

## Тема № 6

# Локомоторные движения

У всех локомоторных движений общая двигательная задача – усилиями мышц передвигать тело человека относительно опоры или среды. Среди передвижений относительно опоры (наземных передвижений) наибольшее распространение имеют



Рис. 1

шагательные. В водной среде применяется как отталкивание, так и притягивание. В некоторых видах спорта (спортивных играх, единоборствах, гимнастике и др.) локомоторные движения играют вспомогательную роль (рис. 1).

**Отталкивание от опоры** выполняется посредством:

- а) собственно отталкивания ногами от опоры (рис. 2а) и
- б) маховых движений свободными конечностями и другими звеньями (рис. 2б).

Эти движения тесно взаимосвязаны в едином действии – отталкивании. От их согласования в значительной мере зависит совершенство отталкивания.

При отталкивании опорные звенья неподвижны относительно опоры, а подвижные звенья под действием силы тяги мышц передвигаются в общем направлении отталкивания. Во время отталкивания легкоатлета от опоры стопа зафиксирована на опоре неподвижно. Шипы туфель, погружаясь в покрытие дорожки или брусок, обеспечивают надежное соединение с опорой. На стопу как на опорное звено со стороны голени действует давление ускоряемых звеньев тела, направленное назад и вниз. Через стопу оно передается на опору. Противодействием этому давлению служит реакция опоры. Она приложена к стопе в направлении вперед и вверх.



Рис. 2а

Рис. 2б

Силы мышечных тяг толчковой ноги выпрямляют ее. Поскольку стопа фиксирована на опоре, голень и бедро передают ускоряющее воздействие отталкивания через таз остальным звеньям тела. При ускоренном движении подвижных звеньев на них действуют тормозящие силы (тяжести и инерции) других звеньев, а также силы сопротивления мышц-антагонистов. Реакция опоры при отталкивании является той внешней силой, которая обеспечивает ускорение телу спортсмена и передвижение его центра масс.

Однако, тело человека – это самодвижущаяся система. В такой системе силы тяги мышц приложены к подвижным звеньям. Относительно каждого звена сила тяги мышцы, приложенная к нему извне, служит внешней силой. Следовательно, ускорения центров масс подвижных звеньев обусловлены соответствующими внешними для них силами, т.е. тягой мышц.

Реакция опоры не является источником работы. По закону сохранения кинетической энергии изменение кинетической энергии равно сумме работ внешних и

внутренних сил. Поскольку работа внешних сил (опоры) равна нулю, то кинетическую энергию спортсмена изменяет только работа внутренних сил (мышц).

Реакция опоры  $\mathbf{N}$  при отталкивании под углом  $\alpha$ , отличающемся от прямого (не перпендикулярно к опорной поверхности), наклонена к опорной поверхности и имеет вертикальные  $\mathbf{N}_y$  и горизонтальные  $\mathbf{N}_x$  составляющие (рис. 3). Вертикальные составляющие обусловлены динамическим весом, т.е. суммой веса и сил инерции подвижных звеньев, имеющих ускорение (или его составляющую), направленное вертикально вверх от опоры. Горизонтальные составляющие реакций опоры обусловлены горизонтальными составляющими сил инерции подвижных звеньев. Контакт опорных звеньев с опорой не точечный, поэтому могут появиться и вращательные усилия, что усложнит схему реакции опоры.

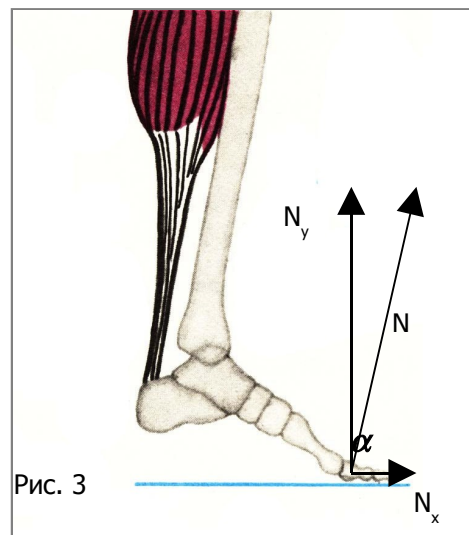


Рис. 3

**Маховые движения** при отталкивании – это

быстрые движения свободных звеньев тела в основном по направлению с отталкиванием ногой от опоры. При маховых движениях перемещаются центры масс соответствующих звеньев тела, что ведет к перемещению *общего центра масс* (ОЦМ) всего тела. Так, при прыжках в высоту в результате маховых движений руками и свободной ногой ОЦМ к моменту отрыва от опоры поднимается выше, чем без маховых движений (рис. 4). Если ускорение звеньев тела, выполняющих маховые движения, увеличивается, то и ускорение ОЦМ увеличивается. Таким образом, маховые движения, как и отталкивание ногой, осуществляют перемещение и ускорение ОЦМ.

