

4374.145
Б. И. ОНОПРИЕНКО

БИОМЕХАНИКА ПЛАВАНИЯ



Б. И. ОНОПРИЕНКО

АБОНЕМЕНТ
ЛДУФК

БИОМЕХАНИКА ПЛАВАНИЯ



Киев «Здоров'я» 1981

ПРЕДИСЛОВИЕ

Спортивные результаты пловца обусловлены его физическими, функциональными и морфологическими показателями. От этих показателей зависит производительность выполняемой им работы. В повышении производительности очень важную роль играет качественная сторона процесса: эффективность использования конструктивного, динамического и энергетического потенциалов, т. е. коэффициент полезного действия аппарата опоры и движения пловца. Для повышения этого показателя и дальнейшего совершенствования техники плавания необходимо конкретные знания в области биологии и механики, которые в настоящее время объединены в специальную дисциплину — биомеханику физических упражнений. Однако биомеханика физических упражнений настолько объемна и многогранна, что она начинает приобретать характер «общего курса» и служит переходной ступенью к более глубокому изучению специализированных разделов по отдельным видам спорта. Настоящая монография является первой попыткой обобщения имеющегося материала по биомеханике плавания.

Задачей автора было по возможности более полное освещение законов механики применительно к гидростатическому и гидродинамическому плаванию и выявление основных закономерностей формирования рациональной техники плавания, соответствующих устройству аппарата опоры и движения человека.

Под рациональной техникой плавания понимается наиболее целесообразная система движений, применяемая для достижения максимальных спортивных результатов. Такая техника возможна только при согласовании динамических характеристик аппарата опоры и движения пловца и водной среды. Кроме этого, технику спортивного плавания определяют и сложившиеся традиции при-

менения способов и их вариантов, правила соревнований, морфофункциональные данные пловца, степень его тренированности, избранная дистанция.

В книге значительное место отводится структурным и функциональным особенностям аппарата опоры и движения пловца, определяющим не только его двигательные возможности, но и гидродинамические качества, во многих случаях отличающиеся от известных вариантов в природе и в технике. Также освещены механические закономерности создания тяги с учетом гидродинамических характеристик движителей пловца. Большое внимание уделено основным биомеханическим характеристикам спортивных способов плавания и методикам их определения.

При освещении материала автор опирался на диалектически взаимосвязанные факты и экспериментальные данные, полученные в результате многолетних гидродинамических исследований в области спортивного плавания, и при изложении материала стремился выйти из рамок «научности» и сделать книгу доступной более широкому кругу читателей. Это в значительной мере определило ее содержание. Отдельные элементы техники плавания не детализировались ввиду ее вариативности и постоянного совершенствования (техника современных способов плавания достаточно подробно освещена в книгах И. В. Вржесневского, С. М. Гордона, Л. П. Макаренко и др.). Предложен ряд новых формулировок и толкований, несколько необычных для традиционного изложения вопросов гидродинамики в соответствующих разделах учебников по спортивному плаванию.

Автор выражает признательность за оказанную помощь при подготовке рукописи проф. И. В. Вржесневскому, доцентам В. П. Горобец, Ю. А. Коропу, Б. С. Кутневичу, Ю. Д. Панышко, чехословацкому коллеге Карелу Юржине. Он благодарит также всех сотрудников кафедры плавания Львовского государственного института физической культуры за практическую помощь в процессе проведения экспериментов и сбора материала для книги.

1. СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АППАРАТА ОПОРЫ И ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Структурные особенности аппарата опоры и движения

При обосновании техники спортивных способов плавания необходимо учитывать основные морфофункциональные и механические особенности аппарата опоры и движения человека, определяющие структуру, кинематику и динамику гребковых движений.

Анатомическая характеристика аппарата опоры и движения. Одной из основных функций аппарата опоры и движения человека является перемещение тела в пространстве. Телый ряд его конструктивных и функциональных особенностей связан с передвижением на суше. Эти передвижения представляет собой поочередные движения нижних конечностей, в большинстве случаев синхронизированные с компенсаторными движениями туловища и верхних конечностей.

С точки зрения механики, простейшим конструктивным элементом рычажной системы ног является кинематическая пара (бедро—голень, голень—стопа). Степень подвижности ноги значительно ограничена подвижностью сустава колена, который позволяет выполнять движение в одной плоскости — сгибание и разгибание. Это хотя и ограничивает степень свободы конечности, но одновременно делает поступь более твердой и однородной. (Ограничение движения имеет свои биологические преимущества, поскольку в них участвует меньшее количество групп мышц).

Однако проксимальные концы нижних и верхних конечностей сочленяются с поясом верхних и нижних конечностей посредством шаровидных суставов, обеспечивающих три степени свободы движения (сгибание—разгибание, отведение—приведение и пронация—супинация), что значительно увеличивает вариативность движений конечностей.

Аппарат опоры и движения человека обслуживает достаточное количество мышц, и большинство движений

можно совершать самыми различными способами. Например, некоторые движения руками можно выполнять с помощью отдельных мелких мышц. При увеличении внешнего сопротивления увеличивается количество мышц, участвующих в движении. При значительных усилиях участвуют мышцы, обслуживающие все суставы конечности и, как правило, их напряжение сообщается мышцам туловища и некоторым мышцам других конечностей. При этом более крупные мышцы, не играя существенной роли, сокращаются с полной силой, хотя и не оказывают должного влияния на эффективность движения. В этих случаях энергозатраты возрастают значительно больше стоимости выполняемой работы. Правда, в процессе совершенствования упражнений топография мышц, участвующих в двигательных актах, сужается и на каждом этапе движения в работу включаются только наиболее эффективные группы, обслуживающие данное действие.

В процессе эволюции и движение конечности человека получили приспособление к двигательному акту, обеспечивающему передвижение — ходьбе и бегу. Оптимальной оказалась биокинетическая цепь с трехсуставным сочленением: тазобедренного, колена и голеностопного суставов. В основном акт ходьбы осуществляется за счет сгибания и разгибания в указанных суставах, поэтому самыми крупными и сильными на ногах являются мышцы, обслуживающие эти движения.

Плавание в отличие от ходьбы осуществляется при горизонтальном положении тела, и шаговые движения мало приемлемы для сколько-нибудь эффективного передвижения в воде. Например, у рыб и быстроходных морских животных в ходе приспособления к водной среде развился многоуставный характер движений, позволяющий выполнять поочередные волюобразные движения с одинаковой продуктивностью при движении в одну и другую стороны. При этом самым рациональным оказалась эластичность каудального конца позвоночного столба, который впоследствии приобрел форму плавника.

Неоднократные попытки человека использовать многосуставность позвоночного столба для создания волюобразных движений не дали ощутимых результатов, так как каудальный конец тела — ноги — ограничены в движениях малым количеством суставов. Второй вариант передвижения в воде — с помощью загребующих движе-

ний — оказался также малоэффективным ввиду узкого приспособления ног для актов ходьбы и бега. Кроме того, если размеры стоп и обеспечивают относительную устойчивость при вертикальном положении тела и оптимальную площадь для контакта с грунтом во время ходьбы и бега, то для плавательных локомоций их площадь во всех плоскостях явно недостаточна.

Более приспособленными к процессу плавания оказываются верхние конечности человека. Хотя по силе мышцы рук в три раза уступают мышцам ног, однако по качеству движения, выполняемые руками, значительно превосходят таковые ног. Анатомическое строение рук позволяет выполнять загребующие движения по любой линии, близкой к прямой, направляя усилие в сторону, выгодную для создания тяги. Вместе с тем в отличие от стоп площадь кисти является оптимальной или почти оптимальной для реализации динамического потенциала рук.

Наибольшую кинетическую целесообразность в плавании (впрочем, как и при передвижениях на суше) приобретают боочередные движения. Менее эффективными являются одновременные движения рук и ног.

Анатомические факторы, определяющие силу гребковых движений. Сила гребковых движений зависит от факторов, обусловленных функциональными особенностями мышц и конструкцией аппарата опоры и движения.

Основное двигательное свойство мышц — сократимость, которая с механических позиций характеризуется величиной, скоростью и силой. В изолированном виде некоторые мышцы могут сокращаться до половины своей длины. В естественных условиях в столь значительных сокращениях нет потребности, так как крепление мышц к костным рычагам создает короткие плечи, движение которых ограничивает и до 5—7 см.

В общей массе тела человека мышцы составляют около 40%. У женщин этот процент несколько ниже, а у спортсменов с хорошо развитой мускулатурой масса мышц может составлять 50% (например, у Г. Прокопенко во время спортивных выступлений она составляла 51,4% при относительной плотности тела 1,093).

Если привести показатели массы мышц у обследованных львовских пловцов к общей их массе 70 кг, то по установленной методике определения процентного соотношения мышечной массы она составит у мужчины 31,5 кг.

у женщин 26,6 кг. Из них у мужчин: на руке — 19,1 кг, на ноге — 6,0 кг, на туловище и голове — 15,7 кг, у женщин соответственно: 1,6 кг, 5,05 кг и 13,3 кг.

Как известно, по общей массе мышц и их плотности можно судить о дееспособности аппарата опоры и движения. Если механическая сила определяется формулой $F = ma$, то силу мышц можно выразить аналогичной формулой:

$$F_m = m \cdot \rho_{\text{отн}}$$

где m — масса мышцы, а $\rho_{\text{отн}}$ — ее относительная плотность, от которой собственно и зависит ускорение сокращения.

Механическая сила мышц, при прочих равных условиях (угломление, тренированность, возраст, пол и т. п.), зависит от количества мышечных волокон, входящих в ее состав.

По расположению волокон различают два типа произвольных мышц — мышцы с параллельным расположением волокон и с косым, или перистые мышцы. Мышцы с параллельными волокнами при сокращении значительно укорачиваются, но развивают сравнительно небольшую силу. В перистой мышце волокна гораздо короче самой мышцы, но их в ней значительно больше, чем в мышце с продольным расположением волокон. При сокращении перистой мышцы ее сухожилие передвигается на меньшее расстояние, но зато тянет с большей силой.

Перистые мышцы имеют значительные прослойки плотной соединительной ткани. В противоположность веретенообразным мышцам (с продольным размещением волокон) они трудно растяжимы и в большей степени приспособлены к статической работе. Волокна веретенообразных мышц длиннее, прослойки плотной соединительной ткани у них почти нет. Они легко чередуют состояние напряжения и расслабления. Путь сокращения веретенообразной мышцы зависит от ее длины. Веретенообразные мышцы в большей мере приспособлены к динамической работе и обслуживают более размашистые движения конечностей.

Среди мышц с параллельным расположением волокон есть длинные и более короткие. Как правило, амплитуда движений рычагов, обслуживаемых короткими мышцами, меньше, а частота сокращений больше. Например,

при исследовании частоты движений в течение 10 с отдельных звеньев руки студентов-пловцов Львовского института физической культуры В. В. Румянцевым получены следующие средние данные: указательный палец правой руки — 61, кисть — 52, предплечье — 47 и плечо — 42 движения.

Сухожилия, крепящие мышцы к костным рычагам, играют роль их удлинителей, что в функциональном отношении выгодно с точки зрения экономии мышечного волюна. Кроме того, удлинение сухожилия и укорочение мышечных волокон играют положительную роль в увеличении силы напряжения мышцы. Однако у высококвалифицированных пловцов со значительным спортивным стажем мышцы удлинены, а сухожилия укорочены. Это хорошо заметно по внешнему рельефу двуглавой мышцы плеча при сгибании руки в локтевом суставе. Сухожилие у пловцов занимает меньшую часть плеча, чем у борцов, штангистов, гимнастов и т. п.

Морфологические изменения под влиянием тренировки также выражены в мышцах грудной клетки, принимающих активное участие в гребковых движениях. У тренированных пловцов они массивны, отличаются большой длиной и шириной.

Сила напряжения мышцы может быть различной в зависимости от воздействия на нее нервных импульсов. Она может регулироваться количеством вовлеченных в работу мышечных единиц. Во время выполнения движений в работу вовлекается от 20 до 80% мышечных волокон в зависимости от степени овладения двигательным навыком, величины нагрузки и тренированности пловца.

Сила напряжения мышцы возрастает при увеличении частоты приходящих к ней нервных импульсов. Это объясняется тем, что с повышением частоты вспышек возбуждения увеличиваются длительность тетануса и величина напряжения.

Большое влияние на силу мышц и их работоспособность оказывают симпатическая часть автономной нервной системы и количество адреналина в крови, который действует аналогично симпатическим нервным волокнам. Это необходимо учитывать в плавании, так как температурные условия водной среды могут оказывать различное действие на автономную нервную систему и на механизм регулирования выделения адреналина.

Сила мышцы также зависит от ее исходной длины. Предварительно растянутая мышца развивает большее усилие. При сокращении мышцы усилие ее уменьшается. Это также следует учитывать при реализации мышечных усилий во время выполнения гребковых движений.

Важную роль в движениях человека играет скорость сокращения мышцы, которая в первую очередь зависит от функциональной специализации мышечных волокон. Установлено, что не все мышечные волокна выполняют одинаковую функцию. Есть «быстрые» и «медленные» волокна.

Скорость сокращения мышцы также зависит от сопротивления, которое преодолевает мышца. При большом сопротивлении скорость выполнения движений в большей мере зависит от «медленных», но более сильных волокон (В. М. Зацнорский, 1966).

При прочих равных условиях сила напряжения, величина и скорость сокращения зависят от утомления, степени овладения двигательным навыком и уровня тренированности спортсмена.

Факторы, обусловленные конструкцией аппарата опоры и движения. Биомеханические характеристики плавательных движений определяются строением суставов, их формой и подвижностью, длиной биоэвеньев, а также топографией обслуживающих мышц.

Движения биоэвеньев имеют преимущественно вращательный характер. Следовательно, к ним применимы механические законы, объясняющие принципы передачи силы и изменения скорости в системах рычагов.

Рычагом в механике называется твердое тело, которое имеет ось вращения и на которое действуют по крайней мере две силы — движущая (в данном случае тяга мышц) и сила сопротивления (сопротивление среды, масса биоэвена и т. п.). Если силы действуют на рычаг с двух сторон, а его ось (точка опоры) находится между ними — то данное тело называется рычагом первого рода, или двуплечим рычагом. Если ось находится на конце рычага, а точка приложения движущей силы на другом конце, то такой рычаг называется рычагом второго рода, или одноплечим. Если сила сопротивления находится на дистальном конце рычага, а действующая сила (тяга мышц) приложена ближе к оси вращения, то такая раз-

поводность, одноплечего рычага называется рычагом третьего рода, или рычагом скорости.

Самое большое распространение в теле человека имеет рычаг скорости: в ходе эволюции более необходимой для человека оказалась быстрота движений, чем сила.

Почти все мышцы прикрепляются вблизи суставов, что создает короткое илечо мышечной тяги. Поэтому мышцы, обслуживающие гребковые движения руки, обладая силой в несколько тысяч ньютонов, создают тяговое усилие всего до 200 Н.

Кроме того, что мышцы крепятся вблизи суставов, в первой половине гребкового движения руки тяга мышц направлена под острым углом к плечевой кости, а во второй половине — под тупым. Наибольшую величину сила тяги с этих позиций должна приобретать в момент, когда мышцы находятся под углом в 90° к костному рычагу. При увеличении или уменьшении угла пропорционально укорачивается плечо силы и ослабевает сила гребка. Однако следует учитывать и то, что по ходу движения руки часть мышечных волокон или целых мышц отключается, а другая часть (не однозначная ей по силе) включается в работу. В частности, во время гребкового движения рукой от середины и к концу гребка подключается более крупная группа мышечных волокон — нижний отдел большой грудной мышцы. Вместе с этим в конце гребка при выпрямлении руки в работу включаются мышцы, разгибающие и пронирующие предплечье. Поэтому в последней части гребка может выделиться достаточным усилием, несомненно уступающим усилию в середине гребка (табл. 1).

Таблица 1. Сила тяги в различные фазы гребкового движения рукой способом кроль на груди

Испытуемые	Сила тяги, Н		
	в начале гребка ($M \pm \sigma$)	в середине гребка ($M \pm \sigma$)	в конце гребка ($M \pm \sigma$)
Мужчина	$131,5 \pm 23,9$	$212,3 \pm 31,0$	$219,8 \pm 27,5$
Женщина	$91,1 \pm 21,1$	$169,0 \pm 27,5$	$151,3 \pm 19,2$

Из приведенных данных видно, что гребковые движения нужно рассматривать не только с позиций гидромеханики, но и с точки зрения анатомического устройства

двигателей. Например, анатомическое устройство аппарата опоры и движения человека позволяет выполнять наиболее эффективные гребковые движения умеренно согнутой в локтевом суставе рукой по следующим причинам: во-первых, в этих условиях отводится плечо, что способствует более активной работе широчайшей мышцы спины во-вторых, укорачивается рычаг сопротивления, что увеличивает скорость гребкового движения, и, в-третьих, согнутая в локтевом суставе рука позволяет дополнительно вовлечь в работу пронаторы плеча для более эффективного окончания гребка.

Одной из особенностей аппарата опоры и движения человека является то, что при больших нагрузках напрягаются все мышцы, окружающие сустав, в том числе и антагонисты.

Следует учитывать и то, что в кинетической цепи, которую представляет рука, максимальное приложение силы основных мышечных групп выполняющих гребок, может быть ограничено каким-либо одним более слабым мышечным звеном, например, выполняющим пронацию согнутого предплечья.

Как видно из краткой механической характеристики аппарата опоры и движения человека, для соревнования с дельфином в скорости плавания он располагает малоутешительными исходными данными.

Мышцы верхних конечностей, принимающие участие в гребковых движениях. В гребковых движениях руками участвуют поочередно все мышцы, расположенные во круг плечевого сустава. Однако приложенные силы в различных фазах движения руки неоднозначно. В подготовительных движениях приложение силы незначительно и не играет существенной роли. Приложение силы непосредственно при выполнении гребка создает тягу, и ее величина является определяющей спортивный результат в плавании.

Кроме рабочих и подготовительных движений во время плавания выполняется ряд вспомогательных движений, не принимающих непосредственно участия в гребке. Они придают отдельным звеньям тела человека обтекаемое положение, создают условия для дыхания и выполнения гребковых движений. Эти движения так же, как и подготовительные, не требуют значительных усилий, так как не создают силы тяги.

В различных способах плавания участие отдельных мышц не одинаково. Поэтому для детального знакомства с группами мышц, участвующими в гребковых движениях, следует рассматривать каждый способ плавания в отдельности.

