрации при его использовании высших спортивных достижений (В. М. Зацпорский, 1979). Рациональными являются те варианты техники, используя которые можно показать наивысшие результаты.

В разделе истории толкания ядра речь шла о совершенствовании способа выполнения движения с момента зарождения этого вида спорта до настоящего времени, т. е. о поиске наиболее рациональной техники.

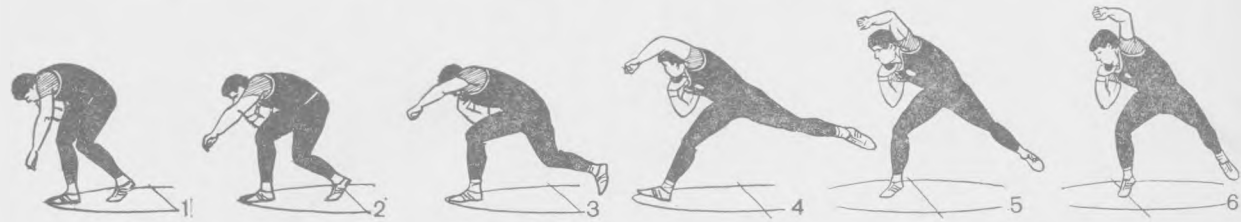
Эффективность техники спортсмена характеризуется степенью близости ее к наиболее рациональному варианту.

### **7.1. РАЦИОНАЛЬНОСТЬ ОСНОВНЫХ ВАРИАНТОВ ТЕХНИКИ ТОЛКАНИЯ ЯДРА**

Современную технику толкания ядра можно свести к трем основным вариантам, существенно отличающимся друг от друга по внешней картине движения. Это толкание с линейным махом: один вариант с узкой и другой — с широкой расстановкой ног в финальном разгоне; и толкание ядра с круговым махом. Какой из этих вариантов является наиболее рациональным, пока сказать нельзя, поскольку, во-первых, последние два из них недостаточно изучены, а, во-вторых, наивысших результатов добиваются спортсмены, представляющие все перечисленные варианты техники.

Несмотря на внешнее различие, в основе выполнения этих способов толкания ядра лежат одни и те же механизмы. Разница состоит лишь в путях их реализации и компенсации недостатков одних элементов техники более эффективным выполнением других. Например, широкая расстановка ног в финальном разгоне не выгодна с точки зрения проявления силы правой ноги, но зато направление действия этой силы на опору больше совпадает с направлением вылета ядра, чем при узкой расстановке ног. В последнем способе наблюдается обратная картина.

Общие требования к технике толкания ядра сводятся к тому, что спортсмен должен постепенно разогнать снаряд до максимально возможной скорости по наклонной, близкой к прямолинейной (в вертикальной плоско-



