

ГЛАВА 9. БИОМЕХАНИКА ПЛАВАНИЯ

...Всем новым солдатам без изъятия должно учиться плавать: не всегда есть мосты.

Приказ Петра I

Плавать раньше, чем ходить!

Плавание (наряду с греблей) относится к циклическим локомоциям, осуществляемым по принципу отталкивания от жидкой среды. Плавание является важной частью двигательной культуры человека. Ведь еще в Древней Греции о некультурном человеке говорили: «Он не умеет ни плавать, ни читать».

Сотни наших современников демонстрируют незаурядные возможности быстрого прогресса человека в плавании. Так, если в 1875 г. английский капитан М. Уэбб преодолел 33 км, отделяющие Англию от Франции, за 22 ч, то столетие спустя П. Дик переплыла Ла-Манш всего за 7 ч 40 мин. А на показательных выступлениях спортсмены проплывают сотни метров с полной солдатской выкладкой или со связанными руками и ногами.

Но, к сожалению, очень многие люди не умеют плавать и боятся воды. Последнее объясняется прежде всего непониманием того факта, что по законам физики здоровый человек в теплой и спокойной воде утонуть не может. Поясним эту мысль.

Известно, что на тело, неподвижно лежащее в воде, действуют две силы: сила тяжести и выталкивающая (архимедова) сила, равная весу вытесненной телом воды. Но,

поскольку человеческое тело более чем на 60% состоит из воды, а в легких находится несколько литров воздуха, эти две силы примерно одинаковы. Чтобы поверить в это, сделайте простой опыт: стоя по грудь в воде, наберите в легкие как можно больше воздуха и лягте на воду. При этом ваше тело расположится вблизи поверхности воды. Если начать постепенно выпускать воздух из легких, тело также будет постепенно погружаться в воду. Проявив большую силу воли, можно продолжать выдох до тех пор, пока тело не опустится на дно водоема. Таким образом, изменяя объем воздуха в легких, человек может регулировать величину выталкивающей силы и тем самым плавучесть тела.

Сказанное подтверждают следующие цифры. Удельный вес тела на вдохе у пловцов-мужчин в среднем равен $0,98 \text{ г/см}^3$, а у женщин — $0,96 \text{ г/см}^3$ (что объясняется, по-видимому, большим объемом жировой ткани в теле женщин). На выдохе средние величины удельного веса боль-

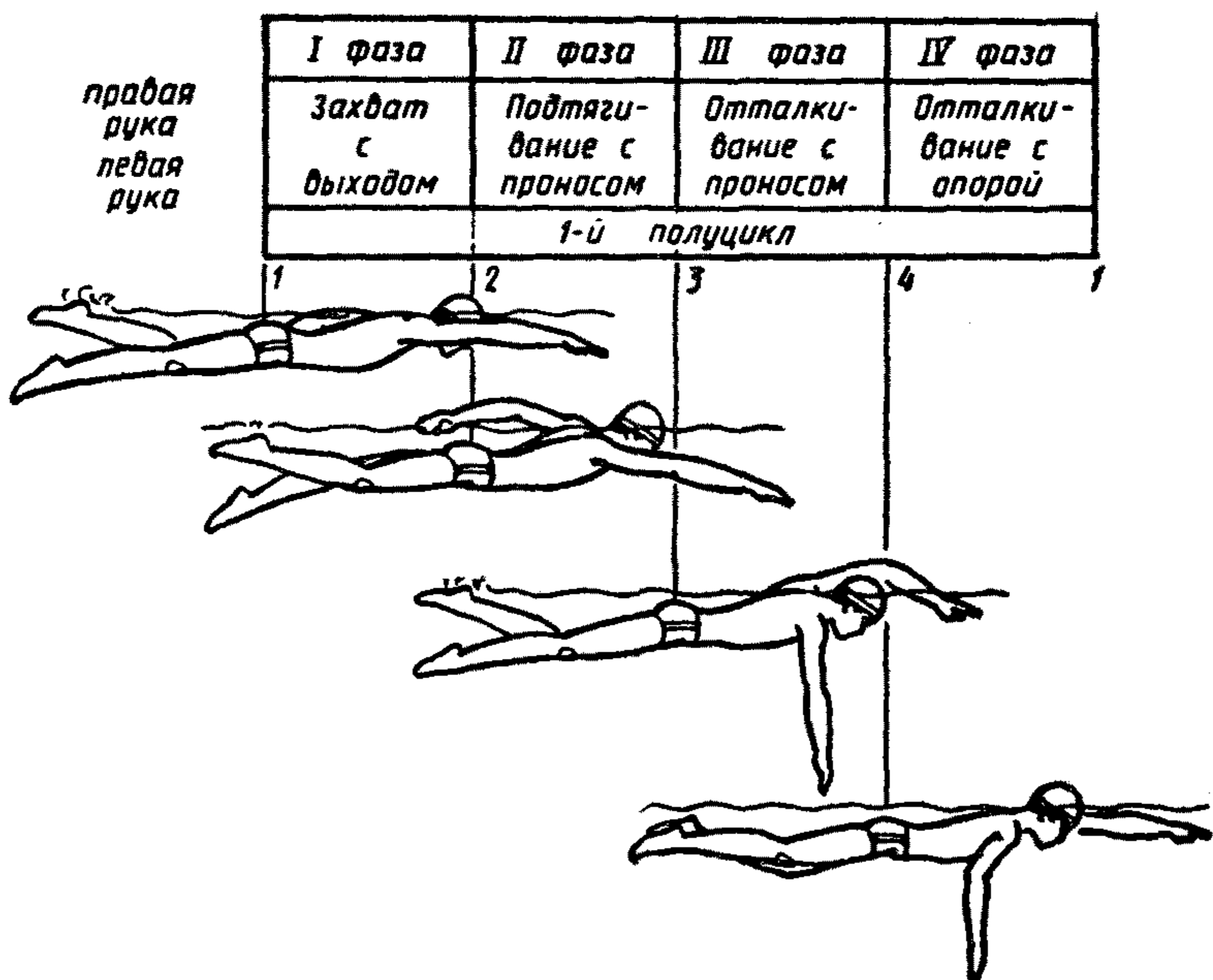


Рис. 94. Кинематика плавания кролем:

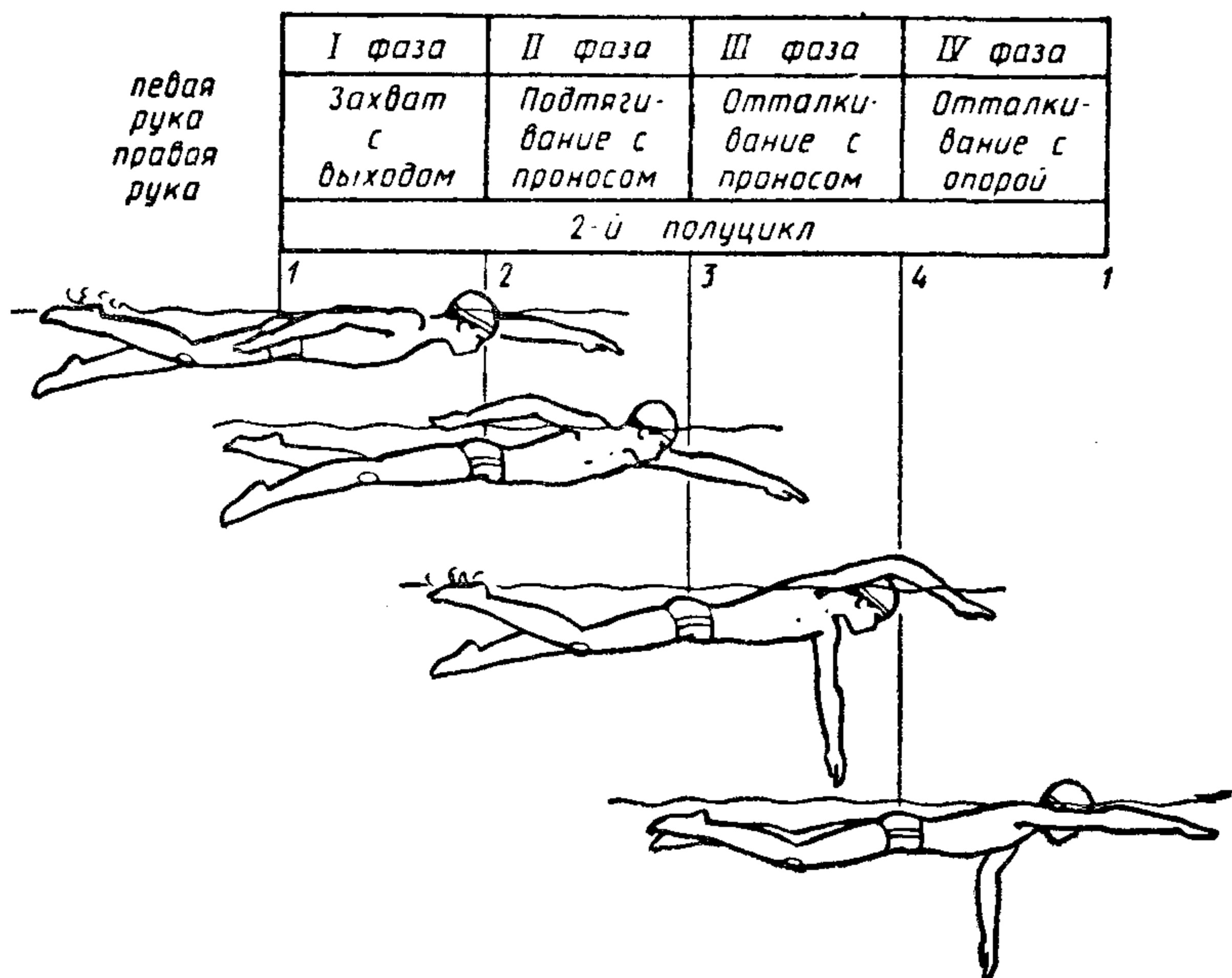
фазы и граничные позы. В первом полуцикле сверху — действия арабские цифры — номера граничных поз:

1 — выход локтя левой руки из воды; 2 — выход левой кисти из воды; 3 — левой руки в воду; второй полуцикл аналогичен первому, он начинается с

ше: у мужчин $1,06 \text{ г/см}^3$ и у женщин $1,04 \text{ г/см}^3$. Напомним, что удельный вес пресной воды составляет $1,00 \text{ г/см}^3$ и что погруженное в воду тело может утонуть только в том случае, если его удельный вес больше удельного веса воды.

Кроме того, у плывущего человека плавучесть выше, чем у неподвижного. Ведь когда тело уплощенной формы движется в воздушной или водной среде таким образом, что передний его конец расположен несколько выше заднего, возникает направленная вверх подъемная сила. Именно такой случай имеет место в плавании. Величина подъемной силы увеличивается со скоростью. Этому явлению обязан своим существованием воднолыжный спорт. Причем мастера этого вида спорта могут нестись по воде и без лыж, на пятках.

Существует много разновидностей плавания, из которых здесь рассматривается только кроль (самый быстрый способ) и брасс (самый легкий).