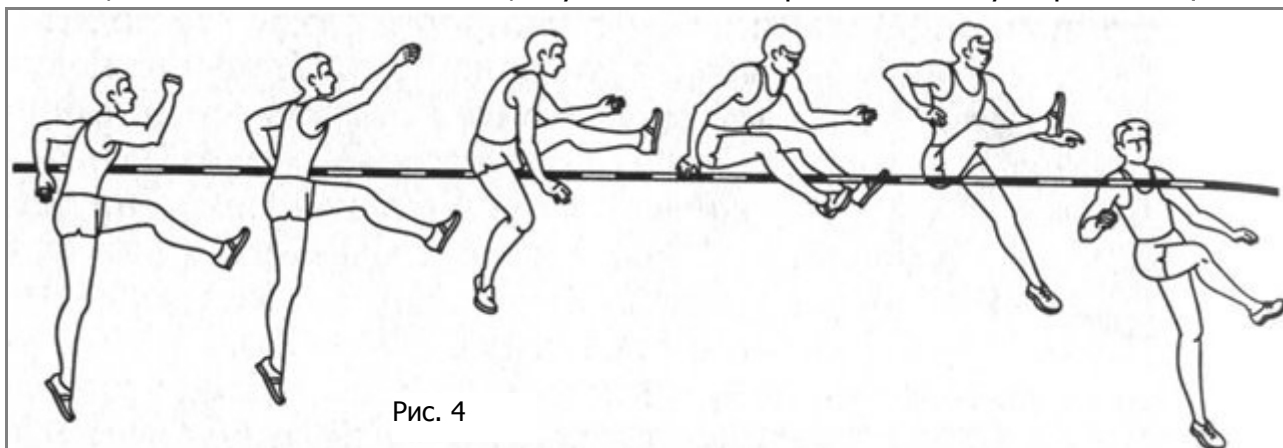


Рис. 4

В маховых движениях в фазе разгона скорость звеньев увеличивается до максимума. С нарастанием ее нарастает и скорость ОЦМ всего тела. Следовательно, чем выше скорость маховых звеньев, тем она больше сказывается на скорости ОЦМ. В фазе торможения мышцы-антагонисты, растягиваясь, напрягаются и этим замедляют движения маховых звеньев, совершая отрицательную работу (в уступающем режиме), скорость их уменьшается до нуля.

Мышечные тяги перераспределяют скорости звеньев тела; движение внутри системы передается от одних звеньев к другим. Поэтому для достижения более высокой скорости ОЦМ нужно стараться продлить фазу разгона на большей части пути матового перемещения.

Когда ускорения маховых звеньев направлены от опоры, возникают силы инерции этих звеньев, направленные к опоре. Совместно с весом тела они нагружают мышцы опорной ноги и этим увеличивают их напряжение. Дополнительная нагрузка замедляет сокращение мышц и увеличивает их силу тяги, в результате чего мышцы толчковой ноги напрягаются больше и сокращаются относительно дольше. В связи с этим увеличивается и импульс силы, равный произведению силы на время ее действия, а больший импульс силы дает больший прирост количества движения, т. е. больше увеличивает скорость.

В фазе торможения маховых звеньев их ускорения направлены к опоре, а силы инерции – от нее. Следовательно, нагрузка на мышцы толчковой ноги в это время уменьшается, их сила тяги падает, но быстрота сокращения увеличивается. Сокращаясь быстрее, они могут добавлять скорость в последние моменты отталкивания.