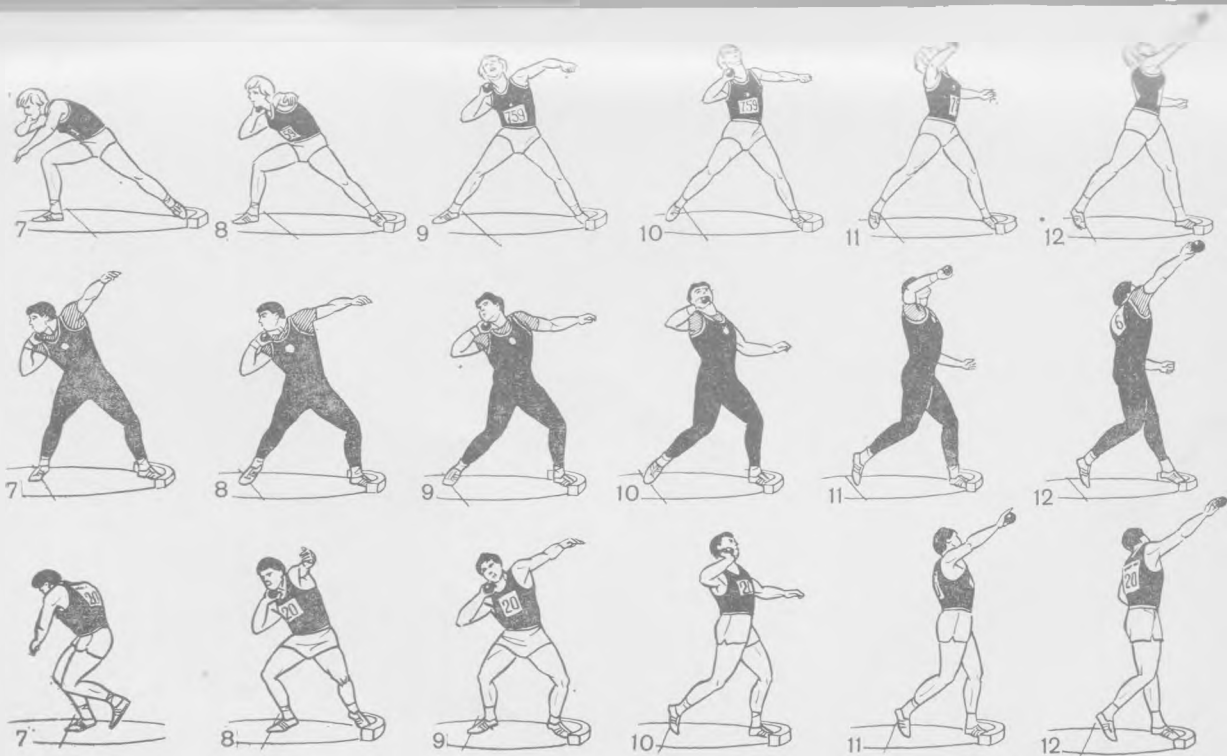


Рис. 37. Современные варианты техники толкания ядра:

верхняя кинограмма — линейный мах, широкая расстановка ног в фазе финального разгона (чемпионка XXII Олимпийских игр в Москве, рекордсменка мира Слупянек); средняя кинограмма — линейный мах, узкая расстановка ног в фазе финального разгона (бронзовый призер XXII Олимпийских игр в Москве, рекордсмен мира Байер); нижняя кинограмма — круговой мах (серебряный призер XXII Олимпийских игр в Москве, экс-чемпион мира Барышников)

сти) и оптимально криволинейной (в горизонтальной плоскости, в фазе финального разгона) траектории, а также выполнить в фазе финального разгона сложные поступательно-вращательные движения ногами и туловищем (см. раздел 6.3) для того, чтобы использовать эффект предварительного растягивания мышц (механизм «хлеста»).

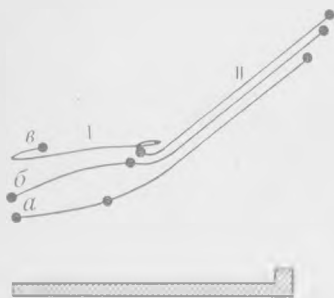


Рис. 38. Траектории ядра (вид сбоку):

*a* — Слупянек, *б* — Байер, *в* — Барышников; I — фаза стартового разгона и скачок; II — фаза финального разгона

Как же реализуют эти требования представители разных вариантов техники толкания ядра (рис. 37)?

Различия траекторий ядра в сравниваемых вариантах техники (рис. 38) обусловлены несколькими причинами, основная из которых заключается в разных способах предварительного растягивания мышц туловища в фазе финального разгона. В первом варианте оно достигается за счет далекого выноса вперед левой

ноги с последующим поворотом туловища в сторону вылета ядра (см. рис. 37, кадры 8, 9, 10 на верхней кинограмме). Эти движения сходны с действиями метателей копья в фазе финального разгона, когда спортсмен принимает положение натянутого лука при далеком выносе вперед левой ноги. При широкой расстановке ног длина и продолжительность скачка меньше, траектория ядра более прямолинейная (рис. 38, кривая *a*), а значит и больше совпадение направлений скорости ядра в фазах стартового и финального разгона. Кроме того, уменьшение длины и продолжительности безопорной фазы увеличивает продолжительность и путь разгона ядра в фазе финального разгона. Следует еще раз подчеркнуть, что для данного варианта техники характерно низкое исходное положение в начале старта, сохранение большого наклона туловища на протяжении всей стартовой фазы и «закрытое» положение пояса верхних конечностей в начале фазы финального разгона (см. рис. 37, кадр 7 на верхней кинограмме).

Во втором варианте при узкой расстановке ног пред-

варительное растягивание мышц туловища в фазе финального разгона (см. рис. 37, кадры 8, 9, 10 на средней кинограмме) осуществляется с акцентом на его скручивании («швунг» тазом). Большие продолжительность и длина скачка вызывают некоторое искривление траектории ядра (рис. 38, кривая б) в конце скачка и в начале фазы финального разгона, что приводит к большему несовпадению скорости ядра в конце стартового и финального разгона. Однако такое выполнение скачка дает возможность проявить большую силу правой ноги при взаимодействии ее с опорой (используется эффект предварительного растягивания мышц ноги). Отмеченное искривление траектории ядра в той или иной степени характерно для большинства спортсменов, использующих данный вариант техники.