В способе кроль на груди принимают участие мышцы, обеспечивающие круговое движение вперед, поднимающие и опускающие плечевой пояс, и мышцы, пронирующие предплечье.

Мышцы, участвующие в круговом движении, расположены вокруг плечевого сустава. Наиболее активное участие принимают мышцы сгибатели плеча, которые, по существу, создают гребковое движение руки (передняя часть дельтовидной мышцы, большая грудная, клюво-плечевая мышцы и двуглавая мышца плеча).

Мышцы, поднимающие пояс верхних конечностей, принимают участие в начальной фазе гребка. Они поднимают плечо вперед и этим удлиняют «шаг» гребка (верхние пучки трапецевидной мышцы, мышца, поднимающая лопатку, и грудно-ключично-сосцевидная мышца).

Мышцы, опускающие пояс верхних конечностей, принимают участие в конце гребка, опускают плечо, чем удлиняют «шаг» гребка (малая грудная и большая грудная, подключичная мышцы, нижние пучки трапецевидной, нижние пучки передней зубчатой мышцы, широчайшая мышца спины).

Мышцы, пронирующие предплечье, во второй части гребка придают движению предплечья дополнительное ускорение. Поэтому своей силой они должны превосходить силу мышц сгибающих плечо (большая грудная мышца, передняя часть дельтовидной мышцы, широчайшая мышца спины, клюво-плечевая, подлопаточная и большая круглая мышца).

В способе кроль на спине принимают участие те же мышцы, что и в кроле на груди. Однако в конце гребка в этом способе существенную роль играют мышцы-сгибатели кисти, которые придают ладони захлестывающее движение.

В способе брасс во время гребка принимают участие мышцы, обеспечивающие сгибание пронацию и отведение плеча. Во время подготовительного движения — приведение и разгибание плеча, а также разгибание предплечья.

Мышцы-сгибатели плеча — передняя часть дельтовидной, большая грудная, клюво-плечевая, двуглавая мышца плеча.

Мышца, отводящая плечо — дельтовидная и в особенности задние ее пучки, надостная.

Мышцы, приводящие плечо, принимают участие в переходе от гребкового движения рук к подготовительному — большая грудная, широчайшая мышца спины, клюво-плечевая, надостная, малая и большая круглая подлопаточная, длинная головка трехглавой мышца плеча.

Мышца-пронатор плеча — большая грудная, передняя часть дельтовидной, широчайшая мышца спины, большая круглая, клюво-плечевая, подлопаточная.

Мышцы-разгибатели плеча осуществляют выпрямление рук в исходное положение — задняя часть дельтовидной, широчайшая мышца спины, подостная, малая и большая круглая мышцы.

Мышцы-разгибатели предплечья — трехглавая мышца плеча и локтевая.

В способе дельфин принимают участие те же мышцы, что и в кроле на груди. Разница заключается в том, что в кроле движения руками выполняются попеременно, а в способе дельфин — одновременно.

Взаимодействие мышц и их степень участия при выполнении гребковых движений изучены недостаточно. Поэтому ниже будут рассмотрены лишь наиболее важные мышцы, участвующие в создании силы тяги.

Гребковое движение является несколько необычным действием для человека, поэтому в поясе верхних конечностей отсутствуют мышцы, специально предназначенные для выполнения этого действия. Их заменяет мышечный комплекс, состоящий из большой круглой, большой грудной мышц и широчайшей мышцы спины, которые действуют на плечо рычага под некоторым углом, что в начальной и конечной фазах движения значительно снижает удельный вес горизонтально составляющей тяги.

Большая грудная мышца начинается у грудины и ребер, а другим концом крепится к гребешку большого бугорка плечевой кости. Она окрывает собой почти всю область груди и имеет значительную толщину и ширину. Как видно из рис. 1, в опущенном положении руки верхние пучки мышечных волокон, которые берут начало от

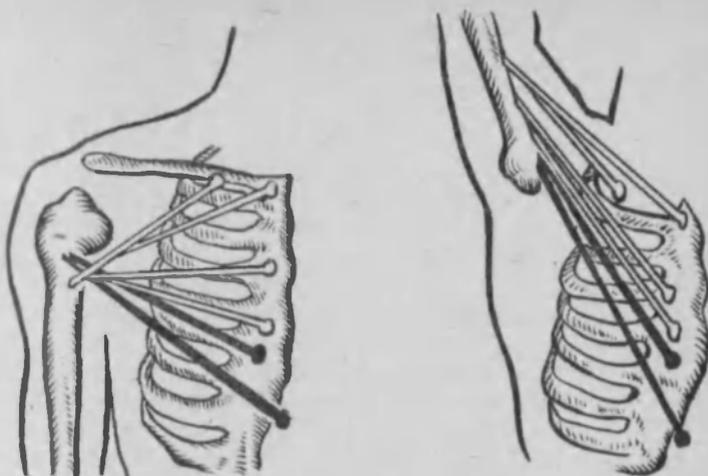


Рис. 1. Расположение пучков мышечных волокон при опущенной и поднятой руке

ключицы, перекрещиваются в месте крепления с нижележащими пучками. Во время отведения руки место перекрещивания мышечных пучков как бы раскручивается, и при вытянутой вверх руке пересечение мышечных волокон отсутствует.

Во время гребка участвуют не одновременно все волокна большой грудной мышцы, а последовательно. По ходу выполнения гребка по мышце пробегает волна напряжения с верхнего ее края до нижнего (это можно проверить на ощупь, положив на мышцу руку). В начале гребка участвуют мышечные волокна, которые крепятся к ключице, и в конце гребка — волокна, крепящиеся к нижней части грудины. На рис. 1 видно, что начальное движение рукой вниз можно выполнить с большей силой, так как пучки, участвующие в начальном движении руки, крепятся к плечевой кости на самом отдаленном расстоянии от центра вращения. Это замечание справедливо в том случае, если рука выполняет гребок перпендикулярно горизонтальной плоскости (кроль на груди, дельфин). Если пловец выполняет гребок перпендикулярно сагиттальной плоскости, то роль отдельных волокон большой грудной мышцы несколько изменяется (кроль на спине). В начале гребка большая грудная мышца почти не при-

нимают участие в создании тяги но к концу гребка ее участие значительно увеличивается.

Широчайшая мышца спины берет начало от грудных, поясничных и от крестцовых позвонков, а самые нижние нучки — от задней части подвздошного гребня. Крепится эта мышца удлинненным сухожилием к гребешку малого бугорка плечевой кости. По своему расположению и способу крепления волокон к плечевой кости наподобиеет большую грудную мышцу. Широчайшая мышца спины является одной из самых массивных и сильных мышц туловища и выполняет самые разнообразные функции. В гребковом движении способом кроль на груди стень ее участия увеличивается при повороте туловища на бок. В способе кроль на спине она выполняет основную нагрузку.

Большая круглая мышца начинается от нижнего угла лопатки и прикрепляется там же, где и широчайшая мышца спины. Ее функция в гребке тесно связана с широчайшей мышцей спины.

Для усиления тяги некоторые пловцы во время гребка рукой способом кроль на груди поворотом верхней части туловища опускают соответствующее плечо вниз. В этом положении большая грудная и широчайшая мышца спины образуют содружественно работающий комплекс, обеспечивающий более мощные тяговые усилия гребковых движений руками. Другие мышцы, прилегающие к поясу верхних конечностей, способствуют укреплению илеча для сохранения формы гребкового движения. В отдельных фазах гребкового движения принимают участие и некоторые другие мышцы. Например, мышцы, опускающие пояс верхних конечностей, удлиняют «шаг» гребка. В этих целях пловец во время движения руки вперед в этом же направлении отводит одноименную сторону пояса верхних конечностей и во время выполнения заключительной фазы гребкового движения его опусканием удлиняет гребок.

Следует отметить, что при выполнении гребковых движений двумя руками одновременно натяжение мышц увеличивается и в работу включается трапецевидная мышца спины. Одновременное выполнение гребковых движений руками также содействует лучшему взаимодействию большой грудной и широчайшей мышцы спины, особенно при выполнении гребка согнутыми в локтях ру-

ками. В этом случае предплечье принимает перпендикулярное положение к горизонтальной плоскости, а плечо по отношению к туловищу составляет угол, несколько больший 45° .

Во всех упражнениях на суше важную роль играют мышцы, обслуживающие рефлекс «позы», т. е. способствующие удержанию тела в вертикальном положении. В плавании «невесомость» снижает напряжение этих мышц, что увеличивает общий энергетический резерв. С другой стороны, во время выполнения гребковых движений отмечается значительное статическое напряжение мышц конечностей. В противном случае конечность не сможет противодействовать динамическому напору воды. Степень напряжения мышц дистальных частей конечностей зависит от скорости и достигает значительных величин — более 50% максимально возможного напряжения. Например, для удержания кисти в перпендикулярном положении к набегающему потоку на максимальной скорости плавания необходимо приложить усилие до 120—140 Н. Поэтому мышцы, обслуживающие сгибание и пронацию предплечья (плечевая, плече-лучевая, круглый и квадратный пронатор), и мышцы, обслуживающие сгибание кисти, во время гребка находятся в значительном напряжении. Статическое напряжение мышц-сгибателей предплечья и кисти отмечается на протяжении всего гребка (0,35—0,4 с.).

В подготовительном периоде гребкового движения напряжение мышц-сгибателей предплечья и кисти сменяется расслаблением.

Напряжение мышц кисти и предплечья во время гребка одинаково распространяется на сгибатели и разгибатели. В первой половине гребка кисть фиксируется с преимущественным напряжением сгибателей, а во второй — разгибателей.

Мышцы нижних конечностей, принимающие участие в гребковых движениях. В отличие от гребковых движений руками, где во всех способах плавания принимают участие почти одни и те же группы мышц, в движениях ног можно выделить два варианта: гребущих раздельного анализа.

Движения ногали способом брасс. Выполняются одновременно и по форме напоминают локомоторный акт для тушки. В движениях ног различают два периода — под-



готовительный и основной (рабочий). Подготовительный период представляет собой подтягивание ног в исходное положение за счет их сгибания в тазобедренных суставах и суставах колен. В конце движения происходит супинация стоп и голени. Подготовительная фаза является тормозящим движением, поэтому выполняется с незначительными ускорениями и без напряжения. Подготовительный период движений ногами обслуживают в основном следующие мышцы:

сгибатели ног в тазобедренном суставе (мышцы, расположенные спереди от поперечной оси этого сустава — подвздошно-поясничная, портняжная, натягивающая широкую фасцию, гребешковая и прямая мышцы бедра);

сгибатели ноги в суставе колена (мышцы, расположенные сзади, — двуглавая мышца бедра, полусухожильная, полуперепончатая, портняжная, тонкая, подколенная, икроножная);

сгибатели стопы в голеностопном суставе (мышцы, составляющие заднюю группу мышц голени — трехглавая мышца голени, задняя большеберцовая, длинный сгибатель большого пальца стопы, длинный сгибатель пальцев, и наружную группу — длинная и короткая малоберцовые);

мышцы, отводящие бедро (средняя и малая ягодичная, грушевидная, внутренняя запирающая, верхняя и нижняя близнецовые, натягивающая широкую фасцию);

пронаторы бедра (натягивающая широкую фасцию, передние пучки малой и средней ягодичной мышц, полусухожильная, тонкая);

супинаторы стопы (передняя большеберцовая и длинный разгибатель большого пальца);

супинаторы голени (двуглавая бедра и наружная головка икроножной мышцы);

разгибатели ноги в голеностопном суставе (передняя большеберцовая, длинный разгибатель пальцев, длинный разгибатель большого пальца).

Наиболее активное участие в подготовительном движении принимают мышцы-супинаторы стопы и голени и пронаторы бедра. В конечной стадии подготовительного движения они находятся в максимальном напряжении.

В основном периоде принимают участие следующие группы мышц:

разгибатели ноги в тазобедренном суставе (мышцы,

расположенные сзади тазобедренного сустава — большая ягодичная, длинная головка двуглавой мышцы бедра, полусухожильная, полуперепончатая и большая приводящая). Из них две мышцы — большая ягодичная и большая приводящая — крепятся к бедренной кости, а остальные — к костям голени;

разгибатель ноги в суставе колена — четырехглавая мышца бедра. Три головки этой мышцы (боковая, медиальная и промежуточная) берут свое начало от бедренной кости. Четвертая головка — прямая мышца бедра — сгибает тазобедренный сустав и берет начало от подвздошной кости, поэтому второй ее функцией является сгибание бедра;

мышцы, приводящие бедро (расположенные на внутренней поверхности бедра — гребешковая, длинная приводящая, короткая приводящая, большая приводящая, тонкая);

супинаторы бедра (подвздошно-поясничная, квадратная, ягодичная, гортняжная, внутренняя и наружная запирающие, грушевидная и близнецовые мышцы);

сгибатели стопы (мышцы, расположенные на задней и наружной поверхности голени — трехглавая мышца голени, задняя большеберцовая, длинный сгибатель большого пальца, длинный сгибатель пальцев, длинная и короткая малоберцовые);

пропаторы стопы (длинная малоберцовая, короткая малоберцовая).

При выполнении гребкового движения активнее выпрямление ног начинается в тазобедренных суставах, затем в суставах колен и голеностопных. Такая последовательность движений объясняется анатомическим строением нижних конечностей, которое затрудняет разгибание голени при согнутом бедре или разгибание стопы при разогнутой голени (первое в связи с активной недостаточностью мышц передней части бедра и пассивной недостаточностью мышц задней поверхности бедра, второе по причине пассивной недостаточности мышц задней поверхности голени).

Гребковые движения ног, т. е. их выпрямление, сопровождаются активным поворотом бедра наружу (супинацией). Это действие придает движению голени захлестывающий характер и является сложным координационным движением ноги.

Следует отметить что в конце гребка после полного выпрямления ног разгибание в тазобедренном суставе продолжается. Но по своему характеру это движение является уже не активным (гребковым), а вспомогательным, возвращающим тело в горизонтальное положение.

В узком варианте движения ног мышцы, приводящие бедро, не играют такой роли, как в классическом варианте брасса. Поэтому упоминание в некоторых пособиях о важной роли этих мышц в гребковых движениях ног является устаревшим.

Несмотря на то что в движениях ног участвуют все или почти все мышцы ног, половина из них обслуживает подготовительные движения, а остальные во время выплывания гребка участвуют частично, обслуживая движение на отдельных участках, так как в некоторых положениях конечности сокращение той или иной мышцы может быть незначительным. Кроме того, целый ряд мышц, выполняя одно движение, противодействуют другому. Например, подвздошно-поясничная и портняжная мышцы, сгибая бедро во время гребкового движения, тормозят разгибание ноги в тазобедренном суставе; гребешковая мышца, участвуя в приведении бедра, тормозит разгибание ноги в тазобедренном суставе; двуглавая мышца бедра и полусухожильная при разгибании ноги в тазобедренном суставе противодействуют разгибанию ноги в суставе колена; тонкая мышца, приводящая бедро, затормаживает разгибание ноги в суставе колена и т. п. Эта координационная «неувязка» снижает эффективность движения ног и усложняет процесс обучения плаванию. В некоторых случаях при освоении двигательного навыка возникает необходимость в разучивании отдельных частей движения и применении дополнительных упражнений с тем, чтобы придать мышечной деятельности нужное согласование.

Сгибание и разгибание стопы в общем действии ног имеет вспомогательный характер, обеспечивая при разгибании увеличение опорной площади стопы (в основном периоде), а при сгибании (в подготовительном периоде) способствуя лучшей обтекаемости тела. Толчок ногой, выполняемый разогнутой стопой, кроме увеличения сопротивления хорошо согласуется с напряжением мышц, супинирующих голень.

При разогнутом бедре сгибание голени затруднено пассивной недостаточностью прямой мышцы бедра и активной недостаточностью мышц тыльной стороны бедра. Этим объясняется стремление пловцов заканчивать толчок ногами несколько вглубину при согнутом до 165° бедре. Поэтому спортсменам весьма полезны упражнения на растяжение мышц и сухожилий задней поверхности бедра и голени.

Движения ногами способом кроль. В отличие от браса мышцы, принимающие участие в гребковых движениях ногами способом кроль, немногочисленны и в своих действиях более согласованны. В этом способе принимают участие сгибатели и разгибатели суставов колен и тазобедренных суставов, которые являются самыми крупными и сильными мышцами тела человека. Однако характер движения ног и незначительная гребковая площадь (наружная поверхность стопы) не позволяют пловцу использовать свой мышечный потенциал. Таким образом, гребковая площадь стопы оказалась решающим фактором, определяющим эффективность работы ног способом кроль. В этом нетрудно убедиться по данным рис. 2, на котором указана сила основных групп мышц, участвующих в движениях ног способом кроль. В свою очередь тяга, развиваемая движением ног у этих же испытуемых, не превышала 120 Н.

Так же, как и в брасе, отдельные группы мышц при плавании способом кроль выполняют вспомогательную работу, например, сгибание стопы во время гребкового движения и пронация голени.

Рабочим движением ноги при плавании способом кроль является движение ноги вниз, а водоплавающим — движение ее вверх.