вой рукой, внизу — левой рукой; во втором полуцикле наоборот;

прохождение локтя правой руки мимо плеча; 4 — момент полного погружения выхода локтя правой руки из воды (по Р. Хальянду, с соавт., переработано)

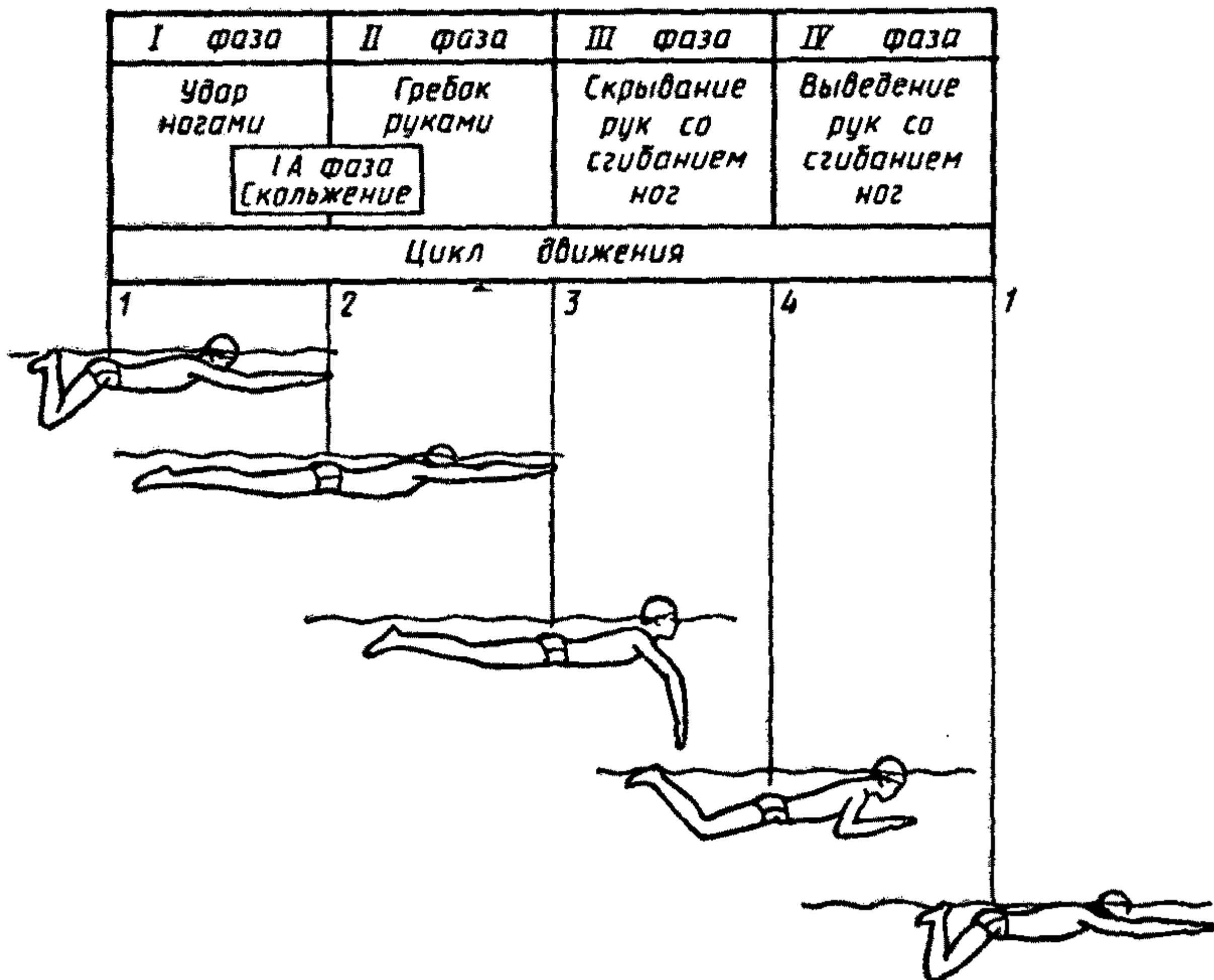


Рис. 95. Кинематика плавания брассом: фазы и граничные позы; арабские цифры — номера граничных поз:

1 — начало разгибания в коленных суставах; 2 — момент выпрямления ног в коленных суставах; 3 — окончание движения кистей назад; 4 — начало разгибания рук в локтевых суставах (по Р. Хальянду с соавт.)

КИНЕМАТИКА ПЛАВАНИЯ

Фазовый состав и граничные позы при плавании кролем и брассом изображены на рис. 94 и 95. Кинематика рассматриваемых способов плавания существенно различается.

При плавании кролем полный цикл состоит из чередующихся гребков правой и левой руками и определенного количества ударов ногами. По количеству этих ударов различают двух- и шестиударный варианты техники. В шестиударном кроле (см. рис. 94) на полный цикл движений руками приходится шесть ударов ногами — по три каждой ногой. В двухударном кроле на полный цикл движений рук выполняются только два удара — по одному каждой ногой.

Шестиударный кроль применяется на спринтерских дистанциях, а двухударный — на стайерских. Обучение детей обычно начинают с шестиударного варианта.

Используя рис. 94, дадим представление о целях, к которым должен стремиться кролист в каждой фазе.

I фаза — как можно меньше терять скорость продвижения вперед;

II фаза — начать увеличение скорости;

III фаза — повысить скорость;

IV фаза — как можно более поднять скорость.

Выдох (при повороте головы вправо) осуществляется в III и IV фазах первого полуцикла, а вдох — в I и II фазах второго полуцикла.

Цели, к которым должен стремиться брассист в каждой из фаз, следующие (см. рис. 95):

I фаза — повысить скорость;

II фаза — как можно выше поднять скорость;

III фаза — минимизировать падение скорости;

IV фаза — как можно меньше терять скорость.

Выдох осуществляется во II фазе и начале III фазы, а вдох — в конце III фазы и начале IV фазы. С конца IV фазы до начала II фазы — задержка дыхания.

ДИНАМИКА ПЛАВАНИЯ

В воде тело человека находится под действием нескольких сил, которые, суммируясь, обеспечивают его плавучесть в неподвижном состоянии и продвижение вперед при плавании (рис. 96). Рассмотрим их подробнее.

1. Вертикально-направленные силы:

Сила тяжести $G = mg$,

где m — масса тела, кг; g — ускорение свободного падающего тела, м/с².

Выталкивающая (архимедова) сила $F_a = Q \cdot \rho_v$,

где Q — объем тела, см³; ρ_v — удельный вес воды, г/см³.