Что касается рассматриваемой попытки рекордсмена мира Байера, то даже в его технике можно отметить некоторые недостатки. Прежде всего это довольно высокое положение тела и ядра в начале стартового разгона. Во время стартового разгона спортсмену не удастся сохранить наклон туловища, поэтому в начале фазы финального разгона он занимает излишне выпрямленное положение. Кроме того, ему не удастся сохранить «закрытое» положение пояса верхних конечностей к моменту начала финального разгона (см. рис. 37, кадры 5, 6). Все это уменьшает путь разгона ядра.

В отличие от предыдущих вариантов техники толкания ядра, где обгон звеньев выполняется на фоне некоторой горизонтальной скорости снаряда, направленной в сторону вылета ядра, в третьем варианте (способом кругового маха) предварительное растягивание мышц туловища в начале финального разгона начинается, когда проекция скорости ядра на вертикальную плоскость, соответствующую направлению вылета ядра, практически равна нулю или даже имеет некоторое отрицательное значение — ядро движется в сторону, противоположную вылету ядра (рис. 39, часть траектории — III). В данном варианте техники акцент делается главным образом на скручивании туловища и стремлении пронести ядро по возможно большему радиусу при повороте туловища и выпрямлении руки.

Рассмотрим подробнее технику толкания ядра Барышникова. В начале стартового разгона спортсмен занимает довольно высокое исходное положение, находясь



спиной к направлению вылета ядра (см. рис. 37, кадр 2). Туловище наклонено вперед, пояс верхних конечностей «закрыт». Стартовый разгон напоминает движения метателя диска. Он начинается с вращения на правой, а затем на левой ноге (кадры 2, 3, 4, 5). В этой фазе ядро движется почти параллельно поверхности круга (рис. 38, в). По данным Kerssenbrock (1974), значение скорости ядра в стартовом разгоне у Барышникова достигает 4 м/с. При переходе из задней части круга в переднюю безопорная фаза практически отсутствует (см. рис. 37, кадр 6), т.е. почти одновременно происходит отрыв левой ноги от опоры и постановка правой ноги. Затем следует фаза переката и выталкивания ядра. В этих фазах спортсмен довольно узко ставит ноги в передне-заднем направлении и почти на одной линии, совпадающей с направлением вылета ядра (см. рис. 39).

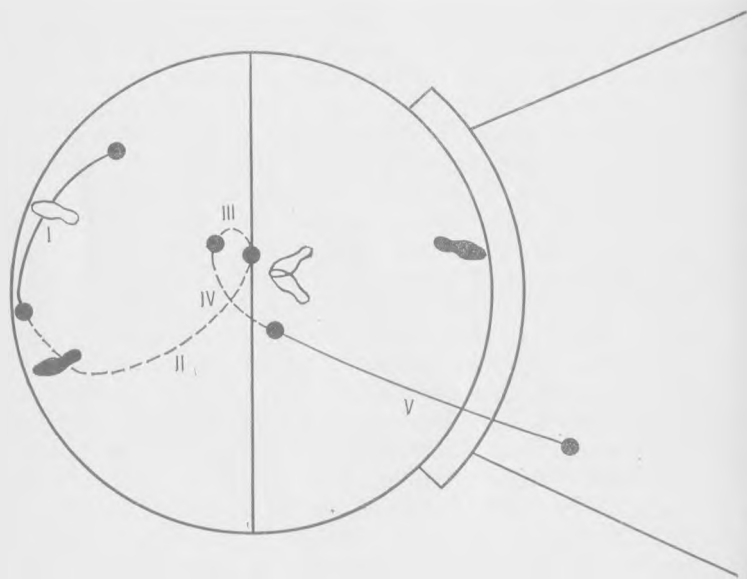


Рис. 39. Траектория ядра (вид сверху) и положение стоп при толкании ядра способом кругового маха у Барышникова (по Kerssenbrock, 1974):

I — двухопорное положение в фазе стартового разгона, II — одноопорное положение в фазе стартового разгона, III — скачок, IV — перекал, V — фаза выталкивания ядра

Это не позволяет полностью закончить поворот ног и туловища, поэтому ядро вылетает в правую часть сектора.