В рабочем движении ноги участвуют следующие мышцы:

сгибатели тазобедренного сустава (мышцы, расположенные спереди от поперечной оси этого сустава — подвздошно-поясничная, гортняжная, натягивающая широкую фасцию, гребешковая и прямая мышца бедра). Эти мышцы при сгибании тазобедренного сустава создают усилие на дистальном конце бедра до 500 Н;

разгибатель сустава колена — четырехглавая мышца бедра, которая создает усилие на дистальном конце голени около 720 Н;

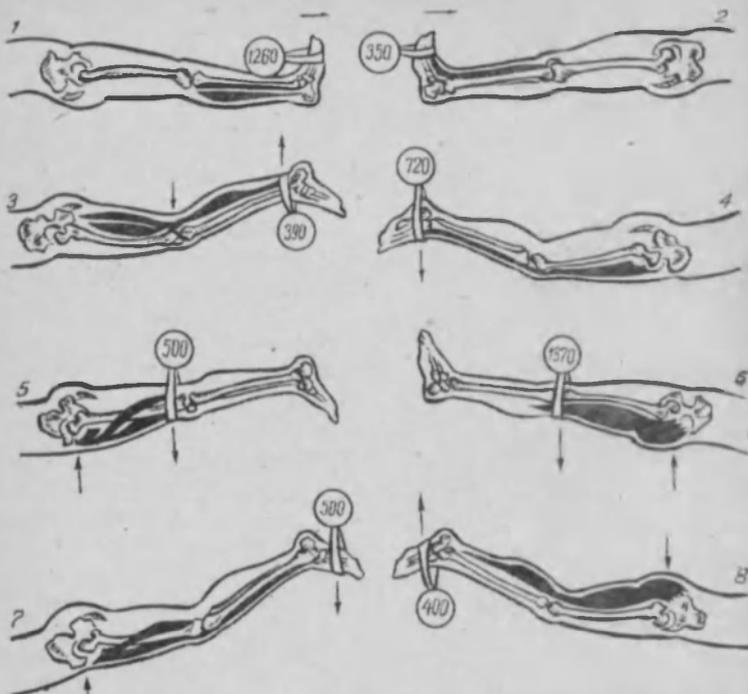


Рис. 2. Показатели динамометрии мышечных групп, участвующих в движении ног способом кроль (в Н):
 1 — сгибатели голеностопного сустава; 2 — разгибатели голеностопного сустава; 3 — сгибатели сустава колена; 4 — разгибатели сустава колена; 5 — сгибатели тазобедренного сустава; 6 — разгибатели тазобедренного сустава; 7 — сила давления стопы при сгибании ноги в тазобедренном суставе и разгибании в суставе колена; 8 — сила давления стопы при разгибании ноги в тазобедренном суставе и сгибании в суставе колена

сгибатели голеностопного сустава (мышцы, расположенные на задней и наружной поверхности голени — трехглавая голени, задняя большеберцовая, длинный сгибатель большого пальца, длинный сгибатель пальцев, длинная и короткая малоберцовая, подошвенная);

пронаторы голени — полусухожильная, полуперепончатая, портняжная, тонкая, подколенная и икроножная мышцы. Основную роль в пронации голени во время движения ноги вниз играет подколенная мышца, так как остальные являются антагонистами разгибателей ноги в суставе колена.

При движении ноги вниз наблюдается значительное сгибание ноги в суставе колена. Оно осуществляется под нажимом воды, без участия мышц-сгибателей.

Движение ноги способом кроль производится в следующем порядке. Из верхнего крайнего положения ноги движение начинается активным сгибанием тазобедренного сустава и под нажимом воды — сустава колена и голеностопного. В середине движения бедра начинается активное разгибание в суставе колена, которое заканчивается в начале движения бедра вверх. Пронация голени уже выражена в начале движения ноги вниз и в крайнем нижнем положении заканчивается.

Движение ноги вверх начинается и заканчивается прямой ногой со слегка разогнутой стопой. В разгибании ноги в тазобедренном суставе участвуют: большая ягодичная мышца, длинная головка двуглавой мышцы бедра, полусухозильная и большая приводящая мышцы. Сила этих мышц в 2 раза больше силы мышц-сгибателей — 1370 Н.

Движения ногами способом дельфин. В работе ног способом дельфин участвуют те же группы мышц, что и в кроле. Только движения ногами выполняются одновременно.

При плавании способом дельфин наблюдаются значительные колебания туловища. По содержанию колебательные или волнообразные движения туловищем имеют балансирующий характер и возникают вследствие безопорного положения тела. В способе кроль такие колебания туловища не наблюдаются, так как движение ноги вниз компенсируется движением другой ноги вверх и наоборот.

Сгибание туловища в основном осуществляется прямой и косыми мышцами живота, а также подвздошно-поясничной мышцей. Главную роль играет прямая мышца живота, которая имеет большое плечо рычага и обладает значительной силой.

К мышцам, участвующим в разгибании туловища, в первую очередь относятся крестцово-остистая и поперечно-остистая мышцы. Обе мышцы крепятся к тазу. При движении ног вниз они поднимают таз вверх, усиливая нажим дистального конца бедра на воду.

Анатомическая характеристика акта дыхания пловцов. Дыхание в плавании затруднено. При вдохе пловцу

необходимо преодолевать наружное давление воды на его туловище. Выдоху, который обычно производится в воду, оказывают сопротивление плотность и вязкость среды. Кроме этого, дыхание в плавании регламентировано количеством гребковых движений и производится в строго определенное время. По этим причинам дыхание у пловцов глубокое и форсированное. Пловцы отличаются хорошими показателями внешнего дыхания. По сравнению с представителями других спортивных специализаций у них самые высокие жизненная емкость легких (ЖЕЛ) и жизненный индекс $\left(\frac{\text{ЖЕЛ}}{\text{масса}} \right)$. Хорошо раз-

витный дыхательный аппарат содействует окислительным процессам, протекающим в организме, расширяет возможности анаэробной и аэробной производительности, т. е. оказывает непосредственное влияние на скорость и продолжительность плавания.

Расширение грудной клетки во время вдоха происходит в двух направлениях: в продольном — за счет движения диафрагмы и в поперечном — за счет расширения грудной клетки путем вращения ребер и поднимания их вверх.

Различают мышцы, которые непосредственно принимают участие в дыхании, и мышцы, припимающие участие в дыхании частично. Последние большей частью обслуживают какие-либо другие движения. Однако одной стороной они крепятся к остову дыхательного аппарата и при напряжении оказывают на него определенное воздействие.

Основные мышцы вдоха:

диафрагма — при сокращении она опускается в сторону брюшной полости, вследствие чего увеличивается объем полости грудной клетки и создается внутреннее отрицательное давление в легких;

наружные и внутренние межреберные мышцы (наружные межреберные мышцы обеспечивают вдох, а внутренние — выдох); обычный непроизвольный выдох в воде происходит без напряжения мышц под влиянием наружного давления;

мышцы, поднимающие ребра, имеются только в грудном отделе позвоночного столба. Кроме функции дыхания, при одностороннем их сокращении участвуют в по-

повороте и прогибании позвоночного столба в грудном отделе во время плавания способом кроль на груди. При одновременном сокращении участвуют в прогибании грудного отдела позвоночного столба, что происходит во время плавания способом дельфин;

верхняя задняя зубчатая мышца — как и предыдущая, во время вдоха поднимает верхние ребра; участвует в повороте и разгибании позвоночника в грудной его части;

нижняя задняя зубчатая мышца, квадратная мышца бедра и подвздошно-реберная мышца — принимают участие при полном и диафрагмальном (брюшном) дыхании.

Акт дыхания обслуживает также ряд вспомогательных мышц. Наиболее активное участие во время плавания принимают большая и малая грудные мышцы и нижние пучки передней зубчатой мышцы. Во время выноса руки из воды при плавании способом кроль на груди и дельфин своим натяжением они способствуют расширению грудной клетки, т. е. вдоху. Косвенное участие при выдохе принимают мышцы, поднимающие лопатку — верхние пучки трапецевидной, ромбовидная, поднимающая лопатку и др. Передние мышцы шеи во время поднимания головы из воды (брасс, дельфин) своим растяжением способствуют поднятию грудной клетки кверху (вдоху).

При плавании способом брасс и дельфин увеличению вертикального размера грудной полости способствуют мышцы-разгибатели позвоночного столба.

Основные мышцы выдоха:

мышцы живота (прямая, поперечная, а также наружная и внутренняя косые) — являются прямыми антагонистами диафрагмы: при их сокращении увеличивается внутрибрюшное давление и диафрагма поднимается вверх, поэтому выдох хорошо согласуется, например, в способе дельфин со сгибанием бедер:

внутренние и наружные межреберные мышцы, подреберные мышцы и поперечная мышца грудной клетки — в обычных условиях принимают участие только в полном или форсированном выдохе; во время плавания участвуют в полном цикле выдоха, так как выдох в плавании от начала и до конца является форсированным. Такую же функцию выполняют и мышцы, опускающие ребра, — нижняя задняя зубчатая спины и квадратная мышца бедра.

В спортивном плавании преобладает грудное дыхание по следующим причинам. Во-первых, наружному давлению воды лучше противостоит жесткая поверхность грудной клетки. Во-вторых, при брюшном дыхании вдох производится преимущественно с участием одной диафрагмы, которая во время плавания должна преодолевать наружное давление воды. В свою очередь при вдохе за счет расширения грудной клетки кроме мышц непосредственно обслуживающих вдох, участвует значительное количество вспомогательных мышц. Поэтому в спортивном плавании выбору момента вдоха в общем согласовании движений уделяется большое внимание.

Морфологические особенности мышц пловца. Приспособляемость живых клеток к условиям окружающей среды распространяется и на мышцы. В зависимости от функции постепенно изменяются и их структура, форма, размеры. Известный физиолог Марей обратил внимание на то, что икра ноги у человека может быть тонкой и длинной, но она не менее успешно выполняет ту же функцию, что и короткая толстая икра, имеющая своим продолжением длинное ахиллово сухожилие. По утверждению ученого, более слабая длинная мышца прикрепляется к более длинному выступу пяточной кости, в результате чего сила ее воздействия на противоположное плечо рычага увеличивается.

В процессе эволюционного формирования аппарата опоры и движения человека сложился определенный оптимальный набор наиболее часто применяющихся сочетаний скоростных и силовых движений. Под влиянием физических упражнений совершенствуются морфология и функция мышц, изменяется и форма костей, в частности размеры отростков, выступов и угорков, к которым крепятся сухожилия мышц.

При плавании опорой служит водная среда, которая во многом отличается от воздушной и накладывает определенный отпечаток на мышечную деятельность. Можно отметить следующие ее особенности.

1. «Безопорное» горизонтальное положение тела при изменном воздействии сил земного притяжения исключает тонус мышц, обслуживающих статические рефлексы. Это облегчает взаимодействие мышц, непосредственно участвующих в локомоторном акте, и увеличивает их энергетическое обеспечение.

2. Своеобразные условия положения тела пловца и согласование дыхания с гребковыми движениями значительно отличают акт дыхания при плавании от обычного и предъявляют к дыхательному аппарату повышенные требования.

3. Выполнение мягких и плавательных движений в воздушной среде возможно лишь при участии мышц антигонистов, которые своим напряжением амортизируют резкие движения. Во время плавания функцию амортизатора выполняет вязкость среды. В связи с этим роль мышц-антагонистов в плавательных движениях сводится к минимуму, что способствует увеличению энергоресурсов для мышц, принимающих непосредственное участие в гребке.

4. Для продвижения в воде наиболее рациональными являются мягкие движения. В связи с этим предъявляются особые требования к проприоцептивной чувствительности мышц и их иннервации.

5. Характер плавательных движений оказывает влияние на микроструктуру и химический состав мышечного волокна.

Характер мышечной деятельности пловца воздействует и на его антропометрический статус. У пловцов подвижный, хорошо развитый пояс верхних конечностей с мяким, но хорошо выраженным рельефом мышц. Особенно выделяется большая грудная мышца. Широкая подвижная шея свидетельствует о развитии ее мышц. Большая жизненная емкость легких и высокий жизненный индекс указывают на хорошее развитие мышц дыхательного аппарата. Тонус мышц, и особенно мышц туловища, у пловцов несколько ниже, чем у спортсменов других специализаций. Можно привести слова замечательного пловца, основоположника американского стиля кроль, Джонни Вайсмюллера: «Мышцы пловца, более, чем какого-либо другого спортсмена, должны быть длинными, мягкими и эластичными. Прыгун, бегун-спринтер, боксер, борец и т. д. нуждаются при своей работе в неожиданных и интенсивных сокращениях. От пловца же требуется постоянная и равномерная работа силы, и ему нет надобности в неожиданных и энергичных сокращениях. Вода представляет собой плотную, но мягкую среду. Движения в воде, чтобы быть полезными, должны быть мягкими. Резкие движения в воде будут только беспо-

лезны, так как приводят к быстрому утомлению и безрезультатной трате сил».

Говоря о своих антропометрических данных, Вайсмюллер перечислил те, которые, по его мнению, принесли ему успех в плавании: «...рост у меня 6 футов 3 дюйма (1,89 м), плечи у меня достаточно широки, чтобы удлинить вынос руки ...моя грудь достаточно обширна, чтобы обеспечить хорошую дыхательную емкость... Руки у меня длинные. Ступни и кисти рук большие, быть может, необычно широкие, с длинными пальцами и представляют собой достаточно хорошую площадь для гребка, как лопасти на веслах».

Функциональные особенности аппарата опоры и движения

Обычно, характеризуя двигательные особенности того или иного лица, ограничиваются несколькими определениями: сильный, быстрый, выносливый и т. п. Однако применительно к спорту, где физические качества имеют особый вес, такая характеристика является слишком упрощенной, так как все физические качества здесь проявляются в единстве с доминирующим значением отдельного из них в зависимости от характера выполняемых действий. В каждом виде спорта совершенствуются преимущественно те качества, которые обеспечивают эффективное выполнение наиболее часто повторяемых действий.

Плавание — вид спорта, в котором происходит всестороннее развитие физических качеств спортсмена.

Тем не менее в плавании, как и в других видах спорта, для спортивного совершенствования характерно преобладание отдельных двигательных качеств в «пропорциях», продиктованных спецификой плавания вообще и способом плавания или дистанцией в частности.

Качество силы пловцов. Силу пловца можно характеризовать по его способности преодолевания сопротивления воды за счет мышечных усилий.

Физиологические механизмы развития силы мышц при различных режимах их работы неодинаковы. Физиологи различают в мышцах короткие и длинные волокна. Фибриллы коротких волокон сгруппированы пучками и

образуют так называемые поля Конгейма. Короткие волокна в основном приспособлены к статическим напряжениям. Длинные волокна больше приспособлены к динамической работе, т. е. к работе скоростно-силового характера. Фибриллы этих волокон располагаются диффузно, что позволяет им при сокращении выполнять движения быстрее и с большей амплитудой. Участие в движениях коротких и длинных мышечных волокон зависит от характера выполняемых упражнений, т. е. от содержания тренировок. В результате тренировок с применением упражнений преимущественно силового характера диффузно расположенные фибриллы укорачиваются и группируются в поля Конгейма. Такие мышечные волокна приобретают способность к максимальным напряжениям, но при этом снижаются их эластичность и способность к быстрому напряжению и расслаблению.

Несколько по-иному происходит и кровоснабжение работающих мышц при статическом и динамическом напряжениях. При тренировке мышц к статической работе в их капиллярах образуются вздутия, которые при длительном напряжении выполняют роль маленьких резервуаров с запасом артериальной крови (А. К. Ковешникова, 1954). При тренировке к динамической работе артериальная сеть приспособляется к более быстрому кровоснабжению работающих мышц. Образуются капилляры магистрального типа с густым разветвлением по мышечным волокнам.

Структурные особенности мышечного волокна, его кровоснабжение и иннервация обуславливают род деятельности данного волокна и мышцы в целом. При развитии тех или иных фибрилл мышца становится способной к максимальному напряжению или к динамическим движениям. Это влияет на форму и характер движений и определяет способность к длительному выполнению работы, т. е. выносливость.

Функциональная структура мышц должна учитываться и тренерами. Иногда желание форсировать рост спортивных результатов путем непродуманного применения всемогательных упражнений может привести к отрицательному эффекту — нерождению мышечных волокон, приспособлению их к статическим напряжениям. Штангисты, например, обладают значительно большей мышечной массой и по всем динамометрическим показателям

на суше превосходят пловцов. Однако по силе гребковых движений в воде они значительно уступают пловцам. Мастер спорта шпанец, плавающий по третьему разряду, имеет такие же показатели тяговых усилий в воде, как третьеразрядник гимнаст, спортировик или пловец.

Формирование двигательных навыков происходит с обязательным участием всех физических качеств, в том числе и силы. При этом каждое качество имеет определенный удельный вес в выполненном упражнении. Можно сказать, что для каждого упражнения существует оптимальное сочетание двигательных качеств, при котором оно выполняется в наиболее благоприятном режиме. Разумеется, только высококвалифицированные спортсмены близки к максимальному развитию идеальных пропорций, а остальные, по мере овладения двигательными навыками, приближаются к ним.

Максимальная мобилизация мышечных усилий зависит от величины, частоты и синхронизации нервных импульсов, поступающих к мышечным волокнам во время выполнения гребковых движений. Спортивное совершенствование пловца связано со все большим вовлечением волокон в мышцах, участвующих в гребковых движениях. Известно, что мышца может развивать от 2 до 80% усилия, которое она могла бы развить при полной мобилизации всех своих ресурсов (Н. В. Зимкин, 1956).

Сложность формирования динамической структуры гребкового движения заключается в следующем. Выполнение гребкового движения производится не одной, а несколькими мышцами. Каждая из них имеет свою длину и различные места прикрепления. От длины мышцы зависят сила и скорость сокращения, а от места прикрепления мышцы к костному рычагу — направление движения конечности. Поэтому для реализации силы в гребковом движении требуется не максимальное сокращение всех мышц, а определенное их соотношение. В противном случае страдают не только направление и форма гребкового движения, но и сила его выполнения. По этой причине нет корреляционной зависимости между силой гребковых движений на суше и в воде.

Разучивание и совершенствование гребковых движений идет по пути экономизации энерготрат, т. е. постепенного выключения из работы «второстепенных» волокон с привлечением только тех мышц и мышечных групп.

от которых в большей степени зависит эффективность гребка. Это осуществляется главным образом координацией двигательных импульсов путем регулировки процессов их возбуждения и торможения.

Сила сокращения мышц зависит не только от их размеров и биохимических процессов, протекающих в них, но и от сложной условнорефлекторной координации частоты и силы их сокращения, которая совершенствуется в специфических условиях процесса тренировки. Мышечная сила может возрастать за счет увеличения мышечной массы и за счет улучшения нервной регуляции мышечной деятельности. В плавании первостепенную роль играет второе — оптимизация иннервации деятельности мышц, содействующая вовлечению в работу максимального количества мышечных волокон и активизирующая биохимические реакции, протекающие в мышце во время ее деятельности. Прирост мышечной массы, как правило, сопутствует этому и является неизбежным, хотя с определенных позиций чрезмерное увеличение мышечной массы нежелательно. При увеличении мышечной массы снижается как общая, так и специальная выносливость пловца, так как обеспечение большого количества мышечной массы требует усиленного расходования энергетических веществ.

При увеличении мышечной силы за счет совершенствования нервной регуляции биохимические процессы протекают гораздо экономней.