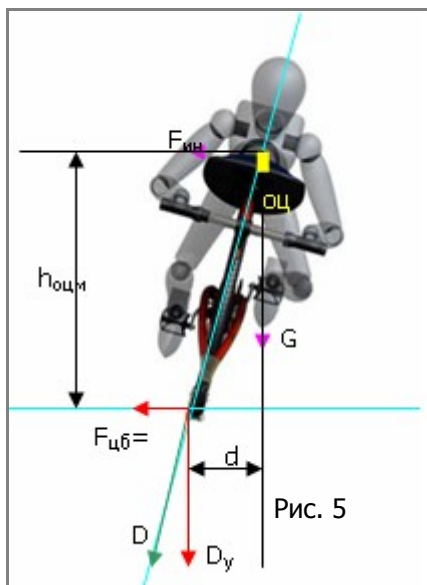
Так, маховые движения способствуют продвижению ОЦМ тела при отталкивании, увеличивают скорость, увеличивают силу и удлиняют время отталкивания ногой и, наконец, создают условия для быстрого завершающего отталкивания.

Угол наклона динамической опорной реакции дает представление о некоторых особенностях направления отталкивания от опоры в данный момент времени.

При выпрямлении ноги во время отталкивания от опоры происходит сложение вращательных движений звеньев тела.

По координатам ОЦМ тела человека за время отталкивания можно рассчитать линейное ускорение ОЦМ в каждый момент времени. Однако сопутствующие движения, в том числе маховые, обуславливают кроме линейного ускорения ОЦМ еще и угловые ускорения многих звеньев.

Поэтому угол отталкивания как угол наклона динамической составляющей реакции опоры не полностью характеризует общее направление отталкивания в каждый данный момент времени. Если бы существовала внешняя движущая сила отталкивания, то угол ее наклона к горизонту можно было бы считать углом отталкивания. Однако в самодвижущейся системе к каждому звену приложены силы, которые в совокупности определяют движения именно данного звена. Заменить всю систему множества сил, приложенных к разным звеньям, равнодействующей движущей силой в этом случае невозможно.



При движении по повороту в наземных локомоциях, например, велосипедист находится в наклоне внутрь поворота. Прижимающая сила  $D$ , приложенная к опоре под острым углом ( $\alpha$ ), может быть разложена на вертикальную составляющую ( $D_y$ ) и горизонтальную составляющую ( $D_x$ ), направленную по радиусу от центра поворота (рис. 5). Противодействие последней и есть центростремительная сила ( $F_{цс}$ ), вызывающая центростремительное ускорение и искривляющая траекторию в движении по повороту. В инерциальной системе отсчета (Земля) центробежная сила – реальная сила инерции ( $F_{цб}$ ) – и есть уже названная составляющая прижимающей силы, приложенная к опоре ( $F_{цб} = D_x$ ). В неинерциальной системе отсчета (тело спортсмена) центробежная сила – фиктивная сила инерции ( $F_{ин}$ ) – приложена к ОЦМ. Она образует относительно опоры момент силы ( $F_{ин} \cdot h$ ), который уравнивает момент силы тяжести ( $G \cdot d$ ). Угол наклона тела ( $\alpha$ ) зависит от соотношения силы тяжести  $G = mg$  и центробежной силы :

$$tg \alpha = \frac{G}{F_{цб}} = \frac{mgr}{mv^2} = \frac{gr}{v^2}, \quad F_{цб} = \frac{mv^2}{r}$$

где  $r$  – радиус кривизны поворота,  $v$  – линейная скорость тела.

Рассмотрим также *стартовые действия* с точки зрения локомоторики. Стартовые действия обычно направлены на то, чтобы начать передвижение и быстро увеличить скорость. Стартовыми действиями начинается преодоление всех дистанций, а также передвижения в единоборствах, спортивных играх и других группах видов спорта.

**Стартовые положения** – это исходные позы для последующего передвижения, которые обеспечивают лучшие условия развития стартового ускорения. Стартовые действия (при старте с места) начинают из стартового положения. Оно обычно



определено правилами соревнований и соответствует биомеханическим требованиям, вытекающим из задач старта.

Стартовое положение обеспечивает возникновение с первым движением ускорения ОЦМ тела в заданном направлении. Для этого проекция ОЦМ тела на горизонтальную поверхность приближена к передней границе площади опоры. При прочих равных условиях выдвигание ОЦМ тела вперед и более низкое его положение увеличивают горизонтальную составляющую начальной скорости. Так, в низком старте для бега угол начальной скорости ОЦМ тела меньше, чем в высоком (рис. 6). Аналогично выглядит стартовая позиция в борьбе сумо (рис. 7).