Итак, отличие техники А. Барышникова заключается в криволинейном характере движения ядра (петля в средней части траектории на рис. 39), что приводит к возникновению центробежных сил инерции. Действие этих сил дает возможность эффективнее использовать предварительное растягивание мышц туловища в начале финального разгона. Кроме того, ядро (в проекции на горизонтальную плоскость) двигается в фазе финального разгона по большему радиусу поворота, чем в двух других вариантах техники толкания ядра. К недостатку техники А. Барышникова (в рассматриваемой попытке) следует отнести значительное отклонение формы траектории ядра (в проекции на вертикальную плоскость) от прямолинейной (см. рис. 38, в) и как следствие этого—большее несовпадение скоростей стартового и финального разгона.

## **7.2. ЭФФЕКТИВНОСТЬ И КРИТЕРИИ ТЕХНИКИ ТОЛКАНИЯ ЯДРА**

Существует несколько способов оценки эффективности техники толкания ядра.

Первый способ заключается в сравнении техники данного спортсмена с техникой спортсмена высокой квалификации (например, рекордсмена мира). Этот способ наиболее часто используется в практике спорта (получаются так называемые показатели сравнительной эффективности техники, по В. М. Зациорскому, Као Ван Тхы, 1971). Недостатком его является то, что молодые спортсмены могут копировать не только достоинства, но и ошибки, от которых не застрахованы даже выдающиеся спортсмены. Кроме того, при таком подходе довольно часто не учитываются различия в уровне скоростно-силовых возможностей сравниваемых спортсменов.

Как известно, спортивный результат зависит не только от уровня технического мастерства, но и от двигательных возможностей атлета, поэтому при оценке его технической подготовленности необходимо учитывать степень развития силовых, скоростно-силовых и других качеств. Отсюда второй способ оценки эффективности техники заключается в определении степени реализации

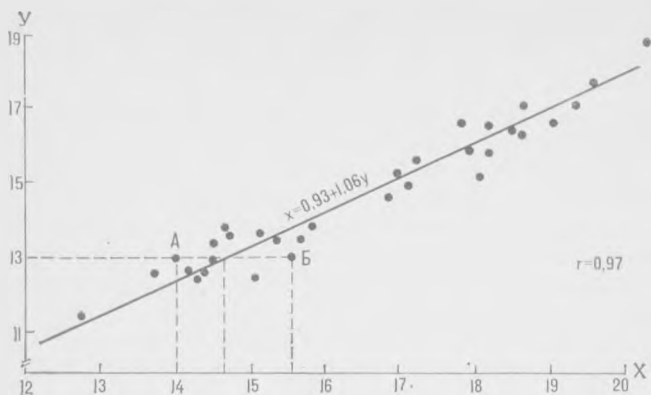


Рис. 40. Корреляционная зависимость между результатами в толкании ядра с места (Y) и с разгона (X). Объяснения в тексте

спортсменом своих двигательных возможностей (показатели реализационной эффективности, по В. М. Зациорскому, 1979).

В тренировке спортсмены используют такие специально-вспомогательные упражнения, как толкание ядра с места, бросок ядра вперед и назад, жим штанги лежа, приседание со штангой на плечах и др. Эти упражнения применяются не только как средства для развития скоростно-силовых качеств, но и как контрольные тесты для их оценки.

Высокие корреляционные связи между показателями в перечисленных тестах и спортивным результатом (табл. 8) позволяют использовать их для оценки реализационной эффективности техники толкания ядра. В основе способа лежит метод так называемых регрессионных остатков (В. М. Зациорский, 1968). Суть его можно продемонстрировать на следующем примере (рис. 40).

Линия регрессии, изображенная на рисунке, связывает между собой результаты, которые спортсмены показывают в толкании ядра с места и с разгона. Первое упражнение проще по своей координации. Например, спортсмены, имеющие в нем результат 13,00 м, толкают ядро с разгона в среднем на 14,71 м. Если из двух атлетов, имеющих такой результат с места, один толкает ядро с разгона на 14,00 м (точка А лежит левее линии

регрессии), то его техника хуже средней, а если результат второго равен 15,60 м (точка Б лежит правее линии регрессии), то его техника лучше средней, т.е. он лучше использует в фазе финального разгона скорость, полученную во время старта.

Аналогичным образом можно оценить, например, степень реализации силовых возможностей рук (по результату в жиме штанги лежа) и ног (по приседанию со штангой на плечах).