Существенную роль в распределении мышц, создающих тяговое усилие, играет внешняя среда. Тело человека в воде теряет свой вес, а горизонтальное положение почти полностью освобождает его от необходимости сохранять равновесие за счет использования статических рефлексов. Статические усилия для поддержания позы во всех других видах спорта создают дополнительную нагрузку. Особенно отчетливо выражены эти статические усилия у тяжелоатлетов при подъеме тяжестей или у бегунов при спринтерском беге. У пловцов же при отсутствии значительных статических усилий вырабатываются плавность движений и способность хорошо расслаблять мышцы тела, так как у них постоянно работают только те ограниченные группы мышц, деятельность которых необходима для движения тела вперед или для поддержания его на поверхности воды (И. В. Зимкин, 1953).

Для сравнительной характеристики силовых качеств спортсменов различной квалификации и специализации чаще всего пользуются показателями становой силы и силы кисти. Однако эти показатели не отвечают специфике выполняемой пловцом работы. Поэтому неслучайно, что показатели становой силы и силы кисти у пловцов самого высокого класса могут быть меньшими, чем у третьеразрядников. Связь с силой тяги в воде не отражают и такие упражнения на суше, как прыжки с места в длину, отжимания, подтягивания, упражнения со штангой и т. п., которые применяются некоторыми специалистами в качестве тестов для определения силовых возможностей пловцов.

По нашим подсчетам, исходя из физиологического переченника мышц, суммарная сила мышц руки ($F_{\text{сум}}$), участвующих в гребковых движениях в среднем равняется у мужчин 4800 Н, у женщин 3200 Н; сила мышц ноги у мужчин 16 000 Н и у женщин 12 300 Н. В действительности при выполнении любого действия сила «на выходе» значительно меньше суммарной силы. Для примера в табл. 2 приводятся сила тяги ($F_{\text{г}}$) и процент реализации силовых возможностей пловца ($\frac{F_{\text{г}}}{F_{\text{сум}}} \cdot 100$) при плавании с помощью рук способом кроль.

Таблица 2. Сила и процент реализации силовых возможностей пловца при плавании с помощью рук способом кроль

Квалификация	Количество испытуемых	Женщины		Мужчины	
		сила тяги, Н	реализация, %	сила тяги, Н	реализация, %
Мастера спорта	9	154	3,15	115	3,6
I разряд	17	133	2,72	100	3,13
II разряд	26	110	2,25	81	2,62
III разряд	19	89	1,82	61	2,0

Коэффициент реализации силовых возможностей для ног при способе кроль еще ниже (0,5–0,6%).

Быстрота. Быстрота пловца проявляется в трех формах: 1. быстроте двигательной реакции; 2. скорости отдельного движения (быстрота гребковых движений); 3. частоте движений в единицу времени (темп).

Установлено, что перечисленные разновидности быстроты не связаны между собой. Очень высокой двигательной реакции спортсмена на какой-либо сигнал может сопутствовать незначительная частота движений или скорость в выполнении отдельного движения. Также могут быть быстрыми отдельные движения при относительно небольшой частоте движений или скорости двигательной реакции (В. М. Зацюрский, 1966).

В плавании сочетаются все три формы быстроты, и от степени их проявления в той или иной мере зависит скорость прохождения дистанции. Так от быстроты реакции на старте зависит своевременное начало плавания, а от скорости гребковых движений и их частоты — скорость плавания.

Быстрота двигательной реакции на зрительный и звуковой сигнал не одинакова (В. М. Зацюрский, 1966).

Время зрительно-моторной реакции у лиц не занимающихся спортом 0,25 с (от 0,40 до 0,35 с), у спортсменов 0,15–0,21, т. е. разница составляет около 0,1 с.

Время реакции на звуковой сигнал несколько короче. У не занимающихся спортом оно составляет 0,17–0,27 с. У студентов ЛГИФК, специализирующихся в плавании, время двигательной реакции составляло 0,14–0,21 с. В этих же исследованиях были выявлены следующие закономерности:

пловцы, быстро реагирующие на звуковой сигнал, быстрее реагируют и на зрительный;

пловцы более высокого класса имеют лучшую стартовую реакцию;

быстрота реакции зависит от времени ожидания сигнала. Оптимальное время между предварительной и исполнительной командами находится в пределах 1,2–1,7 с. Последнее необходимо учитывать стартеру на соревнованиях: затянутая или преждевременная исполнительная команда замедляет реакцию на сигнал. По данным В. А. Гарфенова (1959), стартеру также необходимо учитывать, что реакция на старт зависит от места стартера и формы подачи старта.

В общем двигательная реакция в спортивном плавании преимущественно играет роль только во время старта. Однако Д. Баймюллер утверждал, что во время старта «самое главное заключается не в том, чтобы как-нибудь быстрее поплыть в воду, но в том, чтобы сделать

это правильно. Более тщательно готовясь к прыжку, я не только избегаю фальстарта, но и, лучше сосредоточившись, делаю прыжок на гораздо большее расстояние... В итоге, когда инерция моего тела начинает иссякать, я оказываюсь наравне или даже впереди своих противников, хотя они и взяли старт раньше меня».

Если учесть, что реакция на старте у высококвалифицированных пловцов составляет сотые доли секунды, то можно согласиться с Д. Байсьюллером, что более существенной является сила толчка, правильный вылет и вход в воду. Чрезмерное напряжение в ожидании стартового сигнала приводит к некоторой потере времени, так как вызывает скванность илавательных движений в начале дистанции.

Быстрота гребковых движений обусловлена целым рядом факторов биологического и механического характера. Прежде всего, сокращения мышечных волокон без нагрузки не происходит, так как при своем сокращении они преодолевают хотя бы массу биозвена, к которому крепятся. Поэтому речь идет не о возможной скорости сокращения мышечных волокон, а о скорости преодоления сопротивления, для чего необходима соответствующая мышечная сила. По-видимому, при малых сопротивлениях скорость движения конечности будет максимальной и по мере их увеличения будет снижаться.

Сила гребка зависит от количества вовлеченных в работу мышечных волокон, а скорость — от быстроты их сокращения. В свою очередь с позиций механики наибольшая быстрота сокращения мышцы возможна при наименьшем внешнем сопротивлении (наименьшей массе отталкиваемой воды).

При увеличении сопротивления быстрота мышечного сокращения снижается, и при максимальной величине сопротивления она равна нулю.

Динамическая работа мышц свойственна всем циклическим видам спорта. Например, в спринтерском беге сокращение мышц настолько кратковременно, что по существу их активность наблюдается только в момент толчка, около 0,1 с. В этом случае сила для начального ускорения тела близка к мгновенной или «взрывной» силе и соответствует максимальному изометрическому напряжению (В. М. Зациорский, 1966). Затем тело в течение десятых долей секунды полета движется по инерции.

В плавании инерция движения тела значительно тормозится сопротивлением воды. Поэтому для преодоления сопротивления пловец на протяжении гребкового движения руками прикладывает усилие в течение 0,35—0,45 с.

Время и величину прилагаемой силы пловцов необходимо учитывать при подборе вспомогательных упражнений. Например, если пловец выполняет гребок с усилием 100 Н в течение 0,4 с, то его тренировочной задачей будет развитие усилий 105—110 Н в несколько меньший промежуток времени. Сохранение времени гребка (0,4 с) при увеличении усилия возможно только при условии увеличения кривизны гребка, что не всегда выгодно.

Темп (частота) гребковых движений определяется количеством циклов движений в единицу времени. Темп движений пловцы, как правило, увеличивают в большей мере за счет сокращения времени подготовительного периода (скорости движения руки над водой, укорочения фазы наплыва), в меньшей мере — за счет основного периода — укорочения малоэффективных начальной и конечной фаз гребка и частично — путем увеличения скорости гребкового движения.

Зависимость временного соотношения различных фаз гребковых движений от темпа. По проведенным записям внутрициклового скорости пловцов нами установлено, что скорость основной фазы гребкового движения является довольно постоянной величиной для данного пловца и изменяется мало. Также установлено, что при плавании в максимальной темпе «шаг» сокращается на 8—10%, и в отдельных случаях, чаще у женщин, укорочение гребка достигает 17—18%. Однако благодаря существенному укорочению подготовительного периода общее время цикла сокращается и удельный вес гребкового движения в цикле возрастает. В связи с этим уменьшаются перепады скорости внутри цикла, тяга становится более постоянной, что и увеличивает скорость продвижения пловца. Так, при плавании брассом в спокойном темпе сумма гребковых движений занимает 34% времени цикла, а в максимальном темпе до 53%. при плавании кролем на груди — соответственно 36 и 45,5%, кролем на спине — 47 и 50,5% и дельфином — 48 и 54%.

Если плотность гребковых движений при увеличении темпа не возрастает, то это свидетельствует о чрезмер-

ном сокращения «шага». В таких случаях скорость плавания не увеличивается.

Зависимость темпа движений от индивидуальных качеств пловца. Темп движений у пловцов одной квалификации на одну и ту же дистанцию неодинаков. Он зависит не только от избранного варианта техники и степени тренированности пловца, но и от его морфофункциональных данных и состояния нервно-мышечного аппарата. Последнее определяется его приспособленностью к коротким и сильным или к более длительным и слабым напряжениям. Сочетание количества вовлеченных в работу коротких и длинных волокон обуславливает в какой-то степени темп движений и придает индивидуальность технике пловца.

Немаловажную роль играет также способность мышц пловца к восстановлению энергетического потенциала за время подготовительного периода. Например, после выполнения гребка, который длился 0,4 с, для циклового восстановления энерг. ресурсов мышц данному пловцу, допустим, необходимо 0,7 с. При сокращении гребка до 0,3 с уменьшится и время отдыха, т. е. фаза подготовительного периода. В первом и во втором случае модели пловец может изобразить одинаковый результат, хотя темп его движений будет значительно отличаться.

В действительности тренировочный процесс пловца направляет на укорочение фазы внутрициклового восстановления при условии сохранения силы и длительности гребка.

Из антропометрических показателей наибольшее влияние на темп движений пловца оказывает длина его конечностей, что чаще всего является производным роста. Ростлые пловцы, как правило, имеют меньший темп движений. У 84 исследованных нами пловцов корреляционная зависимость роста и длины рук составляла 0,83, длины рук и темпа — 0,76 и роста и темпа движений — 0,61.

На темп оказывает влияние избранный вариант техники плавания (согласованность движений, форма и направление гребка и т. п.). Например, согласование движений классического брасса значительно уступает в темпе движений современному варианту брасса. Темп шестиударного кроля несколько ниже, чем четырех- и двухударного. Темп «слитного» дельфина выше «раздельного». Сгибая руку в локтевом суставе, пловец укорачи-

вает рычаг сопротивления, что приводит к увеличению темпа движений.

При исследовании темпа необходимо учитывать двигательные возможности верхних и нижних конечностей пловца. Например, при раздельном плавании способом брасс цикл движений рук занимает меньше времени, чем цикл движений ног, так как подготовительная фаза тормозит подтягивание ног. Поэтому в способе брасс основным звеном координации темпа является движение ног. То же в шестударном кроле и в дельфине. Однако в четырех- и двухударном кроле общий темп движений ограничивается движением рук.

«Шаг» пловца и темп движений. Темп — величина, обратно пропорциональная длительности движений, поэтому при увеличении темпа длина гребка и «шаг» передвижения пловца уменьшаются. Принято считать, что при увеличении темпа движений необходимо стремиться к сохранению «шага». Такое положение как-будто вполне оправданно, так как при увеличении темпа движений и сохранении «шага» скорость пловца увеличивается пропорционально темпу. Однако, чем сильнее напряжение, тем меньший отрезок времени оно может быть выдержано, причем утомление нарастает не пропорционально увеличению усилия, а более интенсивно.

Укорочение «шага» при увеличении темпа движений неизбежно и происходит в основном за счет сокращения менее эффективных фаз гребка — его начала и конца. Пловец стремится сохранить наиболее продуктивную фазу гребка, которая создает максимальную силу тяги.

Изменение «шага» при увеличении темпа движений для всех пловцов индивидуально.

Квалифицированные или более тренированные пловцы при увеличении темпа движений изменяют «шаг» в меньшей степени.

Влияние тренировочных нагрузок на темп движений. В процессе тренировки темп движений повышается и сохраняется более длительное время. При этом результат предшествующих тренировочных занятий, как отмечает Н. В. Зимкин (1956), проявляется в увеличении выносливости к тренировочным нагрузкам.

Ряд ведущих тренеров по плаванию придерживаются мнения, что темп движений, так же, как и выносливость к нему, нужно тренировать одновременно. В осо-

бенности часто это мнение высказывалось по поводу тренировок мастеров международного класса.

Влияние утомления на темп движений. В исследовании Т. М. Абсалямова и Г. И. Куренкова (1966) во всех случаях нарастание утомления сопровождалось увеличением темпа движений. В первой стадии утомления благодаря увеличению темпа движений скорость плавания не снижалась. В дальнейшем она снижалась, несмотря на еще большее увеличение темпа. Продолжительность цикла к моменту отказа от работы сокращалась на 0,4—0,6 с. Эти данные, возможно, свидетельствуют о том, что наиболее «уязвимым» местом в физической подготовке пловца является длительность приложения усилия. Можно полагать, что более естественным является менее длительное напряжение с меньшим внутрицикловым отдыхом. Более длительное напряжение через некоторое время потребует постепенного удлинения фазы расслабления, что приведет к снижению скорости.

Коэффициент полезного действия и темп движений. С увеличением площади гребковых поверхностей возрастает КПД гребковых движений. Вместе с этим снижаются скорость гребка и темп. Увеличение скорости связано с возрастанием кинетической энергии $\left(\frac{mv^2}{2}\right)$, что может происходить за счет m (массы отталкиваемой воды) или за счет v (скорости гребков). Увеличение m целесообразно до определенных границ, где можно ожидать максимального КПД. В кораблестроении, например, на быстрых судах устанавливают небольшой «оборотистый» винт, а на грузовых кораблях — винт с большими лопастями. В спортивном плавании основной задачей является увеличение скорости, поэтому кинематическая энергия спринтера подобно быстроходному винту, создается за счет увеличения скорости гребковых движений, что отрицательно сказывается на КПД гребка.

Темп движений как критерий оценки техники плавания. При оценке техники плавания темп движений является более доступным показателем, чем скорость гребковых движений, так как темп можно определить визуально с помощью секундомера. Темп движений в совокупности со скоростью плавания служит наиболее объективным критерием оценки физических качеств пловца. При очень высоком темпе тренер считает целесообразным работать

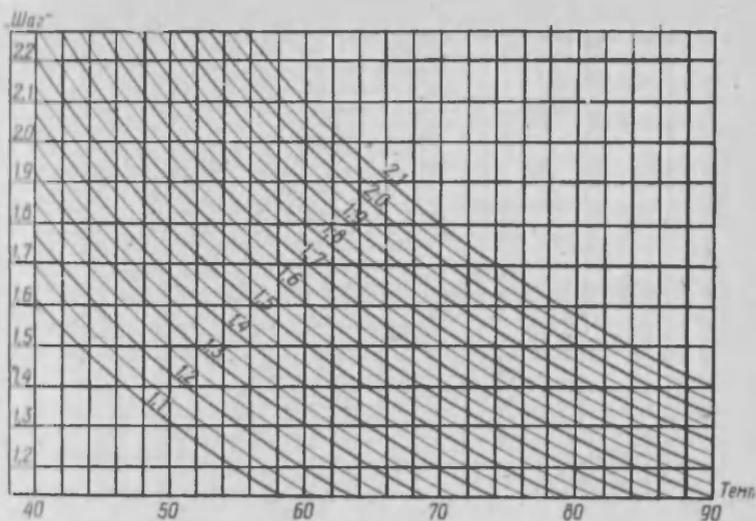


Рис. 3. График расчета «шага» и темпа для различных скоростей плавания (в м/с)

над длиной гребкового движения путем увеличения времени гребкового усилия. При длинном шаге следует увеличивать темп путем сокращения менее эффективных (раз гребка и ускорения гребкового движения).

На рис. 3 представлен график для расчета «шага», темпа и скорости пловца. По нему можно судить о зависимости скорости плавания от изменения темпа и «шага», а также о вариативности «шага» и темпа при различных скоростях плавания.

Характеристика выносливости пловцов. Выносливость в общем значении определяется как способность к длительному выполнению заданной работы на определенном уровне (М. И. Виноградов, 1958). Выносливость в плавании измеряется временем, в течение которого пловец может плыть с заданной интенсивностью.

После проплыwania определенной дистанции, наступает утомление. Пловец, преодолевая его, может продолжать плавание с такой же скоростью. Однако через какое-то время скорость его будет снижаться. Промежуток времени от появления чувства усталости до начала снижения скорости составляет 1-ю фазу утом-

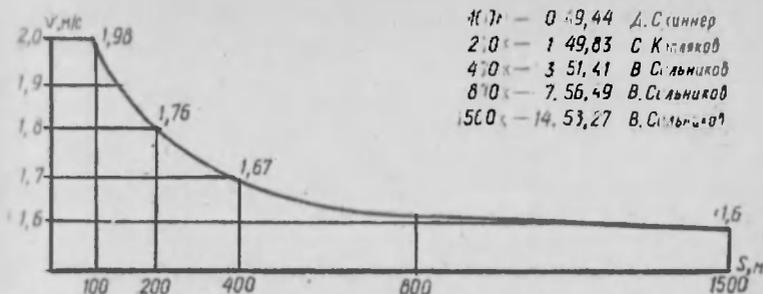
ления (фаза компенсированного утомления), а период снижения скорости — 2-ю фазу утомления (фаза декомпенсированного утомления). Указанные фазы наступают у пловцов через различное время, что и характеризует их выносливость.

Физиологическая характеристика плавательной выносливости. Совершенствование выносливости связано с преодолением утомления. Если пловец тренируется без утомления, то от этого его выносливость не увеличивается. Только работа с преодолением утомления активизирует приспособительные функции и способствует развитию выносливости.

Утомление обусловлено взаимодействием мышечной работы и вегетативных функций, сопровождаемых сложными биохимическими процессами. Мышечная работа в той или иной мере связана с активизацией вегетативных функций. Их активность прежде всего зависит от количества мышечных групп, участвующих в работе, интенсивности выполняемой работы и внешних условий. Чем меньше количество мышечных групп участвует в работе, тем в меньшей степени вегетативные функции реагируют на выполняемую работу. Например, работа на эргографе ограничивается утомлением преимущественно отдельных групп мышц, и продолжительность работы в основном зависит от их выносливости. Такое утомление называется *локальным (местным)*.