Вопрос для самоконтроля знаний

В каких единицах измеряется выталкивающая сила? Предложите коэффициент, при умножении на который результат измерения этой силы получается в ньютонах.

Эта сила приложена к центру объема тела пловца. Центр объема, как правило, не совпадает с центром масс. Поэтому возникает вращающий момент (см. рис. 96, Б) и ноги человека, неподвижно лежащего в воде, опускаются.

Подъемная сила появляется при обтекании тела потоком воды. Она пропорциональна площади горизон-

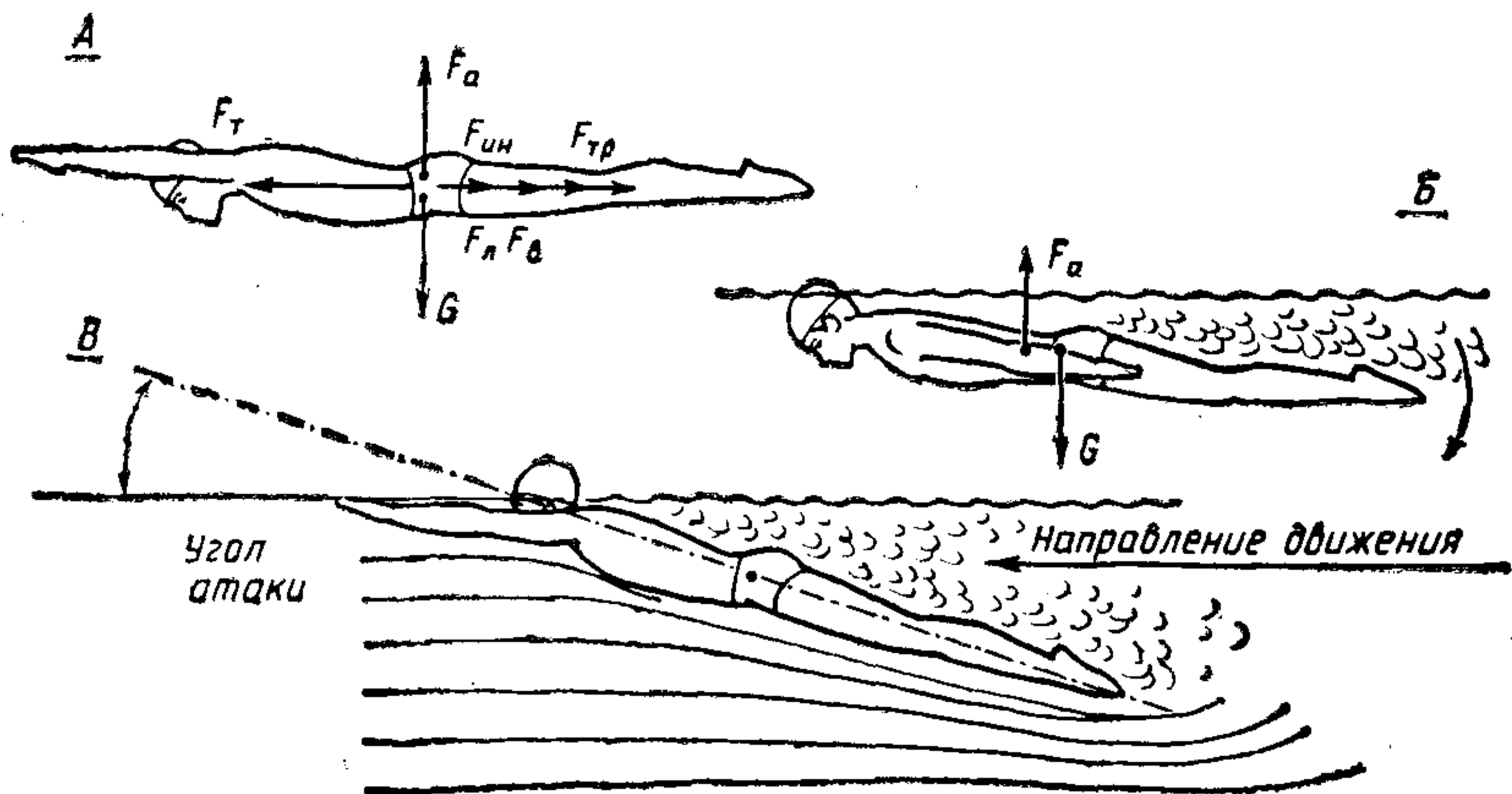


Рис. 96. Силы, действующие при плавании (А и Б), и угол атаки (В); G — сила тяжести; F_T — сила тяги, создаваемая движениями пловца; F_a — выталкивающая (архимедова) сила; $F_{ин}$ — сила инерции, возникающая при ускорении и торможении тела пловца; $F_{тр}$ — сила трения; F_v — сила лобового сопротивления воды; $F_{ТВ}$ — тормозящая сила вихреобразования (и сила волнообразования, действующая в том же направлении)

тального сечения тела и скорости набегающего потока и зависит от угла атаки (см. рис. 96, В).

2. Горизонтально-направленные силы:

Продвигающая сила (или сила тяги). Она возникает в результате действий руками и ногами, о технике которых даже среди специалистов по плаванию нет единого мнения. Например, лишь малоквалифицированные пловцы-кролисты выполняют гребок прямой рукой. Значительно больший эффект дает гребок по зигзагообразной траектории, вид которой зависит от особенностей телосложения и двигательных качеств.

Сила лобового сопротивления:

$$F_v = \rho S_m c_x v^2,$$

где ρ — удельный вес воды, кг/м^3 ;

S_m — площадь миделя тела, м^2 (т. е. наибольшая площадь поперечного сечения тела в плоскости, перпендикулярной к направлению движения; рис. 97);

c_x — безразмерный коэффициент сопротивления, зависящий от формы тела; его величина у человека лежит в пределах от 0,58 до 1,04 (минимальная величина коэффициента c_x для каплевидного тела равна 0,5);

v — скорость, м/с .