Таблица 8

Корреляционные зависимости между результатами в скоростно-силовых тестах и результатом в толкании ядра с разгоном ( $n = 32$ , спортивный результат группы варьировал от 12,00 м до 20,50 м)

Упражнения	1	2	3	4	5	6
Толкание ядра с разгона . . . . .	1	0,97	0,84	0,83	0,73	0,73
Толкание ядра с места . . . . .		1	0,84	0,82	0,74	0,76
Бросок ядра назад . . . . .			1	0,85	0,71	0,66
Бросок ядра вперед . . . . .				1	0,66	0,62
Приседание со штангой на плечах					1	0,58
Жим штанги лежа . . . . .						1

Еще один способ оценки эффективности техники у данного спортсмена основан на сравнении каких-либо ее показателей с некоторым идеалом, определенным на основе биомеханического анализа (так называемая абсолютная эффективность техники, по В. М. Зацюрскому, 1979). Например, длина пути разгона ядра у высококвалифицированных спортсменов достигает 180 см. Если у данного спортсмена путь разгона ядра меньше этой величины, то его технику, с точки зрения этого показателя, следует признать неэффективной.

Перечень подобных критериев техники толкания ядра, полученных экспериментальным и теоретическим путем, приведен в табл. 9. При оценке эффективности техники отдельных спортсменов ее следует сравнивать с этими критериями.

	Обгон ядра и высота ядра над землей	Максимальное отставание ядра и его низкое положение	Григалка (1967)	Нет
Движение ног в финальном разгоне	«Взрывная» работа ног в финальном усилии	Момент полного разгибания ног совпадает с моментом вылета ядра	Marhold (1964)	Нет
Действие правой ноги в финальном усилии	Большой импульс силы в сторону, противоположную направлению вылета ядра	Активное вращательно-поступательное движение ноги	Григалка (1970) Ланка (1977) Шалманов (1978)	Нет Есть Есть
Действие левой ноги в финальном усилии	Большой импульс силы в направлении вылета ядра	Своевременное активное стопорящее действие левой ноги	Fidelus, Zienkovicz (1965) Ланка (1977) Шалманов (1978)	Есть Есть Есть
Движение туловища в финальном усилии	Хлестообразное движение туловищем  Угол опережения между осями таза и пояса верхних конечностей	Широкое, быстрое, поступательно-вращательное разгибание туловища Возможно большее опережение	Григалка (1970)  Лазарев (1974) Ланка (1976) Шалманов (1977)	Нет  Есть Есть
Движение правой руки в финальном усилии	Полное разгибание руки в момент вылета ядра	Ядро выталкивается с пальцев, правое плечо повернуто в сторону вылета ядра, локтевой сустав полностью разогнут	Ланка (1977) Шалманов (1977) Тутевич (1955)	Есть Есть Нет

Таблица 9

Исследуемые показатели	Критерий техники	Требования к правильному выполнению	Автор	Наличие экспериментальных данных
Траектория ядра	<p>Прямолинейность разгона</p> <p>Высота ядра над опорой перед скачком. Длина пути приложения силы к ядру</p>	<p>Прямолинейность в вертикальной плоскости Дугообразность в горизонтальной плоскости 80—100 см над опорой</p> <p>160—180 см</p>	<p>Schpenke (1973) Ланка (1977) Шалманов (1978) Тутевич (1955) Marhold (1970)</p> <p>Schenke (1973)</p>	<p>Есть Есть Есть Нет Есть</p> <p>Есть</p>
Траектория ОЦМ тела	<p>Непрерывное перемещение ОЦМ в горизонтальном и вертикальном направлениях Параллельность траектории ОЦМ тела и снаряда</p>	<p>ОЦМ перемещается без замедления до момента вылета ядра Траектории ОЦМ тела и снаряда направлены под одним углом к горизонту</p>	<p>Ariel (1973)</p> <p>»</p>	<p>Есть</p> <p>Есть</p>
Кинематика суставных перемещений	<p>Равномерное разгибание во всех суставах</p>	<p>Разгибание от фазы к фазе 15—20°</p>	<p>Schpenke (1973)</p>	<p>Есть</p>
Изменение скорости ядра во время толкания	<p>Равномерный прирост скорости. Большая скорость в начале финала.</p> <p>Прочный контакт с опорой</p>	<p>Ускорение ядра поддерживается до вылета ядра 3,5—3,7 м/с</p> <p>В момент вылета носок левой ноги на опоре Одновременное разгибание левой ноги и толкающей руки</p>	<p>Тутевич (1969) Marhold (1974)</p> <p>Григалка (1970)</p> <p>Ланка (1977) Шалманов (1978)</p>	<p>Нет</p> <p>Есть</p> <p>Нет</p> <p>Есть Есть</p>

## ЛИТЕРАТУРА

Базанов Н. И. Толкание ядра. В книге: Легкая атлетика (Спорт за рубежом). М., ФИС, 1959.