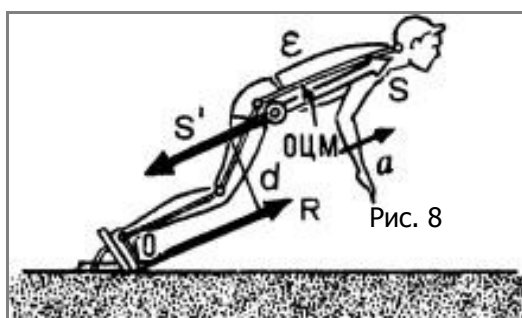


Суставные углы в стартовом положении должны отвечать индивидуальным особенностям соотношения рычагов, силовой подготовленности спортсмена и условиям стартового действия. Расположение всех звеньев тела зависит от условия стартового действия.

**Стартовые движения** – это первые движения из стартового положения, которые обеспечивают прирост скорости и переход к последующему стартовому разгону. При старте ОЦМ тела спортсмена имеет ускорение, обусловленное мышечными усилиями. Внутренние силы направлены в противоположные стороны: вперед – ускоряя подвижные звенья, назад – прижимая опорные звенья к опоре.

Это можно сделать, лишь допустив условно, что биомеханическая система тела человека отвердела, а реакция опоры играет роль внешней движущей силы (рис. 8). Перенесенная сила здесь условно рассматривается как стартовая сила ( $S'$ ), вызывающая стартовое ускорение ОЦМ. По правилу приведения силы к заданной точке надо при переносе силы в ОЦМ сложить пару сил ( $R$  и  $S'$ ), которые создают стартовый момент. Их действие направлено на уменьшение наклона тела (например, у спринтера в стартовом разгоне). Уже говорилось, что сама опорная реакция, как и реакция связи, положительной работы не совершает. Стартовая сила и момент силы – это только условные меры воздействия, которые вызывает сложное движение всей биомеханической системы.

**Стартовый разгон** обеспечивает увеличение скорости до такой, какая требуется для передвижения по дистанции. В спринтерских дистанциях за время стартового разгона скорость увеличивают до максимальной. В связи с этим разгон в спринте осуществляется дольше и на большем расстоянии, чем на более длинных дистанциях, где задача разгона – достижение только оптимальной для данной дистанции скорости, и поэтому необходимая скорость достигается на первых же шагах. В стартовом разгоне от цикла к циклу происходит изменение системы движений от стартовых до оптимальных для заданной скорости. В беге, например, это проявляется в увеличении длины шагов и уменьшении общего наклона тела. Все стартовые действия отличаются частными особенностями движений, зависящими от вида локомоций.