В плавании участвует почти весь аппарат опоры и движения при самом активном участии автономной нервной системы, поэтому утомление называется *глобальным (общим)*. При этом субъективное ощущение пловца («захватка воздуха») часто наступает раньше, чем отказ от работы.

Выносливость пловца в равной мере продолжительность выполняемой работы зависит от интенсивности плавания. С увеличением интенсивности плавания утомление наступает быстрее и отрезок проплывания дистанции укорачивается. На рис. 4 показана зависимость скорости плавания от длины дистанции. Кривая настолько закономерна, что по ней можно вести расчет вероятных результатов на промежуточных дистанциях (300, 500, 600 м и т. д.). Угол наклона кривой соответствует степени снижения скорости плавания при увеличении дистанции.



100 м — 0 49,44 Д. Спиннер
 200 м — 1 49,83 С. Клячков
 400 м — 3 51,41 В. Сильников
 800 м — 7 56,49 В. Сильников
 1500 м — 14 53,27 В. Сильников

Рис. 4. Зависимость скорости плавания вольным стилем от длины дистанции (по данным мировых рекордов на июнь, 1979 г.)

Рядом исследований, проведенных в спорте (В. С. Фарфель, Н. Н. Яковлев, Б. С. Гиппенрейтер и др.), в какой-то мере был раскрыт механизм повышения работоспособности, который в общих чертах сводится к следующему. После выполнения интенсивной работы в результате утомления работоспособность снижается. Затем начинается ее восстановление, и в заключительной фазе она превышает начальный свой уровень. Чем большие нагрузки применялись в тренировочном занятии, тем больше разрыв между энергозатратами и их восстановлением и, следовательно, тем интенсивней будут протекать восстановительные процессы и больше возрастет уровень суперкомпенсации. Характер кривой работоспособности примерно повторяет кривую изменения возбудимости, отмеченную в свое время Н. Е. Введенским. Как подтверждают исследования, суперкомпенсационная фаза свойственна не только отдельной возбудимой ткани, но и целому организму. В экспериментах с поднятием тяжестей Е. С. Гиппенрейтеру удалось установить, что повторение работы в период сверхвосстановления содействует весьма высокому тренировочному эффекту. В плавании подобное явление исследовалось В. В. Вржесневским (1964): Им показано, что величина суперкомпенсационной фазы в плавании зависит от величины предшествующих нагрузок, т. е. от степени утомления. Наибольший эффект тренировки возможен в фазе суперкомпенсации после наиболее интенсивной тренировочной нагрузки.

Если повторение значительных нагрузок будет совпадать с фазой восстановления, то становится очевидным,

что работоспособность пловца снизится и через определенное время, на фоне остаточного утомления, приведет к истощенности.

Однако следует учитывать, что кривая восстановления не одинакова для всех органов и систем. Длительность фаз утомления, восстановления и сверхвосстановления зависит от участия в работе отдельных органов и систем, их инертности и от характера нагрузки. Например, сердечно-сосудистая система реагирует на нагрузку быстрее, чем дыхательная, но вместе с этим она и быстрее восстанавливается. Характер нагрузки сказывается на кривой восстановления следующим образом. Например, упражнения для развития силы гребковых движений (раздельное плавание и др.) в большей мере утомляют мышцы, поэтому фаза их восстановления при выполнении этих упражнений несколько затянется. Упражнения для развития выносливости в большей мере скажутся на деятельности внутренних органов. Их восстановительный период может быть значительно длиннее, чем период восстановления мышц.

Зависимость выносливости от интенсивности плавания. Утомление мышц наступает тем раньше, чем больше величина усилия, развиваемого ими во время работы. При максимальном статическом усилии уже в течение 1-й секунды заметен значительный спад этого усилия. С такой же закономерностью снижается и сила гребковых движений, замеренная на месте с помощью жесткого соединительного шнура. Наибольшие показатели силы отмечаются в первом гребковом движении. Затем она резко падает, и дальнейшее снижение чаще всего имеет ступенчатый характер. Второй уровень усилий составляет 80—86% максимального и удерживается в течение 12—16 с, после чего отмечается новгородский спад на 8—11 Н, т. е. на 75—78% от максимального. Третий уровень усилий удерживается более длительное время, до 40—50 с от начала работы.

Следует отметить, что во время плавания такого ступенчатого снижения силы гребковых движений не наблюдается. Кинетическая энергия гребковых движений на месте создается преимущественно за счет массы отбрасываемой воды. Во время поступательного движения вперед кинетическая энергия создается в большей мере за счет скорости обрасывания воды, что, как правило,

ведет к снижению КПД и уменьшению силы тяги. В данном случае усилие гребковых движений рук, развиваемое пловцом на месте, на кривой Хилла занимает положение ближе к оси ординат, на которой ведется отметка показателей силы. Во время продвижения вперед скорость гребковых движений пловца увеличивается, а их усилие,

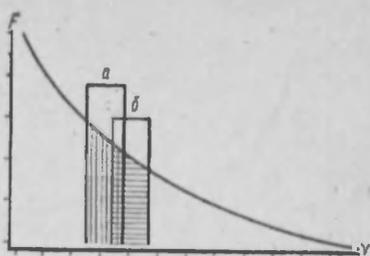


Рис. 5. Зависимость силы тяги от скорости продвижения пловца: а — порог «плавания» на месте, б — порог плавания с продвижением

как показано на кривой (рис. 5), снижается. На рис. 6 приведен график зависимости прилагаемых усилий от величины дистанции. Прилагаемые усилия определялись по силе сопротивления воды, которое преодолевал пловец на данной дистанции. По кривой видно, что с увеличением дистанции (продолжительности плавания) скорость и сила гребковых движений снижаются не на одинаковую величину. На дистанции 1500 м по сравнению со 100-метровой дистанцией скорость снижалась на 18%, а сила тяги на 55,8%. Наибольшее снижение усилий при максимальной скорости плавания происходит в течение первых 20–30 с, когда мышечная деятельность обеспечивается анаэробной производительностью.

Причиной резкого спада скорости является большое количество продуктов анаэробного распада, накапливающихся в самих мышцах. Субъективное ощущение усталости проявляется в том, что «руки и ноги отказываются работать, деревенеют». Выносливость при данной работе определяется хорошо налаженной анаэробной производительностью макроэнергетических соединений и силой нервных процессов, способных преодолеть острое чувство усталости.

В течение 1-й минуты плавания тяговое усилие пловцов снижается на 30%. Причиной этого является возрастание кислородного дефицита, с которым не в состоянии справиться дыхательный аппарат и сердечно-сосудистая система. Субъективное ощущение утомления — «кошмарная усталость». Выносливость при таком темпе плавания оп-

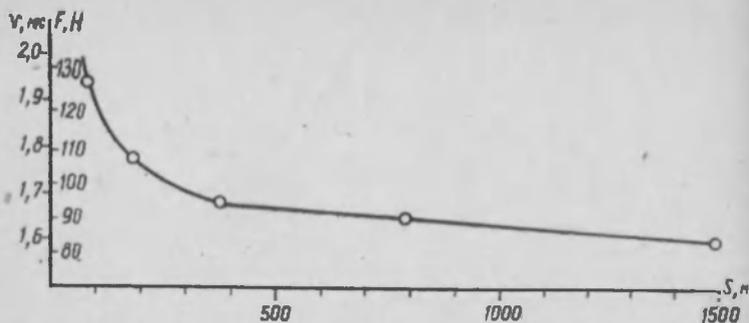


Рис. 6. Зависимость силы тяги от длины дистанции (по данным мировых рекордов на апрель 1979 г.)

ределяется степенью тренированности дыхательной и сердечно-сосудистой систем.

Максимальная скорость на 400 м доступна пловцам при снижении тяговых усилий на 50% от максимальных. Эта дистанция требует помимо перечисленных факторов максимальной деятельности дыхательного аппарата и сердечно-сосудистой системы в течение 4—5 мпп. Результаты плавания в этой зоне значительно зависят от гликолитической производительности. Субъективное ощущение усталости — «нехватка воздуха».

При плавании на дистанцию 1500 м тяговые усилия снижаются всего на 5—7% по сравнению с дистанцией 400 м. Выполняемая пловцом работа на этой дистанции происходит в аэробных условиях.

Приведенные, по результатам мировых рекордов, данные изменения силы гребковых движений являются объективными показателями, которые могут служить критерием оценки интенсивности плавания на различные дистанции.

При расчетах интенсивности определение силы гребковых движений с помощью инструментальных методик не обязательно. Следует помнить о том, что скорость плавания является производной силы гребковых движений и что увеличение скорости требует увеличения тяговых усилий в квадрате. Поэтому силу гребковых движений можно определить по формуле:

$$F = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2 F_2.$$

где F_1 и F_2 — искомая и известная сила, V_1 и V_2 — их скорости

Общая и специальная выносливость в плавании. Выполнение любых физических упражнений обеспечивается функционированием одних и тех же органов и систем. Поэтому существует некоторая общность в физиологическом обеспечении деятельности двигательного аппарата. Чем интенсивнее и длительнее любая выполняемая работа, тем интенсивнее функционируют обслуживающие ее органы. Этот обобщающий характер деятельности организма человека создает условия для переноса качества выносливости с одного вида мышечной деятельности на другой. Однако этот перенос относится в большей степени к вегетативным функциям и в меньшей — к аппарату опоры и движения.

Развитие общей выносливости основано на совершенствовании аэробных возможностей спортсмена. Пловцы-стайеры проходят без предварительной подготовки кроссовые дистанции на беговых дорожках и лыжах по III и II спортивным разрядам.

Чем меньше мощность работы в циклических упражнениях, тем меньше зависит результат от технического мастерства и больше — от аэробных возможностей спортсмена (В. М. Зашиорский, 1966). При умеренной мощности работы значение аэробной производительности становится преобладающим. Все виды спорта в этой зоне приобретают общий характер, а выносливость к такого рода работе можно назвать общей выносливостью. Развитие общей выносливости для пловцов приобретает тем большее значение, чем длиннее дистанция, на которой они специализируются.

В отличие от общей специальная выносливость имеет многогранный характер. В том или ином виде спорта ее часто именуют скоростной или силовой выносливостью, выносливостью к статическим напряжениям и т. д. По отношению к плаванию чаще всего применяется термин «скоростная выносливость», хотя выносливость на дистанции 100 м значительно отличается от выносливости на дистанции 400 м. Энергетическое обеспечение и характер биохимических реакций на эти дистанции различны так же, как и средства и методы их совершенствования. Поэтому каждая из дистанций имеет свою специальную выносливость, а термин «скоростная выносливость» имеет

общий характер, который часто нивелирует специфику тренировки пловцов на длинные и короткие дистанции. Кроме того, этот термин не совсем отвечает существу понятия, так как не конкретизирует те физические качества, на развитие которых должен быть направлен тренировочный процесс.

Скорость продвижения пловца зависит от силы гребковых движений, а выносливость на дистанции, особенно на спринтерской (кроме обслуживающих вегетативных систем), — от сложной координационной деятельности мышечного аппарата, начиная с отдельных мышечных волокон и кончая группами мышц и их комплексами. Немаловажную роль в длительности приложения усилий играет характер чередования напряжения и расслабления, в особенности соотношение рабочего и подготовительного периода. От времени подготовительного периода зависит относительный отдых мышц, необходимый для частичного восстановления силы, которая по сравнению с другими качествами аппарата опоры и движения является наиболее подверженной утомлению.

Темп выполнения каждого упражнения отличается только ему присущей координацией двигательных и вегетативных функций. Собственно это и создает понятие специальной выносливости не только для различных дистанций, но и для различных пловцов. Поэтому для повышения выносливости в различных упражнениях необходим различный набор соответствующих средств и методов.

Методика определения выносливости в плавании. Методики определения выносливости весьма разнообразны и разделяются на две группы: педагогические и физиологические.

Педагогические методы заключаются в измерении работоспособности пловца по изменению скорости его плавания. Наиболее распространенными являются следующие варианты.

1. Устанавливается предельное время работы с заданной интенсивностью (в максимальном темпе и в 95, 90, 85% от максимального).

2. Определяется время проплывания отдельных частей дистанции. Например, на дистанции 100 м определяют снижение скорости на последнем отрезке 25 м по сравнению с первым.

3. Устанавливается время проплывания 10 и 20 отрезков дистанции (25, 50, 75 м и т. п.) с регламентированным отдыхом между ними.

4. Незсредственно на соревновательных дистанциях выносливость можно определить по «запасу скорости», где по разнице во времени проплывания дистанции с максимальной скоростью. В этих целях может быть использована формула:

$$ИВ = t\Delta - (n \cdot t_0 + C),$$

где ИВ — индекс выносливости, $t\Delta$ — время проплывания дистанции, n — количество эталонных отрезков на дистанции (количество «бассейнов»), t_0 — лучшее время на эталонном отрезке, C_T — «выигрыш на старте и поворотах» (применяются постоянные числа: 2 с для старта и 0,7 с для поворота).

Например, результат — 59 с, а лучшее время на эталонном отрезке (50 м) с толчка 27 с. Тогда $ИВ = 59 - (2 \cdot 27 + 2,7) = 9,3$. Индекс выносливости для различных способов плавания неодинаков. Важно, что чем меньше его величина для данного способа и дистанции, тем больше выносливость пловца.

Педагогические методы определения выносливости констатируют степень готовности спортсмена к проплыванию той или иной дистанции. Однако они не отвечают на вопрос, за счет каких факторов можно повысить работоспособность пловца, что лимитирует выбор средств и методов дальнейшего спортивного совершенствования. Построение тренировочного процесса в таких случаях, как правило, основано на «глобальном» методе, т. е. применении комплекса общих упражнений для совершенствования анаэробной и аэробной производительности. Естественно, что при этом варианте тренировочный процесс далек от оптимальных нагрузок и требует от пловца максимальных усилий.

Подробный и качественный анализ выносливости можно получить с помощью физиологических методов исследования систем организма, отдавая предпочтение наиболее информативным показателям.

1. В целях исследования дыхательной системы, от которой в значительной степени зависит интенсивность аэробной производительности мышц, ведется постоянный контроль над спирометрическим показателем.

ми, ЖЕЛ, силой вдоха и выдоха и т. п. Измеряются показатели «внутреннего дыхания» — кислотно-щелочное равновесие крови, кислородные показатели и т. п.

2. Наиболее доступными и информативными показателями влияния физических нагрузок на деятельность сердечно-сосудистой системы являются частота сердечных сокращений и длительность периода восстановления пульса (реституция), в особенности в первые минуты после проплывания дистанции.

3. Наиболее информативным показателем состояния аппарата опоры и движения пловца служит сила гребковых движений (динамометрия). С помощью динамометрических приборов определяют характер изменения силы гребковых движений под влиянием утомления. О состоянии двигательного аппарата пловца также судят по контрольному времени раздельного плавания на различные отрезки дистанции. При постоянном контроле скорости раздельного плавания с помощью одних рук или ног направленно изборают упражнения для совершенствования силы более слабых конечностей.

Перечисленные методы можно применять в комплексе и раздельно. Для спринтерских дистанций более информативными являются показатели состояния аппарата опоры и движения и сердечно-сосудистой системы при проплывании отрезков в максимальном темпе. Для стайерских дистанций более существенны показатели деятельности и сердечно-сосудистой системы, а значение показателей динамометрии по мере удлинения дистанции снижается.

При оценке выносливости необходимо учитывать индивидуальность пловца — его антропометрические данные и функциональные особенности различных органов и систем. Этот вопрос изучен недостаточно, поэтому в данный момент приходится ограничиваться лишь некоторыми показателями, вытекающими из общих биологических закономерностей. Например, у более рослых пловцов удельный вес внутренних органов несколько меньше, чем у низкорослых. Это объясняется тем, что рост в основном увеличивается за счет длины конечностей. Как правило, такая категория пловцов по своим морфологическим и функциональным показателям имеет выраженную склонность к спринту. Морфологические и функциональные особенности накладывают определенный отне-

чаток и на нервную систему этих лиц. Тип их нервной деятельности носит «взрывной» характер, они хуже переносят большие нагрузки, более раздражительны и т. п. Также установлено, что субъекты, имеющие большую массу тела, менее выносливы, так как она требует дополнительных энергозатрат.

Недостаточность знаний конституциональных особенностей спортсменов значительно осложняет индивидуальный подход. Часто методики, пригодные для одного морфологического типа спортсменов, без оговорок рекомендуются спортсмену совершенно другого типа. Сплошь и рядом индивидуальный план тренировок прославленного рекордсмена мира берется на вооружение целой сборной команды, состоящей из спортсменов с самой различной конституцией тела.

Следует отметить, что в настоящее время имеется более ста физиологических методов исследования, с помощью которых можно давать оценку деятельности внутренних органов и систем (определение минутного объема крови, анаэробных и аэробных возможностей, максимального потребления кислорода, объема полостей сердца, электрических явлений в мышце сердца, минутного объема дыхания, оксигенации крови, основного обмена, электромиография мышц, электроцифалография, анализ крови и т. п.). Однако методики исследования большей частью настолько громоздки, что их применение лишает возможности проводить тренировочные занятия. Поэтому, несмотря на их информативность и достоверность, они применяются довольно редко, чаще в национальных сборных командах, у пловцов высокого класса и т. п.

Подвижность биоинженьеров. Подвижность биоинженьеров в суставах — качество аппарата опоры и движения человека, позволяющее выполнять движения с большой амплитудой и в направлениях, предусмотренных двигательной задачей. В отдельных элементах техники плавания от степени развития подвижности зависит механический КПД гребковых движений. Наиболее важную роль в спортивном плавании играют:

подвижность голеностопных суставов (подоперенное сгибание) при плавании способами кроль и дельфин;

подвижность плечевых суставов (круговое вращение плеча в сагиттальной плоскости) при плавании способами кроль и дельфин;

подвижность суставов колен при проницающем движении голенью для «захлеста» в основной и завершающей фазах гребкового движения ногами способом брасс.

Подвижность суставов зависит от их формы, а также от эластичности мышц и связок, обслуживающих сустав. Различают активную и пассивную подвижность. Активная подвижность достигается только за счет мышц, обслуживающих сустав, пассивная создается за счет внешних сил и сил инерции и всегда больше активной. Подвижность, выработанная внешними силами, одновременно увеличивает активную подвижность. Поэтому для совершенствования подвижности в основном применяют упражнения с элементами внешнего воздействия на мышцы и связки, укрепляющие данный сустав. Однако использование только одной среды в качестве внешней силы в процессе плавания для развития подвижности голеностопных суставов является недостаточным. Сила опоры стопы о воду во время плавания способом кроль, например, не превышает 130—140 Н.