Васильев Г. В. Толкание ядра и метание диска. М., ФИС, 1947.

Гамаль Мохамед Ахмед Алаа Эльдин. Биомеханический анализ ритмовой структуры двигательных действий в спортивных метаниях (на примере толкания ядра). Канд. дисс., М., 1976.

Глушченко В. Г. Скользящий контакт. Легкая атлетика, 1975, № 1.

Григалка О. Я. Основы современной техники толкания ядра. Легкая атлетика. М., ФИС, 1967, № 6.

Григалка О. Я. Толкание ядра. М., ФИС, 1970.

Григалка О. Я. Толкание ядра и метание диска. В книге: Учебник тренера по легкой атлетике М., ФИС, 1974.

Догерти Д. К. Современная легкая атлетика. М., ФИС, 1958.

Зацнорский В. М. Связь между физическими качествами и техникой движения спортсменов. Методическое письмо. М., 1969.

Зацнорский В. М. Спортивно-техническое мастерство. В книге: Биомеханика. М., ФИС, 1979.

Зацнорский В. М., Арун А. С. Биомеханические свойства скелетных мышц (обзор: методы и результаты исследований), «Теор. и практ. физич. культ.», 1978.

Зацнорский В. М., Арун А. С., Селуянов В. И. Биомеханика двигательного аппарата. М., ФИС, 1981.

Зацнорский В. М., Као Ван Тхы. Дискриминативные признаки эффективности спортивной техники. «Теор. и практ. физич. культ.», 1971, № 9.

Зацнорский В. М., Ланка Я. Е., Шалманов Ан. А. Проблемы биомеханики толкания ядра. «Теор. и практ. физич. культ.», 1978, № 12.

Зацнорский В. М., Матвеев Е. И. Исследование факторной структуры тренированности в метаниях. «Теор. и практ. физич. культ.», 1969, № 10.

Зацнорский В. М., Хвостиков В. П., Индиченко И. Г., Краснопецев Б. В. Стереограмметрические методы исследования спортивных движений. «Теор. и практ. физич. культ.», 1973, № 12.

Иванова Л. С. Толкание ядра: проблемы техники и тренировки. «Легкая атлетика», 1973, № 8.

Кръстев И. Н. Към средства и методито за усъвършенствуване структурата на тласкане гюлле. Въпроси на физична култура, 1973, № 5.

Кръстев И. Н. Тласкане на гюлле. Медицина и физкултура, София, 1971.

Кръстев П. Н. Към новите аспекти в съвременната техника за тласкане гюлле. Въпроси на физична културата, 1974, № 3.

Кутъев Н. Ядро толкают мастера. Легкая атлетика, М., ФиС, 1966, № 11.

Лазарев Б. П. Экспериментальное исследование особенностей взаимодействия двигательных звеньев тела спортсмена при выполнении скоростно-силовых легкоатлетических упражнений (на примере толкания ядра и метания диска). Канд. дисс. Л., 1974.

Ланка Я. Е. Биомеханическое исследование техники толкания ядра спортсменов разной квалификации. Канд. дисс. М., 1977.

Лебедев В. М. Электрофизиологические исследования сложного произвольного движения (на примере толкания ядра). Канд. дисс., Минск, 1962.

Лебедев Н. А. Экспериментальное исследование роли специальных скоростно-силовых упражнений в подготовке метателя (на примере толкания ядра). Канд. дисс., Л., 1969.

Марков А. Д. Исследование техники толкания ядра в связи с обоснованием средств специальной физической подготовки применительно к скоростно-силовым видам спорта. В книге: Материалы конференции молодых научных работников. М., ФиС, 1964.

Марков Д. П. Толкание ядра. В книге: Легкая атлетика. М., ФиС, 1972.

Матвеев Е. Н., Зацнорский В. М. Скоростно-силовые зависимости в метаниях в связи с выбором тренировочных и контрольных упражнений. «Теор. и практ. физич. культ.», 1964, № 8.

Мачабели Г. С. Динамометрический снаряд для исследования техники толкания ядра. В книге: Материалы республиканской конференции по итогам научно-исследовательской работы за 1967 год Грузинского института физической культуры. Тбилиси, 1968.