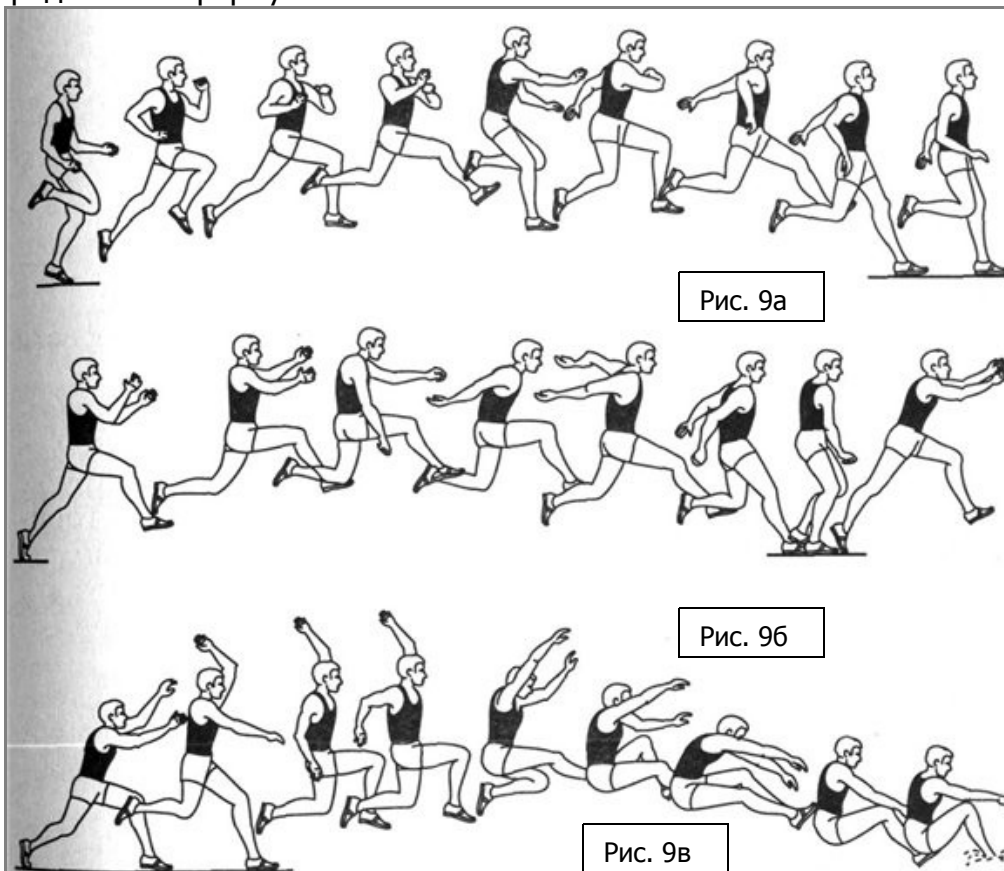
## ВИДЫ СПОРТИВНЫХ ЛОКОМОЦИЙ

Виды локомоций зависят от видов спорта и биодинамики передвижений спортсмена в движениях ациклического характера (прыжки) и циклического: с фиксированной опорой (ходьба и бег), со скольжением (лыжный ход), в водной среде (плавание), а также с механическим преобразованием движений на опоре (велосипед) и на воде (академическая лодка).

Рассмотрим в отдельности некоторые из этих движений.

## Биодинамика прыжка

В прыжках расстояние преодолевается полетом (рис. 9а-в). При этом достигается либо наибольшая длина прыжка (прыжок в длину с разбега, тройной прыжок), либо наибольшая высота (прыжок в высоту с разбега, прыжок с шестом), либо значительная и длина и высота (опорный прыжок в гимнастике). Траектория ОЦМ тела спортсмена в полете определяется формулами:



$$l = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g} \quad h = \frac{v^2 \sin^2 2\alpha}{g}$$

где  $l$  – длина и  $h$  – высота траектории ОЦМ (без учета его высоты в моменты вылета и приземления),  $v$  – начальная скорость ОЦМ в полете,  $\alpha$  – угол наклона вектора скорости к горизонтали в момент вылета,  $g$  – ускорение свободно падающего тела. Как видно из формул, особенно важны величина начальной скорости ОЦМ и угол его вылета. Начальная скорость ОЦМ создается при отталкивании, а также при подготовке к нему. Таким образом, в спортивных прыжках различается подготовка к отталкиванию, отталкивание от опоры, полет и амортизация (после приземления). В подготовку входят разбег и подготовительные движения на месте отталкивания. Биодинамику основных действий в прыжке рассмотрим на примере прыжка в длину с разбега, сравнивая ее, где необходимо, с биодинамикой прыжка в высоту.

## Разбег

В разбеге решаются две задачи: создание необходимой скорости к моменту прихода на место отталкивания и создание оптимальных условий для опорного взаимодействия. В прыжках в длину добиваются наибольшей скорости разбега. Перед постановкой толчковой ноги на место отталкивания последние шаги изменяются: несколько шагов удлиняются, что снижает положение ОЦМ, а последний шаг делается быстрее и обычно короче. В прыжках в высоту не нужна большая горизонтальная скорость, разбег короче (7-9 беговых шагов вместо 19-24) при меньшей скорости. На место отталкивания нога ставится стопорящим движением. Это уменьшает горизонтальную скорость и увеличивает вертикальную, позволяет занять исходное положение при оптимально согнутой толчковой ноге, достаточно растянутых и напряженных ее мышцах, целесообразном расположении ОЦМ и необходимой скорости завершения разбега.

Рис. 10



## Отталкивание

Отталкивание от опоры в прыжках совершается за счет выпрямления толчковой ноги, маховых движений рук и туловища. Задача отталкивания – обеспечить максимальную величину вектора начальной скорости ОЦМ и оптимальное ее направление. После отталкивания, в полете, тело спортсмена всегда совершает движения вокруг осей. Поэтому в задачи отталкивания входит также и начало управления этими движениями.