Сила сопротивления вихреобразования, зависящая от формы и характера поверхности тела. В тех местах, где струи воды отрываются от поверхности тела, образуются завихрения и по закону Бернулли давление понижается. Из-за разности давлений возникает сила, которая как бы отсасывает тело назад. Она и называется силой сопротивления вихреобразования. Незначительные изменения положения тела, не увеличивающие или почти не увеличивающие мидель тела, могут ухудшить его обтекаемость. Во время скольжения опускание головы пловца вниз увеличивает сопротивление на 8—12%, а отклонение ее от оптимального положения вверх — на 10—20%.

Сила трения о воду ($F_{тр}$): устья пор и складки кожи, волоски на коже, рыхлый или ворсистый материал костюма пловца способствуют увеличению сопротивления.

Сила сопротивления волнообразования: пловец, находящийся у грани водной и воздушной среды, поднимает частицы воды выше среднего уровня водной поверхности. Они уже не удерживаются давлением среды, и пловцу приходится преодолевать еще и силу тяжести смещенных частиц воды.

Силы инерции ($F_{ин}$) ускоряемых и тормозимых звеньев и всего тела стоят особняком. Их не отнесешь к горизонтальным или вертикальным, поскольку сила инерции направлена противоположно ускорению и равна произведению массы (m) на ускорение (a): $F_{ин} = -ma$.

ТОПОГРАФИЯ РАБОТАЮЩИХ МЫШЦ

Эффективное использование гребков руками и ногами возможно в том случае, если туловище пловца представляет собой достаточно жесткую конструкцию, которая нахо-

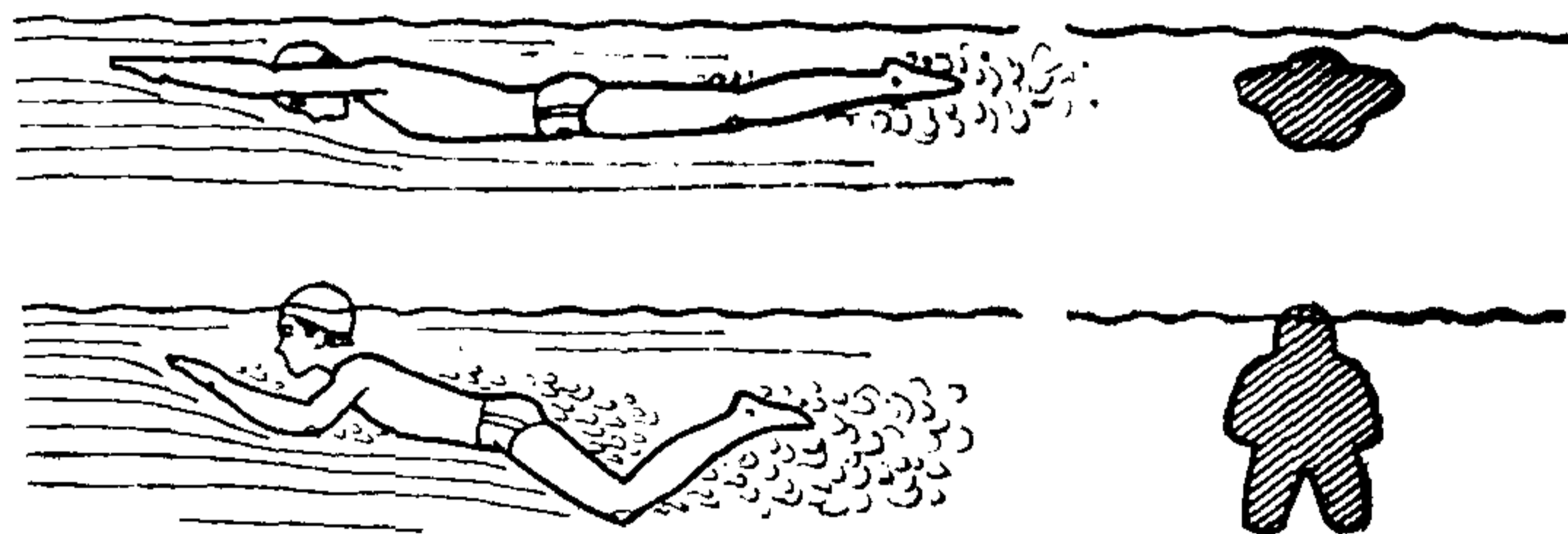


Рис. 97. Величина миделева (лобового) сечения тела и завихрение водяных струй при разных положениях пловца в воде (по Л. П. Макаренко; Каунсилмену)

дится в обтекаемом и уравновешенном положении. Обеспечивается это за счет напряжения мышц живота и спины. Остальные же мышцы туловища должны быть расслаблены.

При плавании кролем наиболее активны мышцы, осуществляющие сгибание кисти. В брассе высока активность мышц ног. Но значительная нагрузка приходится и на руки (особенно в спортивном плавании), выполняющие близкие к круговым гребковые действия, напоминающие движения руками, по локоть опущенными в два кувшина с узкими горлышками.

Электромиографические портреты плавания, изображенные на рис. 98 (кроль) и рис. 99 (брасс), показывают работу основных активных мышц пловца в разные фазы.

Задание для самоконтроля знаний

Сопоставляя попарно рис. 94 и 98 (кроль) и рис. 95 и 99 (брасс), определите, в какой фазе цикла какие мышцы наиболее активны.

Энергетика плавания

Силы, от которых зависит сопротивление воды, являются основными из тех, что приходится преодолевать пловцу. Поскольку плотность воды в 800 раз больше плотности воздуха, плавание требует больших затрат энергии и является наименее экономичным видом локомоций человека. Коэффициент механической эффективности (аналогичный коэффициенту полезного действия) составляет у пловцов 1—5% и увеличивается по мере повышения квалификации. Это намного ниже, чем при наземных локомоциях человека (20—40%), и ниже, чем у рыб и морских животных. Так, у зеленой черепахи, форели и золотой рыбки коэффициент механической эффективности составляет соответственно 10, 14 и 40%. При плавании в ластах коэффициент механической эффективности выше, чем без ласт,— около 17%. Эти факты говорят о неиспользуемых резервах экономизации техники передвижения человека в водной среде.