Мачабели Г. С. К вопросу о возможности совершенствования техники толкания ядра спортсменами высокой квалификации. В книге: Материалы республиканской конференции по итогам научно-исследовательской работы за 1968 год Грузинского института физической культуры. Тбилиси, 1969.

Райдер Дж. Толкание ядра. В книге: Легкая атлетика (Спорт за рубежом). М., ФиС, 1960.

Райцин Л. М. Влияние положения тела на проявление и тренировку силовых качеств. Автореф. канд. дисс. М., 1972.

Самоцветов А. А. Ядро полетит дальше. «Легкая атлетика», 1961, № 4.

Селиверстов А. А. Исследование взаимосвязи скоростно-силовых качеств и двигательного навыка у юных спортсменов на этапе начальной спортивной специализации в толкании ядра. Канд. дисс., М., 1973.

Тутевич В. И. Техника толкания ядра. «Теор. и практ. физич. культ.», 1952, № 2.

Тутевич В. И. Некоторые положения техники толкания ядра. «Теор. и практ. физич. культ.», 1953, т. 16, № 11.

Тутевич В. И. Толкание ядра. М., ФиС, 1955.

Тутевич В. И. Теория спортивных метаний. М., ФиС, 1969.

Шалманов Ан. А. Исследование вариативности спортивной техники (на примере толкания ядра). Канд. дисс., М., 1978.

Ariel G. Computerized Biomechanical Analysis of Track and



Field Athletics utilized by the Olympic Training Camp for Throwing Events. Track and Field Quarterly Review, 1972, 72, 99—103.

Ariel G. Biomechanical Analysis of the Shotput Technique utilizing the Center of Gravity Displacement. Track and Field Quarterly Review, 1973, 73, 4, 207—210.

Ariel G. Computerized Biomechanical Analysis of the Worlds Best Shot-Putterns. Track and Field Quarterly Review, 1973, 73, 4, 199—206.

Atwater A. E. Movement characteristics of the overarm throw: a kinematic analysis of men and women performers. Doctoral dissertation, University of Wisconsin, 1970.

Booyesen H. Thoughts on Shot put Technique. Track Technique, 1971, 43, 1365—1366.

Bresnahan, Tuttle The shot put. In book: "Track and field athletics", 1947, chapter XII.

Christmann S. Kugel, Discus, Hammer. Limpert Verlag, Berlin, 1937.

Christmann S. Neue Erfahrungen und Erkenntnisse in der Wurftechnik. Der Leichtathlet, 1940, N. 48.

Clarke H. H. Muscular strength and endurance in man. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1966.

Collins P. A. Body mechanics of the overarm and sidearm throws. M. S. thesis, University of Wisconsin, 1960.

Deelvan P. Techniques of putting the shot. Track and Field Quarterly Review, 1972, 72, 211—213.

Dessureault J. Etude des facteurs cinetiques et cinematiques au lancer du poids. The International congress of physical activity sciences. Symposia specialists Inc. Miami, Florida, 1978, book 6, pp. 91—101.

Doherty K. Speed in track and field events. Athletic J., 1950, V. XXX, 7, p. 22, 48, 49.

Doherty K. Modern track and field. 2-nd ed. Englewood Cliffs, N. Y. Prentice Hall, 1963.

Dyson G. H. The mechanics of athletics. 4 th. ed., London, University Press, 1968.

Federle S., Schille D., Trache L. Probleme des Messgenauigkeit bei kinematographischen Analysen. Theorie und Praxis der Körperkultur, 1969, Bd. 18, N. 2, 152—162.

Fidelus K., Zienkiewicz W., Sila i predkość rozwijane podezas pchnicia kula. Kultura Fizyczna, Warszawa, 1965, R. 18, N. 2, 85—95.

Gutewort W., Töpfer K. Photographische Aufnahmeverfahren der biomechanischen Kinematic. "Theorie und Praxis der Körperkultur: 1968, N 10.

Henry F. M., Traflet I. Force-time characteristics of the sprint start. Research Quarterly, 1952, v. 23, N 3, p. 303.

Hill A. V. Muscular Movement in man. N.-Y., Mc Graw-Hill, 1927.

Jones T. E. Progress in the Shot put. Athletic J., 1948, V. 28, 7, p. 10, 52, 57.

Kerssenbrock K. Nekolik ukazatelu urovne techniky ve vrhu kouli. Atletika, 1973, N 12.

Kerssenbrock K. Analysis of rotation technique. In book: The thrqws. Tafnews Press, 1974, p. 39.

Koltai J. An examination of the experimentations carried out

in the past in the technique of shot put. VI International Leichtathletik-Trainer Kongress JTECA, Madrid, 1973.