С момента постановки ноги на опору начинается амортизация – подседание на толчковой ноге. Мышцы-антагонисты растягиваются и напрягаются, углы в суставах становятся близкими к рациональным для начала отталкивания. ОЦМ тела приходит в исходное положение для начала ускорения отталкивания (удлинение пути ускорения ОЦМ). Пока происходит амортизация (сгибание ноги в коленном суставе) и место опоры находится еще впереди ОЦМ, спортсмен, активно разгибая толчковую ногу в тазобедренном суставе, уже активно помогает продвижению тела вперед (активный перекат).

В течение амортизации горизонтальная скорость ОЦМ снижается, во время отталкивания создается вертикальная скорость ОЦМ. К моменту отрыва ноги от опоры обеспечивается необходимый угол вылета ОЦМ.

Выпрямление толчковой ноги и маховые движения, создавая ускорения звеньев тела вверх и вперед, вызывают их силы инерции, направленные вниз и назад. Последние вместе с силой тяжести обуславливают динамический вес – силу действия на опору и вызывают соответствующую реакцию опоры. Отталкивание вперед происходит только в последние сотые доли секунды; основные усилия прыгуна направлены на отталкивание вверх, чтобы получить необходимый для длинного прыжка больший угол вылета ОЦМ.

В прыжках в высоту, по сравнению с прыжками в длину, усилия направлены на обеспечение наибольшей вертикальной скорости, стопорящее движение более значительно (более острый угол постановки ноги); задачи уменьшения потерь горизонтальной скорости нет.

## Полет

В полете траектория ОЦМ предопределена величиной и направлением вектора начальной скорости ОЦМ (углом вылета). Движения представляют собой движения звеньев вокруг осей, проходящих через ОЦМ. Задача сводится к возможно более дальнему приземлению, удерживая стопы как можно выше. Кроме того, существенно важно продвижение тела вперед после приземления. Спортсмены стремятся к моменту приземления поднять выше вытянутые вперед ноги и отвести руки назад: это обуславливает возможность после приземления рывком рук вперед с последующим разгибанием продвинуться вперед от места приземления.

## Вопросы:

1. Какова общая задача локомоторных движений?
2. Назовите несколько видов спорта, в которых локомоторные движения играют основную роль.
3. Назовите несколько видов спорта, в которых локомоторные движения играют вспомогательную роль (кроме уже названных).
4. Как выполняется отталкивание от опоры?
5. Опишите поведение опорного звена, например, стопы легкоатлета.
6. Покажите направления давления и реакции опоры в точках В, когда стопа легкоатлета находится на опоре
7. Какая сила обеспечивает ускорение спортсмена и передвижение его центра масс?
8. Чем обусловлены ускорения центров масс подвижных звеньев тела?
9. Что способно изменить кинетическую энергию спортсмена?
10. Что такое «динамический вес»?
11. Что представляют собой маховые движения при отталкивании?
12. В чем разница при прыжках в высоту с маховыми движениями и без них?
13. В чем разница при прыжках в высоту с маховыми движениями и без них?
14. Как сказывается скорость маховых звеньев на скорости ОЦМ?
15. Что нужно для достижения более высокой скорости ОЦМ?
16. Как связано сокращение мышц толчковой ноги с увеличением скорости?
17. Какова роль маховых движений при отталкивании?
18. Откуда возникает центростремительная сила при движении на повороте?
19. Откуда возникает центростремительная сила при движении на повороте?
20. Как связана центростремительная сила с силой тяжести при движении на повороте?
21. Как угол наклона связан с радиусом поворота и линейной скоростью?
22. Каково предназначение стартовых действий?
23. Каково назначение стартового положения?
24. Для чего проекция ОЦМ тела на горизонтальную поверхность должна быть приближена к передней границе площади опоры?
25. Каково назначение стартовых движений?
26. Что обеспечивает стартовый разгон?
27. В чем разница между стартовым разгоном спринтера и стайера?
28. Перечислите известные вам виды спортивных локомоций.
29. Каковы возможные цели прыжка?
30. От каких физических величин зависит результат прыжка?
31. Назовите задачи разбега.
32. Опишите процесс разбега.
33. Назовите задачи отталкивания.
34. Коротко опишите процесс отталкивания.
35. Коротко опишите процесс полета.