Энергетическая стоимость метра пути у пловцов международного класса примерно на 40% ниже по сравнению с пловцами невысокой квалификации. Для новичков брасс (при скорости 0,3—0,5 м/с) оказывается на 30% более экономичным, чем кроль.

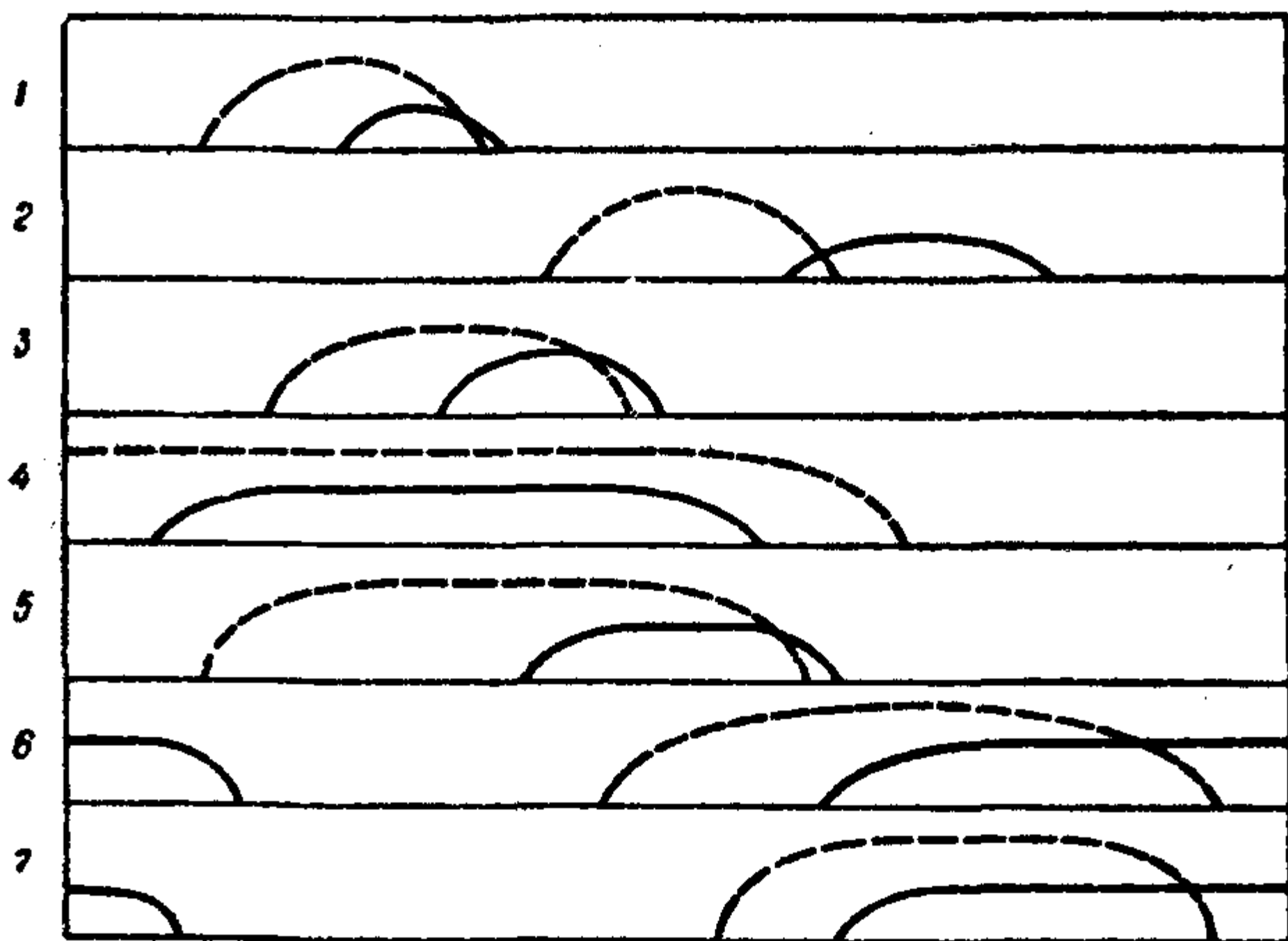


Рис. 98. Электромиографический портрет плавания кролем (по И. М. Козлову);

мышцы: 1 — двуглавая м. плеча; 2 — трехглавая м. плеча; 3 — большая грудная м.; 4 — большая круглая м.; 5 — широчайшая м. спины; 6 — дельтовидная м.; 7 — трапецевидная м.; сплошная линия — произвольный темп, пунктир — максимальный темп

Оптимизация плавания

Основные требования к технике и тактике пловца вытекают из закономерностей динамики и энергетики плавания. Наиболее общим является требование максимизировать силу тяги и минимизировать сумму тормозящих сил. Максимизация силы тяги достигается предельным повышением силы взаимодействия пловца с водой при гребковых действиях руками и отталкивании ногами (в брассе). На всем протяжении гребка рука должна перемещаться в воде с ускорением, благодаря чему хороший пловец непрерывно ощущает «опору на воду».

Поддерживать высокую силу тяги на всей дистанции человек может только в том случае, если до самого финиша сохранит достаточно энергии. Но плавание весьма энергоемкий вид двигательной деятельности. Поэтому здесь особенно важно исключить непроизводительные затраты энергии. С этой целью:

- 1) устраняют лишние движения;
- 2) выбирают оптимальный (наиболее экономичный)

темпл движений, причём каждой скорости плавания у данного человека соответствует свой оптимальный темп;

3) стараются снизить величины тормозящих сил;

4) устраняют непроизводительные мышечные напряжения.