Подвижность нижних конечностей в плавании обусловлена как активной, так и пассивной силой гидродинамического давления. Подвижность плечевого сустава зависит от активного действия мышц, обслуживающих его, и частично от инерции движения биозвеньев руки.

При прочих равных условиях эластичность связок и мышц зависит от температурных условий. При повышенной температуре подвижность суставов увеличивается. Также значительно увеличивается она и под воздействием специально направленной разминки и массажа суставов и связок.

«Запас» подвижности биозвеньев способствует более техничному выполнению гребковых движений и рациональному использованию двигательных возможностей пловца. Многие пловцы не достигли спортивных успехов, соответствующих их упорству в тренировках и силовым возможностям, лишь потому, что пренебрегли развитием подвижности голеностопных суставов.

II. ГИДРОМЕХАНИКА СПОРТИВНОГО ПЛАВАНИЯ

В кораблестроении существует два основных варианта улучшения скоростных качеств судна. Первый — повышение мощности двигателя и второй — улучшение гидро-

динамических качеств корпуса, снижение сопротивления движению и повышение эффективности двигателей.

Перед пловцами, стремящимися достичь хороших спортивных результатов, стоят те же задачи. Увеличение мощности «двигателя» достигается тренировкой физических и функциональных возможностей организма, а гидродинамические качества — обтекаемость тела и продуктивность гребковых движений — совершенствуются в процессе овладения техникой плавания.

Одним из средств технического совершенствования пловцов является теоретическая их подготовка, направленная на освоение законов гидромеханики применительно к телу и возможностям аппарата опоры и движения человека, а также к внешним условиям спортивного плавания.

Общий курс гидромеханики, или механики жидкой сплошной среды, разделяется на гидростатику и гидродинамику. Гидростатика изучает законы равновесия жидкости и ее взаимодействие с твердыми телами, находящимися в ней в состоянии относительного покоя. Гидродинамика изучает взаимодействие жидкости с движущимися в ней твердыми телами.

Физические свойства водной среды

Жидкость занимает промежуточное положение между твердым телом и газом. Жидкости, как и газы, относятся к текучим телам, т. е. обладают свойством текучести. Однако если газы могут сжиматься в десятки и сотни раз, то жидкости почти не сжимаются, иными словами, они практически несжимаемы. В отличие от газов жидкости сохраняют в каком-либо сосуде свой объем и имеют свободную поверхность.

В отличие от твердых тел жидкости обладают хорошей подвижностью и деформируются, но, как и твердые тела, они характеризуются сопротивляемостью к сдвигу. Это свойство жидкости затрудняет движение тел в ее среде и вместе с тем создает опору при выполнении локомоций. Сопротивляемость жидкости зависит от ее плотности и вязкости.

Плотность воды. Плотность воды (ρ) определяется отношением ее массы (m) к объему (V): $\rho = \frac{m}{V}$ кг·с²/м⁴.

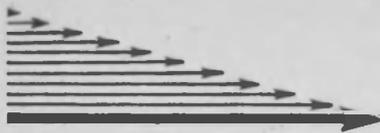


Рис. 7. Изменение скорости движения слоев жидкости под влиянием внутреннего трения ее частиц

Для сравнения плотности тел введено понятие относительной плотности, которое приемлемо для практических расчетов в биомеханике. За единицу относительной плотности принята плотность воды при температуре $+4^{\circ}\text{C}$.

Дистиллированная вода при нормальном атмосферном давлении в 775 раз плотнее воздуха. Плотность воды зависит от примесей, которые содержатся в ней. Например, в открытых бассейнах Львова 1 л воды содержит 0,61 г солей, в Балтийском море — от 3 до 8 г, в Черном море — до 20 г, а в океанах — в среднем 35 г. Количество растворимых солей в воде увеличивает ее относительную плотность. Так, относительная плотность в плавательном бассейне — 1,0006, в Балтийском море — 1,003—1,008, Черное море — 1,02, в океане — 1,035.

Вязкость воды. Вязкостью называют свойство жидкости тормозить движение частиц внутренним касательным напряжением. Оно обусловлено силами трения между перемещающимися слоями жидкости. Поэтому вязкость называют еще и внутренним трением.

Наглядное представление о действии сил вязкости дает рис. 7, на котором показано движущееся тело, а параллельные линии со стрелками изображают величину скорости отдельных слоев жидкости. Как видно, ближайший слой движется со скоростью тела, и по мере отдаления от тела скорость движения слоев жидкости замедляется.

В механике вязкость жидкости характеризуется коэффициентом вязкости μ . Чем выше этот коэффициент, тем больше при прочих равных условиях касательное напряжение в жидкости, тем больше тормозящих влияние сил, вызываемых вязкостью среды.

Для воды, как и для других капельных жидкостей, с увеличением температуры коэффициент вязкости снижается и с увеличением давления незначительно повышается. В условиях спортивного плавания коэффициент вязкости изменяется мало, и для практических расчетов можно пользоваться величиной $0,01 \text{ кг}\cdot\text{с}\cdot\text{м}^{-2}$.

При оценке кинематических характеристик, возникающих при обтекании тел жидкостью, пользуются кинематическим коэффициентом вязкости ν , который представляет собой отношение коэффициента вязкости к плотности жидкости.

Влияние водной среды на организм человека

Влияние давления. Человек адаптирован к атмосферному давлению, которое на уровне моря при температуре 0°C равно $101\,325\text{ Па}$ ($\approx 1013,3\text{ гПа}$). С изменением метеорологических условий давление воздуха изменяется незначительно, и эти изменения здоровый человек почти не ощущает.

Погружение тела в воду на глубину 1 м вызывает дополнительное давление $101,3\text{ гПа}$. Даже погружения на меньшую глубину весьма ощутимы для человека. Части его тела, в которых заключены воздушные полости (легкие, дыхательные пути, желудок, кишки, среднее ухо, околоносые пазухи и т. п.), в соответствии с законом Бойля-Мариотта сжимаются пропорционально оказываемому давлению. Поэтому наружное давление воздуха в замкнутых полостях создает отрицательное давление. Это давление вызывает острую боль в барабанной перепонке, отделяющей среднее ухо от наружной среды; уже на глубине $3\text{—}5\text{ м}$ может произойти ее разрыв. Острую боль на этой же глубине вызывает и разрежение воздуха в околоносовых пазухах. Однако отрицательное давление в среднем ухе и околоносовых пазухах можно легко выровнять полостью рта давлением воздуха, поступающего из легких через носоглотку и вставив в трубы.

Вода оказывает давление на туловище со всех сторон, ее сопротивление заметно при входе уже на глубине, измеряемой десятками сантиметров. При вдохе мышцы могут преодолевать сопротивление всего лишь $1,4\text{ Н/см}^2$. Поэтому при погружении центра объема грудной клетки на глубину 1 м вдох трудно осуществить даже для тренированных пловцов, а для нетренированных эта глубина ограничивается $0,45\text{—}0,6\text{ м}$. Во время спортивного плавания глубиной погружения центра объема грудной клетки в среднем $0,2\text{ м}$, и она создает дополнительное сопротивление вдоху $0,3\text{ Н/см}^2$. В проведенных В. В. Румянцевым

экспериментах с пловцами-подводниками установлено, что дыхание через трубку диаметром 22 мм при спокойном плавании возможно на глубине 0,4 м. На глубине 0,5 м большинство пловцов не закончили дистанцию 100 м.

По причине повышенного наружного давления во время плавания брюшное дыхание у пловцов почти исключено, и мышцы, обслуживающие грудную клетку при вдохе, несут повышенную нагрузку.

Пловцы испытывают затруднение и при выдохе в воду. Чтобы его усилить, они прибегают к более активному действию мышц живота.

Давление воды оказывает и положительное влияние на функционирование некоторых органов и систем. В частности, состояние невесомости и горизонтальное положение тела в воде почти полностью разгружают мышцы позвоночного столба, которые несут значительную и длительную нагрузку при вертикальном положении тела. Кроме того, при вертикальном положении тела сила сердечных сокращений направлена не только на преодоление сопротивления, оказываемого стенками сосудов движению крови, но и на преодоление веса крови во время тренировки ее снизу вверх т. е. от ног к сердцу и от сердца к голове. Во время плавания циркуляция крови происходит в горизонтальном положении тела и ее вес не играет той роли. Поэтому даже при максимальных нагрузках пульс у пловцов не достигает величин, наблюдаемых при целом ряде упражнений на суше.

Влияние температурных условий. Теплоемкость воды в 4 раза превышает теплоемкость воздуха, и теплопроводность воды в 25 раз выше, чем теплопроводность воздуха. Температура воды ощущается человеком значительно сильнее, чем температура воздуха. Температура воздуха 50° С не представляет опасности для организма человека, а такая же температура воды вызывает ожог тела.

Контакт с водой осуществляется кожей, в которой расположено по сравнению с другими органами самое большое количество нервных рецепторов и кровеносных сосудов. В связи с этим температура воды оказывает весьма значительное воздействие на организм человека. Водные процедуры служат прекрасным средством закаливания организма, а также применяются для профилактики и ле-

чения целого ряда заболеваний. Водолечение является одной из самых древних отраслей медицины.

Воздействуя на организм человека, водная среда оказывает весьма существенное влияние и на моторику пловцов. От температуры душа и температуры воды в бассейне часто зависят спортивные результаты пловцов и эффективность заготовок с группами здоровья.

Влияние температуры воды на нервную систему. Механизм реакции нервной системы на раздражения водой различной температуры осуществляется по типу генерализованных рефлексов. Кожа содержит множество нервных рецепторов, которые воспринимают температурные раздражения, поступающие в центральную и автономную нервную системы. Там раздражение дифференцируется и направляется в соответствующие органы и системы.

Кроме того что нервная система является проводником температурных раздражений воды, ее состояние изменяется под воздействием различных температурных условий. Так, при кратковременном раздражении холодом или теплом наступает ее возбуждение, а при более длительном раздражении — торможение. Особенно большой тормозящий эффект оказывает теплая вода. Поэтому опытные пловцы перед занятием не принимают длительный горячий или холодный душ, а чередуют его с прохладным.

При погружении в воду чувствительность кожи понижается, а чувствительность ее к боли почти исчезает. Даже при глубоком порезе ноги о трещину в кафельной стенке бассейна пловец ощущает только механическое надавливание в месте пореза.

Влияние на сердечно-сосудистую систему. Роль кожи не ограничивается механической защитной функцией. Она чрезвычайно богата снабжена кровеносными сосудами, что играет решающую роль в сохранении температурного баланса организма. Известно, что при расширении кожных капилляров они могут вместить до 1/3 всей крови, циркулирующей в организме человека. Поэтому температура воды оказывает существенное влияние и на нераспределение крови в организме. Так, в течение 1-й минуты пребывания тела в прохладной воде сосуды, расположенные на поверхности тела, суживаются, кожа бледнеет. Эта первая фаза называется анемической и

длится около 1 мин. Затем следует вторая фаза (активная гиперемия). Сосуды расширяются, кожа розовеет и становится теплой. Во время расширения капилляров кожи тонус стенок сосудов сохраняется, что содействует усилению циркуляции крови. При дальнейшем охлаждении кожи наступает третья фаза (пассивная гиперемия), при которой стенки сосудов остаются расширенными, но их тонус падает вследствие утомления обслуживающего нервного механизма. В результате скорость кровотока снижается, отдельные участки кожи синюют, так как возникает застой крови в капиллярах.

Описанные фазы тем резче выражены, чем больше разница между температурой кожи и воды. Известно, что температура на различных участках кожи неодинакова. Самая высокая температура кожи в подкрыльцовой ямке ($36,5—36,6^{\circ}\text{C}$) и самая низкая — на подошвах ног (33°C). Поэтому подкрыльцовые впадины являются наиболее восприимчивыми к холодной воде, а подошвы ног — к горячей. Температура воды, не вызывающая ощущения тепла или холода, называется индифферентной ($34—35^{\circ}\text{C}$). Понятие индифферентной температуры весьма относительно, так как зависит от предварительного температурного воздействия. Например, после холодного душа или зимой в открытом бассейне будет казаться индифферентной температура воды $28—29^{\circ}\text{C}$.

Нетрудно представить себе, что при одинаковом количестве циркулирующей крови при сужении сосудов в одной части тела в других частях сосуль должны либо расширяться, либо в них должен ускориться ток крови и соответственно повыситься артериальное давление. При погружении человека в воду эти явления наблюдаются одновременно. Если сосуды кожи суживаются, то сосуды, находящиеся внутри тела, расширяются. Исключение в этом случае составляют сосуды почек и сосуды гладкой мускулатуры органов пищеварения, которые расширяются и суживаются в унисон с сосудами крови. В связи с этим лицам с заболеванием почек во избежание обострения воспалительных процессов противопоказано плавание в прохладной воде.

Как уже отмечалось, сужение сосудов крови одновременно повышает артериальное давление. В наших экспериментах при температуре воды 26°C и воздуха 10°C в первой фазе охлаждения артериальное давление у 10 ис-

пытуемых повысилось на $21,44 \text{ уд/мин} \pm 3,23$, на 4-5-й минуте разница в артериальном давлении составляла всего $9,1 \pm 3,7 \text{ уд/мин}$.

Влияние температуры воды сказывается на частоте сердечных сокращений. Повышенный пульс у пловцов, находящихся без движения в воде, свидетельствует о сужении кровеносных сосудов тела.

Влияние на кровь. В результате действия давления и температуры воды на сердечно-сосудистую систему происходят существенные изменения и в составе крови. В частности, значительно увеличивается количественный состав форменных элементов крови: эритроцитов, лейкоцитов и гемоглобина. Это увеличение уже наблюдается после однократного пребывания в воде. Однако через 1,5-2 ч после тренировки состав крови приходит почти к нормальному уровню. При систематических тренировках уровень форменных элементов крови у пловцов повышается довольно длительное время даже после того, как пловец прекратил тренировочные занятия.

Повышение уровня форменных элементов крови от однократного пребывания в воде связано с вышеописанными сосудистыми реакциями, в результате которых происходит перемещение значительного количества крови, находящейся до этого в депонированном состоянии.

Влияние на дыхание. Давление на грудную клетку и брюшную полость весьма существенно затрудняет дыхание в воде. Кроме давления воды, на акт дыхания заметное влияние оказывает и ее температура. После быстрого входа в воду наблюдаются глубокий резкий вдох, задержка на вдохе, что нарушает ритм дыхания. Вначале оно замедляется, при этом вдох становится глубоким, а выдох неслышим. Несколько позже частота дыхания увеличивается, но характер вдоха и выдоха сохраняется.

Описанные явления выражены тем сильнее, чем большая разница между температурой воды и тела. Поэтому, для того чтобы начальное обучение плаванию было эффективным, температура воды должна быть близкой к индифферентной ($29-30^\circ\text{C}$).

Влияние на мышцы. Раздражения, оказываемые водой различной температуры посредством нервных рецепторов, заложенных в коже, оказывают определенное влияние и на мускулатуру тела. Холодная вода повышает тонус мышц, а теплая — его снижает.

Интересно, что при быстром погружении даже какой-либо части тела в холодную воду тонус мышц повышается на всех участках тела. Дальнейшее погружение остальных частей тела повышает тонус более равномерно. Поэтому некоторые пловцы перед ответственным стартом не решаются, чем прыгнуть в воду, смачивают тело водой, набрав ее в ладони из бассейна.

Повышение тонуса вызывает дополнительное напряжение мышц и увеличивает энергозатраты пловца.

Влияние на терморегуляцию. Организм человека имеет целый ряд приспособлений для поддержания температуры тела. Общая регуляция осуществляется промежуточным мозгом (подбугорная область, который регулирует постоянство внутренней температуры тела, необходимой для нормальной жизнедеятельности организма). Несмотря на резкие изменения температуры окружающей среды, температура тела изменяется незначительно и, как правило, связана в большей степени с интенсивностью работы, выполняемой в воде.

Регулировку температуры тела в воде можно выразить следующим уравнением:

$$M - C - E = \pm S$$

где \dot{M} — количество тепла, производимое в процессе мышечной работы и обмена веществ, C — приток или отдача тепла за счет излучения и конвекции, E — отдача тепла за счет испарения с влажных участков кожи, находящихся на поверхности воды, S — суммарный теплообмен.

Правая часть уравнения остается почти без изменений, тогда как составляющие левую часть его могут изменяться в широком диапазоне. Следовательно, при увеличении M (притока тепла) увеличиваются C и E (потери тепла). При увеличении потери тепла, допустим, связанного с понижением температуры воды, неизбежно повышается обмен веществ, что подтверждают анализы крови и мочи. Защитной реакцией на переохлаждение организма является дрожание мышц, которое сопровождается усилением теплооблаживания. Кроме того, предварительное в действие вступает изолирующая функция кожи. Она проявляется в сужении кровеносных сосудов, вследствие чего теплопроводность кожи заметно снижается, так как анемизированная кожа — плохой проводник тепла.

Большое значение имеет толщина подкожной жировой основы. Она сравнительно бедна кровеносными сосудами, и ее роль в предохранении организма от переохлаждения носит часто изоляционный характер. Поэтому у спортсменов, занимающихся плаванием в течение длительного времени, увеличивается толщина теплоизолирующей подкожной жировой основы, большей частью за счет перехода жира из более глубоких слоев тела.

Второй защитной функцией от переохлаждения пловцов является увеличение количества вырабатываемого организмом тепла. Это подтверждается тем, что пловцы в отличие от спортсменов других специализаций очень быстро согреваются после выхода из воды.

Влияние на обмен веществ. Обмен веществ тесно связан с теплорегулирующей функцией организма. Когда тело находится в прохладной или холодной воде, для сохранения теплового баланса в соответствии с теплоотдачей повышается обмен веществ. Прохладная вода действует возбуждающе в одинаковой мере на процессы и ассимиляции и диссимиляции, стимулируя и нормализуя эти процессы. В ряде исследований отмечено, что повышение обмена веществ происходит в основном за счет сгорания безазотистых веществ — углеводов и жиров. Интенсивность этих процессов зависит не только от разности температур воды и тела, но и от привычки к данным температурным условиям и тренированности спортсменов. Из практики известно, что первые заплывы в воде вызывают у занимающихся состояние особого возбуждения, способствуют хорошему настроению, повышению аппетита и улучшению сна.