Lundberg L. Om Kugelstötningsteknik. Svensk Idrott, Stockholm, 1947, No 8—9—11, 132—133, 152—153, 188—190.

Marhold G. Über den Absprung beim Kugelstosen. Theorie und Praxis der Körperkultur, 1964, Bd. 13.

Marhold G. Badania nad biomechaniczna charakterystyka techniki pchnięcia kula. Simpozjum teorii techniki sportowej, Warszawa, 1970, s. 90.

Miller R. Jim Fuchs, 58 foot putter. Amateur athlete, N. Y., 1955, v. 26, p. 7.

Miller D. J., Nelson R. C. Biomechanics of sports. Lea and Febiger, Philadelphia, 1973.

Mortensen J. Analysis of shot put technique. Athletic Journal, Chicago, 1952, Vol. 33, 4, p. 24, 25, 46.

Nett T. Die Technik beim Stoss und Wurf. Verlag Bartels und Wernitz, Berlin, 1961, s. 1—69.

Nett T. Foot contact at the instant of release in throwing. Track Technique, 1962, N 9.

Nett T. Zur Technik des Kugelstosen. Leichtathletik, 1969, 26. Orbach, Traub Psychophysical Studies of body-image International Congress of psychology Simposium 19, Moskva, 1969.

Paune A., Slater W. J., Telford T. The Use of Force Platform in the Study of Athletic Activities. A preliminary investigation. Ergonomics, 1968, Vol. 11, N. 2, 123—143.

Payne A. A Force Platform System for Biomechanics Research in Sport. Biomechanics IV. Baltimore, London, Tokuo, University Park Press, 1974, p. 502.

Pearson G. F., Shot put question and answers. Track Technique, 1966, 26, p. 760.

Powell J. Mechanics of shot put. Track Technique. December, 1960, 2, p. 41.

Savidge J. The shot put. In: International track and field coaching encyclopedia. Parker Publish Company. N. Y., 1970.

Schmolinsky G. Leichtathletik. Ein Lehrbuch für Trainer, Übungsleiter und Sportlehrer. Berlin, Sportverlag, 1973.

Schpenke J. Zur Technik des Kugelstossens. Der Leichtathlet, 1973, N. 17, 8—9.

Schwanbeck K. D. Optimale Wege der Kugel. Leichtathletik, 1974, N. 1, 2.

Simonyi G. Form breakdown of W. Komar. Scholastic Coach, N. Y., 1973, V. 42, N. 7, pp. 7—8, 94.

Susanka P. Computer techniques in the biomechanics of sport. Biomechanics IV. Baltimore, London, Tokuo, University Park Press, 1974, p. 531—534.

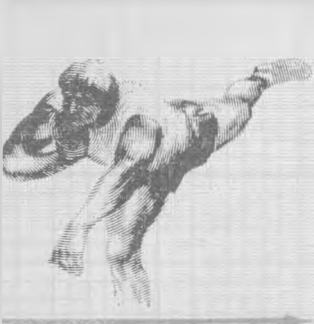
Tschiene P. Der Kugelstoss. Leichtathletik, 1973, 11, 378.

Tschiene P. Eine neue Auflöschung von der Technik des Kugelstosses. Leichtathletik, 1973, 17, s. 593.

Ward R. Analysis of Dallas Long's shot putting. Track Technique, 1970, 39, p. 1232.

Weiershausen J. Otis Chandler. Athletic J., N. Y., 1951, v. 31, N 6, p. 32.





Е. Ланка  
и А. Шалманов

# БИОМЕХАНИКА ТОЛКАНИЯ ЯДРА

В серии «Биомеханика спорта» уже вышли книги: «Биомеханика двигательного аппарата» [авторы В. М. Зациорский, А. С. Аруин, В. Н. Селуянов] и «Биомеханика плавания» [зарубежные исследования]. «Биомеханика толкания ядра» — третья книга этой серии. В ней изложены основные вопросы кинематики и динамики толкания ядра, движения отдельных звеньев тела метателя и особенности их взаимодействия для достижения наибольшей скорости вылета снаряда; рассмотрены некоторые механизмы движений, обеспечивающие достижение высокого результата; проанализированы современные варианты техники и некоторые способы оценки технической подготовленности толкателей ядра. Книга обобщает разрозненные данные по биомеханике толкания ядра и будет полезна тренерам и спортсменам в их практической деятельности. Следующая книга серии: «Биомеханические основы выносливости».