В плавании, как ни в одном другом виде спорта, важно умение расслаблять те мышцы, которые в данный момент не участвуют в выполнении продвигающей работы. Поэтому, например, в кроле при проносе над водой рука должна двигаться с минимальным напряжением. Также и при плавании брассом, в фазе скольжения (которая в спортивном плавании сокращается до минимума), большинство мышц расслаблено (что видно на электромиографическом портрете, см. рис. 99).

Из тормозящих сил наиболее велика сила лобового сопротивления воды и сила сопротивления вихреобразования. Обе они снижаются с уменьшением угла атаки, т. е. угла между продольной осью тела и направлением движения. Чем меньше угол атаки, тем меньше:

1) мидель тела и, следовательно, сила лобового сопротивления;

2) поверхность отрыва струй и, следовательно, сила сопротивления вихреобразования.

Таким образом, пловец должен выбирать положение тела по возможности горизонтальное и вытянутое в направлении передвижения. При этом, говоря словами Д. Каунсилмена, «лобовое сопротивление и сопротивление вихреобразования обмениваются на сопротивление трения тела пловца о воду», которое сравнительно невелико. Пловцы низкой квалификации показывают невысокую скорость, в частности, потому, что их тело находится в плохо обтекаемом положении, увлекает за собой большую массу воды и образует позади себя водяные вихри.

Для снижения непроизводительных затрат энергии следует уменьшать внутрицикловые колебания скорости. В кроле они меньше, чем в брассе. Это достигается непрерывной работой ног кролиста и тем, что одна рука начинает гребок захватом в тот момент, когда другая рука еще не завершила отталкивание (рис. 94).

Все сказанное объясняет, почему кроль является более скоростным стилем, чем брасс. Принятая при плавании кролем кинематика двигательных действий обеспечивает меньшие величины сил лобового сопротивления, сопротивления вихреобразования и сил инерции разгоняемых и тормозимых звеньев тела.

Контрольные вопросы

1. В чем принципиальные отличия способов плавания кролем и брассом?

2. От чего зависит сила сопротивления воды при плавании? Как она зависит от скорости пловца?

Задание для самоконтроля знаний

Нарисуйте зависимость суммарной силы сопротивления воды от скорости пловца. Пользуясь этим графиком, объ-

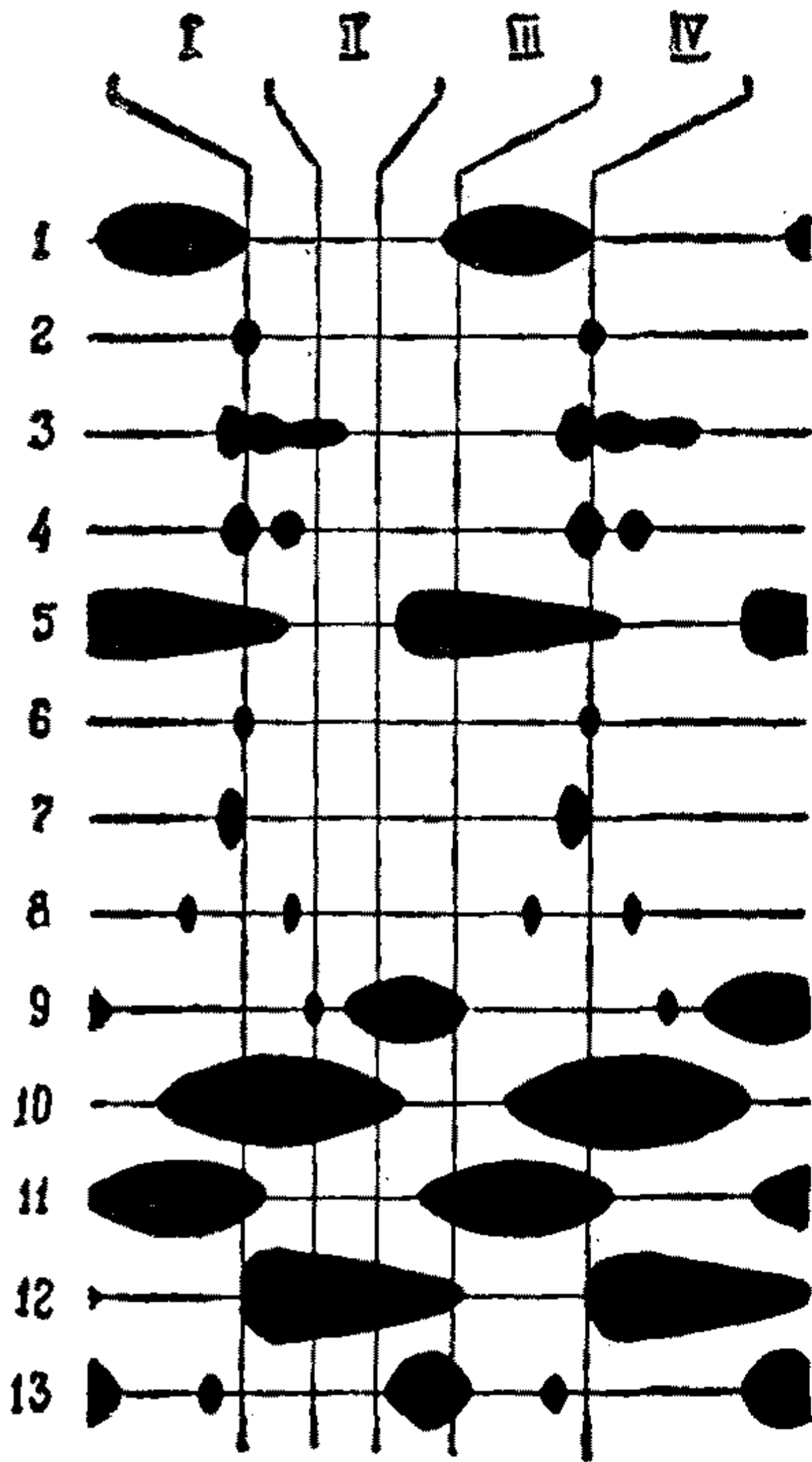


Рис. 99. Электромиографический портрет плавания брассом (по Yoshizawa с соавт.): римские цифры — номера фаз в соответствии с рис. 94;