По мере привыкания к воде реактивность нервной системы несколько снижается, организм адаптируется к окружающей среде.

При снижении температуры среды и при повышении тренировочных нагрузок в организме начинается распад, кроме жиров и углеводов, белковых веществ, что заметно по интенсивному выделению с мочой мочевины и мочевой кислоты. Выделение продуктов распада белков с мочой наблюдается и у новичков, когда температура воды на первых занятиях ниже стандартных требований, а преподаватель стремится выполнить полностью программу назначенного урока. Поэтому в целом ряде пособий по плаванию справедливо обращается особое внимание на

Необходимость постепенного увеличения длительности занятий в прохладной воде.

Интересно отметить, что холодные процедуры рекомендуются для лечения ожирения. Однако лица, страдающие ожирением, нередко выражают беспокойство в связи с тем, что занятия плаванием повышают аппетит. Последнее не является отрицательным фактором и объясняется тем, что ожирение вызвано преобладанием процессов ассимиляции и некоторым отставанием процессов диссимиляции. Холодная вода активизирует и тот и другой процесс, уравнивает их, нормализует. Поэтому со временем при приеме одинакового количества пищи процесс накопления жира прекращается, а затем при регулярных занятиях плаванием снижается жировой баланс в организме.

Влияние на газообмен. Газообмен является составной частью обмена веществ. С понижением температуры воды увеличивается активность окислительных процессов: повышаются поглощение кислорода и выделение углекислоты. При этом, как показывают опыты Шарко, выделение углекислоты несколько больше, чем поглощение кислорода, в связи с чем увеличивается дыхательный коэффициент $\left(\frac{CO_2}{O_2} \right)$ и повышается интенсивность обмена веществ.

В отличие от прохладной теплая вода понижает активность окислительных процессов и обмена веществ. Мы замечаем иногда, что после длительного теплого душа исчезает аппетит, снижается двигательная активность, появляется сонное состояние. Обычно возбуждающий холодный или прохладный душ в таких случаях не помогает, а иногда действует угнетающе.

Влияние на мочеотделение. Мочеотделение находится в прямой зависимости от артериального давления и степени расширения сосудов почек, так как от того и другого зависит количество крови, фильтруемой в единицу времени. Прохладная вода в первой фазе охлаждения способствует сужению как кожных, так и почечных сосудов, а во второй фазе — их расширению. Как правило, у лиц, мало адаптированных, в прохладной воде возникают позывы к диурезу. Такое же воздействие на диурез оказывают кратковременный теплый и горячий душ. Длительное пребывание в холодной воде так же, как и

длительный горячий душ, снижает мочеобразование в почках.

Можно заключить, что оптимальная температура воды — это одно из условий продуктивности тренировки и успешного выступления на соревнованиях. Как показывает практика, самой рациональной является температура несколько ниже индифферентной (26—27°C). Она стимулирует деятельность сердечно-сосудистой системы, обмен веществ и окислительные процессы, активизирует мышечную деятельность и т. п.

Индифферентная температура воды не приемлема для тренировочного процесса. При интенсивных нагрузках она не обеспечивает вывода накапливающегося в организме тепла.

Холодная вода вызывает нежелательные резкие сдвиги в функционировании отдельных органов и систем, увеличивает энерготраты, снижает лабильность нервных процессов.

Поддержание тела у поверхности воды

Одним из главных условий, позволяющих человеку плавать (как и большинству животных), является возможность удерживать свое тело у поверхности воды благодаря незначительной разнице между плотностью тела и плотностью водной среды. Кроме того, при передвижении в воде возникают и гидродинамические силы, которые также частично используются пловцом для выхода тела на поверхность воды. Это достигается определенным положением тела и специальными движениями.

Высокое положение тела на поверхности воды необходимо не только для обеспечения дыхания. В спортивном плавании оно является одним из основных факторов, определяющих гидродинамическое качество пловца.

Обеспечение плавучести тела гидростатическим путем. Механика локомоций на суше и в воде имеет существенные различия.

В воде усилия человека распределяются несколько по-иному, чем на суше, плотность воды недостаточна для твердой опоры, что также затрудняет движения. Гравитационная сила, ощущаемая на суше, в воде сменяется гидростатической. По закону Архимеда она равна весу объема вытесненной телом жидкости.

Относительная плотность тела может во много раз превышать относительную плотность жидкости, но если вытесненный телом объем жидкости будет создавать гидростатическую силу, равную массе тела, то будет соблюдаться равенство действующих сил. Это учитывается в кораблестроении и изготовленные из металла корабли, относительная плотность которых во много раз превосходит относительную плотность воды, свободно плавают на ее поверхности.

Плавучесть. Величина плавучести тела определяется вертикальной силой давления, направленной в противоположную сторону силы тяжести и т. д. вверх. Если гидростатическая сила давления превосходит силу тяжести, то тело обладает положительной плавучестью. Если сила тяжести больше гидростатической силы, то тело приобретает отрицательную плавучесть. Если силы, действующие на тело, равны, то тело сохраняет нейтральную плавучесть.

Практически плавучесть тела можно измерять динамометром. В этих целях к испытуемому на пояском ремне прикрепляется груз, масса которого заведомо превосходит силу положительной плавучести. С помощью лески испытуемый соединяется с динамометром и погружается под воду.

Положительная и отрицательная плавучесть определяется разницей между массой груза (обычно достаточно 5 кг) и показателем динамометра. Нейтральной плавучестью будет в том случае, если показатель динамометра совпадает с массой груза.

Основными компонентами, определяющими плавучесть человека, являются относительная плотность и объем тела. Если относительная плотность — это относительно постоянная величина, то объем тела во время дыхания изменяется и может варьировать в значительных пределах в течение короткого промежутка времени.

Структурные единицы, из которых состоит тело человека, имеют различную относительную плотность. Например относительная плотность костей колеблется от 1,8 до 2. Относительная плотность мышцы у взрослого мужчины в среднем 1,06, у женщин и детей 1,04—1,05, сухожилия 1,125, первичной ткани 1,04, внутренних органов 1,04—1,07, жира 0,92—0,93. Тело человека на 65% состоит из воды.

Структурные элементы тела человека условно можно разделить на три группы: воду, тощую массу и жиры. Тощая масса тяжелее, а жиры легче воды. Таким образом, относительная плотность тела человека зависит от процентного соотношения тощей массы и жира. Тощая масса является активным компонентом, и по ее количеству можно судить о дееспособности и крепости организма человека в целом (исключая патологические случаи истощения). Труд и физические упражнения содействуют развитию активных компонентов и, как правило, ведут к увеличению относительной плотности тела. Поэтому по относительной плотности тела спортсмена можно судить о его физическом развитии, тренированности и т. п. Вместе с тем увеличение этого показателя у пловца ухудшает его гидродинамические качества, так как снижает положительную плавучесть. Однако выигрыш в дееспособности пловца, который связан с увеличением относительной плотности, существенно превышает влияние отрицательной плавучести. Подтверждением является тот факт, что относительная плотность тела у пловцов выше, чем у представителей многих других видов спорта.

В исследованиях, проведенных с большой группой львовских пловцов (Б. И. Снопоренко, 1968), обнаружена значительная разница как в величине относительной плотности тела у мужчин и женщин, так и в ее возрастной динамике. У мужчин она с возрастом неуклонно увеличивается, ее наибольшая величина отмечается в самой старшей группе спортсменов. Разница показателей в младшей и старшей возрастных группах мужчин составляет 0,032 (1,053—1,085). В возрастных группах женщин эта разница значительно меньше — 0,008, а самые высокие показатели регистрируются не в старшей группе, а в группе 15—16 лет. В этих же исследованиях с большой достоверностью была установлена для всех возрастных групп зависимость относительной плотности тела от тренированности.

Из приведенных данных может сложиться представление, что с увеличением возраста и тренированности пловцов плавучесть ухудшается, так как относительная плотность тела — один из факторов, определяющих ее уровень, увеличивается. Однако это не совсем так. С возрастом и с повышением тренированности у пловцов значительно увеличивается жизненная емкость легких

(ЖЕЛ), а следовательно и глубина вдоха. При вдохе увеличиваются объем тела и его положительная плавучесть.

Объем тела. У тренированных пловцов нередки случаи, когда ЖЕЛ превышает 7 л. Поэтому, несмотря на большую относительную плотность тела высококвалифицированных пловцов, их ЖЕЛ содействует повышенной плавучести и в некоторых случаях весьма значительно.

Таблица 3

Показатель	Возраст, лет						
	9-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-25
Мужчины							
Положительная плавучесть	5,2	7,2	9,0	14,7	15,4	13,7	13,4
Отрицательная плавучесть	-11,0	-11,6	-17,2	-28,0	-33,4	-35,3	-36,0
Плавучесть на среднем вдохе	-3,0	-2,3	-4,5	-6,7	-8,8	-10,9	-12,2
Относительная плотность	1,060	1,056	1,066	1,075	1,078	1,082	1,085
ЖЕЛ	2,200	2,600	3,150	4,700	5,350	5,800	5,830
Женщины							
Положительная плавучесть	9,5	10,6	13,6	18,0	18,8	19,6	21,0
Отрицательная плавучесть	-6,4	-8,0	-9,2	-13,2	-12,9	-13,2	-10,8
Плавучесть на среднем вдохе	1,6	1,4	2,2	2,5	3,0	3,3	5,1
Относительная плотность	1,043	1,039	1,045	1,050	1,045	1,046	1,044
ЖЕЛ	2,050	2,300	2,830	3,870	3,900	4,030	4,150

В табл. 3 показаны возрастные изменения плавучести (Н), относительной плотности (Н/м³) и ЖЕЛ (л) у пловцов.

Самая высокая положительная плавучесть на глубоком вдохе обнаружена у женщин старше 20 лет (21 Н). В одном случае величина этого показателя зависела от ЖЕЛ (4,830 л при относительности плотности тела 1,048), а в другом — от низкой относительной плотности тела — 1,032 (ЖЕЛ — 3,800 л).

Показатели отрицательной плавучести на глубоком выдохе наблюдались у всех без исключения испытуемых. Самая большая ее величина в старшей возрастной группе мужчин составляла — 36 Н и в отдельных случаях — 47 Н.

На плавучесть тела может оказывать влияние плавательный костюм или снаряжение. В настоящий момент это относится к спортсменам-подводникам, хотя не исключено, что в дальнейшем, при изготовлении легких тканей для купальных костюмов, плавучесть спортсменов может быть повышена и за счет этого фактора.

Гидростатическое равновесие. Устойчивость тела в воде определяется расположением двух антипараллельных сил: силы тяжести и силы гидростатического давления воды. Как правило, в теле человека центры этих сил расщоложены в непосредственной близости, но не совпадают. Центр гидростатического давления воды, или геометрический центр объема тела (ЦО), расположен несколько ближе к верхней части тела, что обусловлено значительным объемом воздуха, заключенного в легких. Центр тяжести (ЦТ) расположен ближе к ногам. В силу того что ЦО и ЦТ расположены почти на линии продольной оси тела человека, создается момент вращения тела в его горизонтальном положении. Центр тяжести стремится занять более низкое положение, в результате чего ноги пловца опускаются вниз. Величина момента вращения тела определяет его устойчивость. Чем ближе расположить ЦТ и ЦО друг к другу, тем больше устойчивость тела. В большинстве случаев тело не обладает устойчивостью. Экспериментально установлено (Б. И. Онсиприенко, 1968), что у пловцов-мужчин в горизонтальном положении тела создается топящая сила в области стоп от 1,5 до 3,5 Н. Достаточно разместить на уровне голеностопных суставов пенопластвую вставку, обладающую подъемной силой 5 Н, чтобы придать телу подавляющего большинства пловцов устойчивое положение.

В процессе плавания ввиду непрерывного дыхания плавучесть тела изменяется в довольно широком диапазоне. У мужчин она колеблется от —15 до +9 Н; у женщин от 2 до 15 Н и у детей — от —4,5 до 5 Н. Очевидно, быстрое изменение плавучести вызывает довольно ощутимые вертикальные колебания тела. Этим частично

объясняется тот факт, что пловцы демонстрируют наиболее высокую скорость плавания при задержке дыхания, которая, как правило, производится на глубоком выдохе и содействует входу тела на поверхность воды. Кроме того, при задержке дыхания отмечается более четкая ритмичность чередования гребковых движений.

Удержание тела на поверхности воды гидростатическим путем. К силам, удерживающим тело на поверхности воды, относятся гидродинамические силы пассивного и активного типа. Гидродинамические силы пассивного типа действуют за счет несущих плоскостей тела, а силы активного типа — за счет вертикальной составляющей силы гребковых движений.

Создание подъемной силы несущей плоскостью тела. В природе и технике известны два варианта создания подъемной силы несущей плоскостью тела: формой тела и ориентацией тела в набегающем потоке.

В первом варианте, при соответствующем профиле туловища и достаточной скорости, тело, как крыло самолета, может самостоятельно создавать подъемную силу при угле атаки, равном 0. Для этого по закону Бернулли дорсо-вентральная асимметрия тела должна иметь верхнюю часть более выпуклую. В таком случае при движении тела в толще воды в результате различия давления на верхнюю и нижнюю поверхность тела возникает подъемная сила. Однако создание подъемной силы формой тела пловца затруднительно. Во-первых, различие в динамическом давлении на верхнюю и нижнюю части тела возможно, когда тело движется в однородной среде, в толще воды, а не на ее поверхности. Во-вторых, ощутимая подъемная сила может иметь место на скоростях, превышающих скорости спортивного плавания. И, в-третьих, при выполнении акта дыхания и гребковых движений тело пловца непрерывно меняет свою форму и ориентировку по отношению к набегающему потоку.

Второй вариант создания подъемной силы путем ориентировки тела более эффективен и применяется во всех спортивных способах плавания. Ориентировка тела по отношению к потоку определяется углом атаки α .

Под углом атаки подразумевается угол между хордой профиля крыла и направлением движения. Для асимметричного профиля несущей части тела человека угол ата-

ки составляет угол между осевой линией тазса туловища и направлением движения.

Природу подъемной силы, возникающей при некотором угле атаки тела человека, на современном уровне знаний можно объяснить только качественно. Поток воды, набегая на нижнюю часть туловища, создает в этой области повышенное давление, имеющее две составляющие — вертикальную и горизонтальную. Вертикальная составляющая создает подъемную силу, а горизонтальная — силу сопротивления воды. И та и другая сила пропорциональны скоростному напору $\left(\frac{\rho v^2}{2}\right)$ и площади

поверхности тела (S). До определенной величины подъемная сила пропорциональна и углу атаки. Эта величина называется критическим углом. При увеличении угла атаки больше критического сила сопротивления воды увеличивается, а подъемная сила уменьшается.

Угол атаки в спортивных способах плавания создается большей частью за счет незначительного прогибания туловища. В этом случае несущей плоскостью, встречающей набегавший поток, является передняя часть туловища.

Известно, что некоторые рыбы, имеющие одинаковую высоту и ширину туловища, создают подъемную силу даже на малых скоростях плавания (К. Г. Алеев, 1976). Человек в этом смысле имеет определенное преимущество, так как его туловище дорсо-вентрально сжато.

В практике спортивного плавания, по анализу кинограмм, угол атаки на малых скоростях, как правило, больше и с увеличением скорости уменьшается до нуля (С. М. Гордон, 1968). Из этого можно заключить, что создание подъемной силы углом атаки тела на высокой скорости плавания невыгодно, так как одновременно увеличивается сопротивление воды.

Немаловажное значение имеет и центр приложения подъемной силы. Во всех случаях он не совпадает с центром массы тела, а находится в передней его части. Поэтому подъемная сила одновременно создает момент силы вращения тела вокруг поперечной его оси, в результате чего ноги погружаются вниз. Величину момента силы вращения тела можно определить по формуле:

$$M = rF_y,$$

где g — расстояние от центра подвешивающей силы до центра массы тела (около 0,3 м), а F_y — подъемная сила.

Например, подъемная сила равна 80 Н, значит $M = 0,3 \cdot 80 = 24$ Н. Очевидно, что толпящая сила ног во время плавания может значительно увеличиться. Во избежание этого корректирующую функцию величин угла атаки на той или иной скорости плавания обеспечивают движения ног.

Создание подъемной силы гребковыми движениями. Основным вариантом создания подъемной силы и ее коррекции в спортивных способах плавания являются гребковые движения.

Подъемная сила создается гребковыми движениями одновременно с тяговой силой. Совместно с компенсаторными движениями (см ниже) они создают единую функциональную систему — систему гребковых движений.

Величина подъемной силы гребковых движений зависит от мощности гребка, траектории движения и ориентировки гребущих плоскостей к набегающему потоку.

В процессе овладения техникой плавания механизм образования подъемной силы, а также ее удельный вес в функциональном значении гребковых движений претерпевает значительные изменения. На первом этапе обучения плаванию компонент подъемной силы выдвигается новичком на первый план. Это отражается на траектории гребка и на распределении усилий. По мере овладения техникой плавания траектория гребка приближается к горизонтальной, однако его целевая направленность еще долгое время сохраняет первоначальный смысл. Формально это выражается в том, что изменив траекторию, новичок продолжает удерживать кисть в наклонном положении по направлению к гребку. На последующем этапе подъемная сила создается преимущественно в начале гребка, а основное усилие пловца направлено на создание тяги. И накопел. высококвалифицированные пловцы, избегая наплыва с самого начала гребка, стремятся создать тягу. Однако благодаря планирующему положению предплечья и кисти в начальной фазе захвата воды и возросшей мощности гребковых движений подъемная сила сохраняет такую же величину, что имела место на предшествующих этапах.

В работе ног вертикальная составляющая сила органически связана с горизонтальной. Ввиду недостаточной подвижности голеностопных суставов управление траекторией движений и возможности ориентировки стопы весьма ограничены. Поэтому, если в гребковых движениях руками подъемная сила является в какой-то мере регулируемой величиной, то в движениях ногами она полностью или почти полностью зависит от интенсивности плавания.

Сопротивление воды

Достижение скорости в спортивном плавании отнюдь не ограничивается созданием тяги. Основная часть усилий пловца направлена на преодоление сопротивления воды. Поэтому снижение сил сопротивления путем выбора более обтекаемых позежий тела является для пловца одной из главных задач.