мышцы: 1 — передняя большеберцовая м.; 2 — икроножная м.; 3 — медиальная широкая м.; 4 — прямая м. бедра; 5 — двуглавая м. бедра; 6 — большая ягодичная м.; 7 — прямая м. живота; 8 — м. выпрямляющая позвоночника; 9 — двуглавая м. плеча; 10 — трехглавая м. плеча; 11 — дельтовидная м.; 12 — большая грудная м.; 13 — широчайшая м. спины

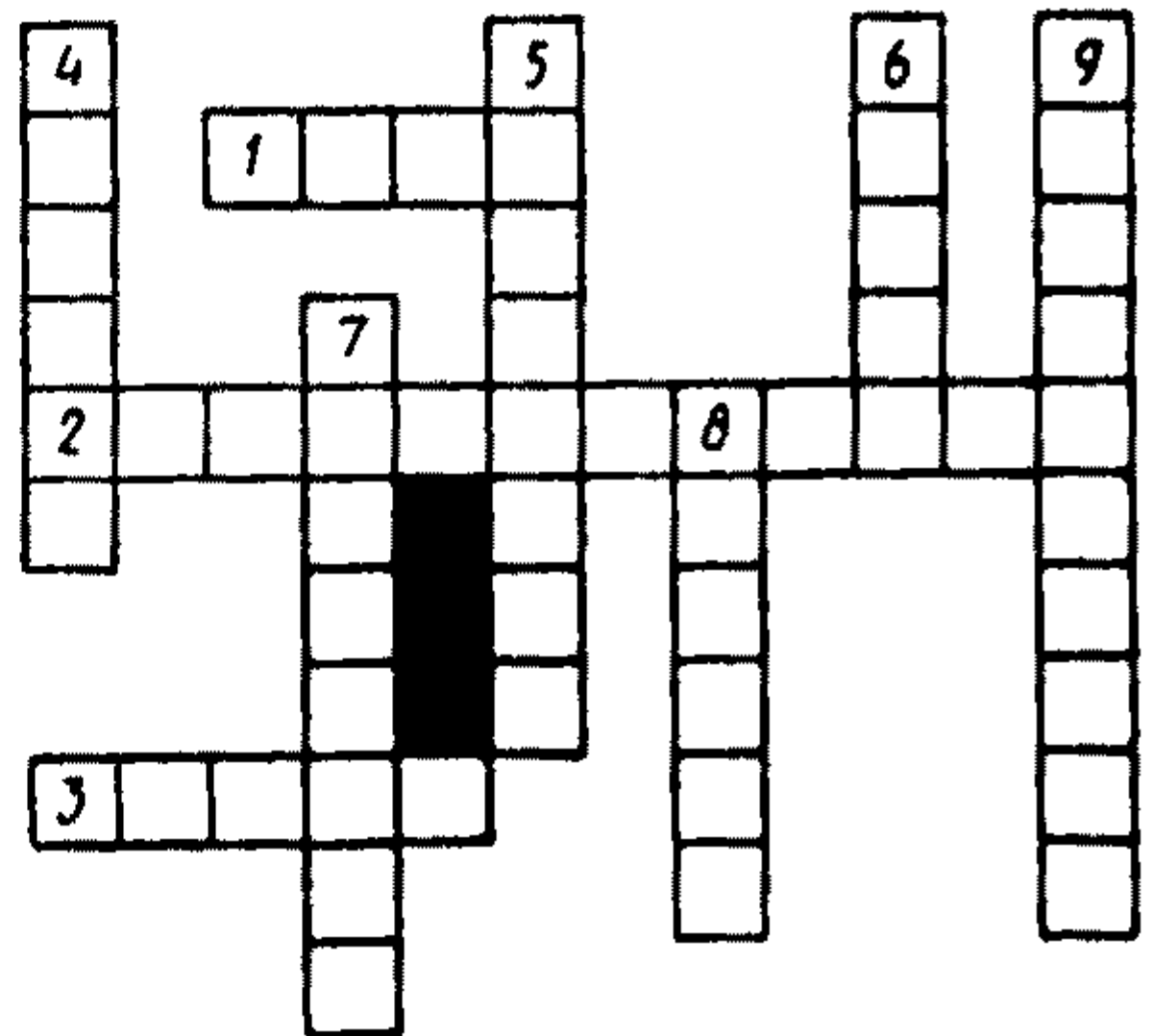


Рис. 100. Кроссворд.

По горизонтали. 1. Период повторения движения. 2. Свойство тела, зависящее от позы и влияющее на сопротивление встречному потоку. 3. Способ плавания.

По вертикали. 4. Двигательное действие рукой при плавании кролем. 5. Вид локомоций. 6. Наиболее легкий способ плавания. 7. Ученый, установивший соотношение скорости движения водяных струй и величины давления. 8. Площадь лобового сопротивления тела. 9. Фаза движений в брассе, длительность которой существенно зависит от квалификации спортсмена

ясните, почему внутрицикловые колебания скорости снижают экономичность плавания.

3. Какое влияние на скорость плавания оказывают силы инерции ускоряемых и тормозимых звеньев тела?

4. Какие мышцы наиболее активны при плавании кролем и брассом?

5. Как измерить экономичность плавания? Почему ее величина отличается от экономичности других локомоций человека?

6. Почему уменьшение внутрицикловых колебаний скорости повышает экономичность плавания?

7. Как энергетическая стоимость движений пловца зависит от техники и тактики плавания?

8. Как, не снижая скорости, сократить затраты энергии при плавании?

9. В чем состоит явление вихреобразования? Как оно влияет на скорость плавания?

10. Отгадайте кроссворд (рис. 100).

ГЛАВА 10. БИОМЕХАНИКА ПЕРЕМЕСТИТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ И ПРЫЖКОВ