Исследование сопротивления воды в спортивном плавании проводилось многими специалистами. Первые динамометрические измерения сопротивления воды с целью определения энерготрат пловца были осуществлены французским физиологом Du Bois Reimond еще в 1905 г. В его исследованиях пловца буксировали за лодкой. Скорость движения лодки измерялась хронометром по установленным в воде маякам, а сила сопротивления воды определялась динамометром. В течение длительного времени данные, полученные Du Bois Reimond, широко использовались физиологами всего мира. В 1919 г. эти данные были проверены G. Lilliestrand и N. Stenström. Они буксировали пловца с помощью установленной на берегу лебедки, которая имела устройство для регистрации скорости вращения ворота.

Более точную методику измерения сопротивления воды применил P. Karvovich (1933, 1939). Он измерял сопротивление воды в 6-метровом бассейне. В качестве движущей силы был использован набор гирь, которые через блокную систему в свободном падении с высокой стойки буксировали испытуемых, удерживающихся за движущийся линь. P. Karvovich предполагал, что сила гребковых движений пловца равна сопротивлению воды, поэтому для приближенных расчетов и того и другого им была предложена формула:

$$F = kv^2,$$

где F — сила сопротивления воды или сила тяги, Н;
 v — скорость буксировки, м/с; k — константа, которая зависит от размеров тела и способа плавания.

Дальнейшие исследования сопротивления воды в спортивном плавании проводились I. Alley (1952), а затем I. Kaunsmann (1955). Их в первую очередь интересовала сила, необходимая для преодоления сопротивления воды, которую измерять непосредственно во время плавания не представляется возможным. В этих же целях аналогичные исследования осуществил E. Schramm (1960). Средние показатели сопротивления воды на скорости 1,71 м/с в его исследованиях равнялись 85 Н, а средние показатели силы гребковых движений 152 Н. Он установил зависимость сопротивления воды от положения тела пловца. Зависимости между антропометрическими данными, сопротивлением воды и силой гребковых движений E. Schramm не указывает.

Более обширные исследования сопротивления воды были предприняты K. Igina, (1962). Узловым вопросом его исследований явилось определение наиболее характерного показателя линейных размеров тела пловца. На основании экспериментальных данных им были составлены таблица и кривая сопротивления воды в зависимости от величины мидела пловцов и скорости буксировки. K. Igina впервые зачислил антропометрические данные пловцов в один ряд с их физическими данными. По его мнению, и теоретически и практически возможно, чтобы пловец, обладая меньшей силой гребковых движений, но лучшими гидродинамическими качествами, показывал более высокие спортивные результаты.

Одним из первых в нашей стране измерения сопротивления воды проводил с сильнейшими пловцами СССР С. М. Гордон (1964). Параллельно с буксировкой пловцов осуществлялась подводная киносъемка, электроспирография и др. С. М. Гордоном выявлены значительные колебания коэффициента сопротивления воды для различных пловцов (до 28%). Также был сделан весьма важный вывод для практики спортивного плавания, заключающийся в том, что при малых углах атаки тела (до 10°) коэффициент сопротивления изменяется незначительно. С помощью буксировки пловцов Гордоном установлена существенная тяга, создаваемая ногами на

скоростях, превышающих скорости спортивного плавания, что свидетельствует об эффективности работы ног способом кроль на всех скоростях.

В исследованиях сопротивления воды, проводимых до настоящего времени, ставились в основном следующие задачи: 1) определение количественной оценки величины сопротивления воды и движущей силы пловца; 2) определение наиболее обтекаемых положений тела и 3) выявление основных антропометрических показателей, обуславливающих гидродинамические качества пловцов.

С помощью гидродинамометра нашей конструкции (Б. И. Ошониски, 1967) мы исследовали зависимость сопротивления воды от антропометрических данных пловцов, положения тела, глубины погружения и т. д. Результаты этих исследований легли в основу настоящего раздела.

Взаимодействие воды с движущимся телом. Тело пловца во время движения в воде испытывает сопротивление. Это сопротивление вызвано в основном плотностью и вязкостью воды.

При движении пластинки, установленной перпендикулярно потоку, вода, встречаясь с ней, давит на ее переднюю часть и изменяет направление своего движения. Сразу же за пластинкой возникает зона отрицательного давления, которое обладает некоторой силой F_2 , также направленной против потока. Сумма отмеченных сил называется сопротивлением давления, $R_d = F_1 + F_2$.

При движении пластинки, установленной вдоль потока, на ее стороны действуют тангенциальные силы трения. В этом случае пластинка испытывает сопротивление трения, R_t . Указанные формы сопротивления в отдельности являются предельными случаями. Обычно тело испытывает одновременно сопротивление давления и трения, что имеет название полного сопротивления, $R = R_d + R_t$.

Соотношение между сопротивлениями давления и трения для разных тел неодинаково. Для более обтекаемых тел основным компонентом является сопротивление трения. При скольжении тела человека в воде также преобладают силы трения. Однако уже при незначительном нарушении позы скольжения возникают дополнительные силы сопротивления давления. При более

значительных нарушениях (например, во время подтягивания ног способом брасс) основным компонентом становится сопротивление давления.

В рассмотренном примере с пластинкой, кроме ее ориентировки в потоке, на величину полного сопротивления оказывают влияние ее линейные размеры, плотность среды и скорость движения. Причем зависимость от последнего фактора не линейная, а в среднем квадратическая. Если в потоке преобладают силы трения, она может быть несколько меньше квадратической, если преобладают силы давления — больше квадратической. Поэтому при расчете полного сопротивления за исходную величину обычно принимают квадрат, а корректирующая функция в этих случаях возлагается на коэффициент.

Полное сопротивление R определяется по формуле Ньютона

$$R = C \frac{\rho v^2}{2} S,$$

где C — коэффициент сопротивления, который обычно определяется экспериментальным путем (безразмерная величина); ρ — плотность среды ($\text{кг с}^2/\text{м}^4$); v — скорость движения тела (м/с); S — характерные размеры тела (м^2). Если в потоке преобладают силы трения, то характерным размером тела является площадь его поверхности, омываемая водой. Если преобладают силы давления, то характерным размером тела будет его мидель (площадь сечения тела, перпендикулярная направлению движения). В корабельном деле и в самолетостроении в расчетах полного сопротивления обычно за линейные размеры принимают площадь поверхности.

Сопротивление давления. Сопротивление давления определяется по формуле Ньютона, в которой линейные размеры тела обозначают его мидель:

$$R_d = C_d \frac{\rho v^2}{2} \text{⊗},$$

где ⊗ — мидель тела.

Как уже отмечалось, сопротивление давления обусловлено разностью давлений воды впереди и за движущимся телом. Вода, устремляясь в зону пониженного

давления, образует вихри. Поэтому сопротивление давления часто называют сопротивлением вихреобразования. Сопротивление давления зависит от формы тела и плавности его очертаний. Поэтому его также называют сопротивлением формы.

У тел, сравнительно гладких, закругленных, без каменных выступов, например у рыб, наблюдается плавное обтекание на протяжении всего тела, и вихреобразование возникает только за телом. На острых выступах завихрение возникает уже на незначительных скоростях, на закругленных местах — на более высоких скоростях в зависимости от радиуса закругления. В связи с этим не всегда сопротивление давления пропорционально проекции тела. При одной и той же проекции, но при различной форме тела величина сопротивления может изменяться в несколько раз. Поэтому о величине сопротивления нельзя судить только по миделю. Необходимо знать коэффициент сопротивления (C), который вносит соответствующую поправку на форму тела.

Сопротивление давления у современных морских судов при плавании на рабочих режимах находится в пределах 5—7% полного сопротивления (М. Я. Алферьев, 1967). Очевидно, не большой процент оно составляет у рыб и быстроходных морских животных. Однако формы тела человека менее обтекаемы. В самом благоприятном положении — скольжении — сопротивление давления составляет около 25%.

В других положениях тела, которые необходимы во время выполнения гребковых движений оно достигает более существенных величин. Например, у квалифицированных крольцов его удельный вес в полном сопротивлении составляет до 33%, а у брассистов в момент подтягивания ног 74% и выше.

Для определения сопротивления давления можно использовать графический прием. На график наносятся кривые полного сопротивления и сопротивления трения, которое определяется экспериментальным путем. Полное сопротивление можно определить при буксировке пловцов на поверхности воды. Сопротивление трения в наших экспериментах определялось путем буксировки заостренных 3-миллиметровых дюральных пластин с площадью двусторонней поверхности 2 м^2 . Волновое сопротивление вычислялось из уравнения регрессии, состав-

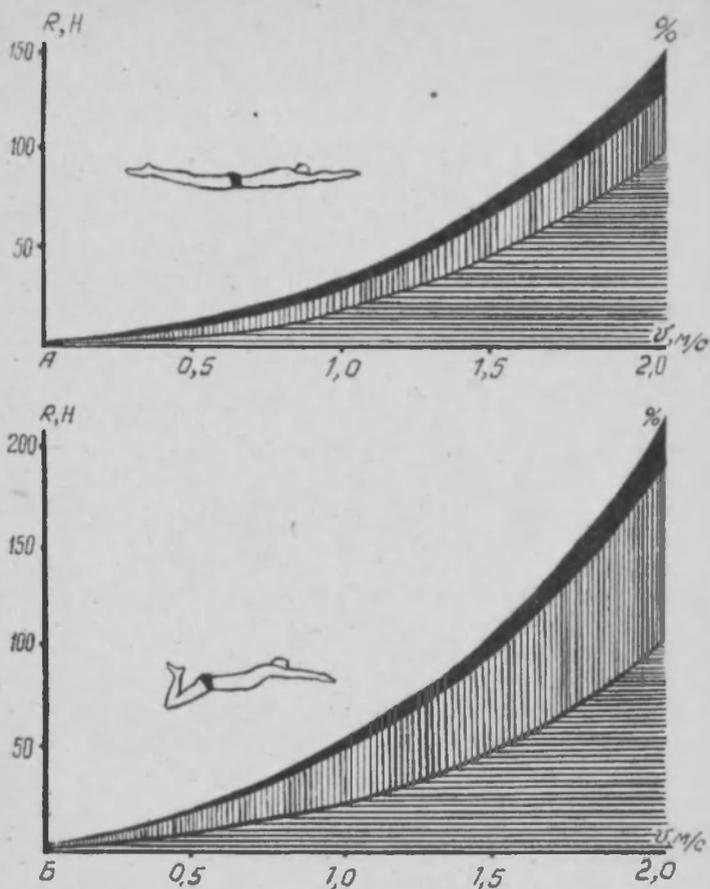


Рис. 8. Компоненты общего сопротивления воды при различных положениях тела:

А — скольжение, Б — ноги согнуты в суставах колен и тазобедренных суставах; горизонтальная штриховка — сопротивление трения, вертикальная штриховка — сопротивление давления, сплошным — волновое сопротивление

ленного по экспериментальным данным буксировки испытуемых на поверхности воды и под водой (Б. И. Оноприенко, 1968).

На рис. 8 изображены кривые компонентов сопротивления в положении скольжения и с подтянутыми ногами для толчка способом брасс (угол в тазобедренных суставах 110° и в суставах колен 55°).

При одной и той же площади поверхности тела (одинаковом сопротивлении трению) положение тела с поднятой головой увеличивает сопротивление на 6%, что можно объяснить некоторым увеличением размеров миделя в этой нозе. При подвешенном разгибании ног («носки на себя») в случае, если мидель стопы не выходит за границы общего миделя тела, сопротивление увеличивается на 7%. Если мидель стопы выходит за пределы общего миделя, сопротивление увеличивается до 16%.

По данным исследований, можно предполагать, что при обтекаемых положениях тела увеличение сопротивления пропорционально увеличению размеров миделя. Однако в менее обтекаемых позах, чем скольжение, увеличение сопротивления превышает пропорциональность размеров миделя. Например, опущенные вдоль бедер руки увеличивают сопротивление по сравнению с положением скольжения на 9,4%, хотя мидель в этом положении увеличивается всего на 3,6%. Очевидно, кроме миделя на сопротивление давления оказывают влияние и другие факторы, например, соотношение продольных и поперечных размеров тела, место расположения конфузурных и дифузурных участков тела и другие, которые будут рассмотрены ниже. Совокупность факторов, влияющих на сопротивление воды и не подлежащих количественной оценке принято выражать безразмерным коэффициентом. Величина безразмерного коэффициента определяется отношением сопротивления к известным величинам, оказывающим влияние на сопротивление. Например:

$$C_d = \frac{R_d}{\frac{\rho v^2}{2} S_{\text{миделя}}}$$

где R_d устанавливается экспериментальным путем; ρ — в условиях плавательного бассейна равно $102 \text{ кг с}^2/\text{м}^4$; v — измеряется хронометрически; $S_{\text{миделя}}$ — площадь миделя, которая определяется по проекции тела, ориентированной по направлению потока. Площадь миделя тела человека можно определить путем фотографирования его в вертикальном положении сверху вниз (К. Юржина, 1968) или с помощью эмпирических формул:

для женщин $S_{\text{миделя}} = 0,8 \text{ а б}$, для мужчин $S_{\text{миделя}} = 0,77 \text{ а б}$,

где a — ширина поперечного объема тела, м; b — ширина передне-заднего объема тела, м; 0,8 и 0,77 — константы, установленные опытным путем.

Свойства потока сглаживать препятствия по своему пути, создавать удобное русло, прилапать поверхностям соприкасающихся тел обтекаемость помогают человеку и различным животным, пребывающим в воде, находить наиболее обтекаемые варианты продвижения. Связанные с этим действия переносятся в зону полетных приспособительных реакций к окружающей среде.

Все способы снижения сопротивления давлению сводятся к улучшению условий обтекания тела. В частности, снижение давления в спортивном плавании достигается: 1) выбором поз, обеспечивающих минимальную площадь мишеней, наиболее приближенных к горизонтальному положению тела; 2) устойчивым положением тела с сохранением стационарного обтекания на возможно больших его участках; 3) исключением резких подготовительных движений под водой; 4) более обтекаемым положением стоп в конце гребковых движений ногами.

Сопротивление трения. Для определения величины сопротивления трения применяется формула Гьютона

$$R_{\tau} = C_{\tau} w \frac{\rho v^2}{2},$$

где C_{τ} — коэффициент сопротивления трения, w — площадь обтекаемой поверхности тела.

Сила сопротивления трения зависит от вязкости среды и проявляется в слоях, непосредственно прилегающих к телу. При обтекании пластинки, размещенной вдоль потока, не наблюдается отрыва слоев жидкости. На поверхности пластинки образуется слой жидкости, непосредственно прилегающей к ней («прилипший» слой). Следующие за ним слои скользят относительно друг друга, и по мере отдаления от пластинки их скорость постепенно понижается. Наличие градиента (перепада) скорости между слоями свидетельствует о действии сил вязкости среды, направленных навстречу движению. Прилегающий к телу тонкий слой жидкости, в котором действуют тангенциальные силы вязкости среды, получил название пограничного слоя.

Пограничный слой может быть ламинарным, в котором каждый слой жидкости движется параллельно другому, и турбулентным, т. е. беспорядочным, завихренным. В турбулентном пограничном слое тело испытывает большее сопротивление, чем в ламинарном.

В большинстве случаев, в том числе и в спортивном плавании, пограничный слой бывает смешанным. Передняя часть и выпуклые места тела обтекаются ламинарным слоем, который, расширяясь, переходит в турбулентный. Величина турбулентного слоя зависит от скорости движения тела и от его длины. Эта зависимость отражена числом Рейнольдса

$$Re = \frac{vl}{\nu}$$

где v — скорость тела (см/с), l — его длина (см) и ν — коэффициент кинематической вязкости воды, который в условиях бассейна равен $0,01 \text{ м}^2/\text{с}$.

Для ламинарного пограничного слоя коэффициент сопротивления трения находится по формуле $C_{\text{лам}} = 1,33\sqrt{Re}$, а для турбулентного $C_{\text{турб}} = \frac{0,074}{Re^{0,4}}$, т. е. коэффициент сопротивления в турбулентном слое примерно в 4,5 раза больше, чем в ламинарном. Ввиду преобладания турбулентного обтекания тела человека и большого значения $C_{\text{турб}}$ по сравнению с $C_{\text{лам}}$ для расчетов сопротивления трения в спортивном плавании можно учитывать только турбулентный пограничный слой.

Практически за толщину пограничного слоя принимают то расстояние от пластинки, где скорость отличается не более чем на 1% от скорости невозмущенного потока.

Толщина пограничного слоя на протяжении тела неодинакова. В передней части тела она тоньше и расширяется к задней его части. Также тоньше пограничный слой на выпуклых его частях. Толщина пограничного слоя зависит и от скорости движения тела. На очень малых скоростях его трудно определить ввиду малого значения градиента скорости. Чем выше скорость, тем тоньше пограничный слой.

В положении скольжения тела пловца сопротивление трения составляет 72—76% полного сопротивления (Б. И. Оноприенко, 1969). Коэффициент сопротивления трения для судов на скоростях спортивного плавания ра-

вен в зависимости от числа Рейнольдса 0,035—0,045 (М. Я. Алферьев, 1967). Коэффициент полного сопротивления гловпа в положении скольжения составляет 0,039—0,047, т. е. почти такую же величину.

Сопротивление трения в значительной степени зависит от шероховатости поверхности. Например, у морских быстроходных судов надбавка на шероховатость к коэффициенту трения -- около 10%, у судов с глубокой коррозией на днище она может быть более 50%. Степень шероховатости определяется высотой выступов шероховатости. Шероховатость передних частей тела оказывает большее влияние на сопротивление, чем кормовой части, а выпуклых частей -- больше, чем впадин.

Влияние площади поверхности тела на сопротивление воды в спортивном плавании отмечено рядом специалистов и находит подтверждение в эксперименте с буксировкой пловцов. Дополнительная плавучесть в 20 Н, сообщаемая пловцу с помощью пенопластовых накладок, освобождает от воды некоторые участки тела и соответственно снижает сопротивление трения.

Все способы уменьшения сопротивления трения в спортивном плавании сводятся к возможно большей ламинаризации пограничного слоя на больших участках тела путем: 1) сглаживания выступов и неровностей на теле и на купальном костюме; 2) использованием купального костюма с минимальными показателями шероховатости; 3) фиксации положения туловища, так как всякого рода качания тела способствуют возникновению поперечных течений и возмущению пограничного слоя.

Волновое сопротивление. Это сопротивление возникает вследствие движения твердого тела вблизи свободной поверхности воды. В результате давления на воду передней частью тела масса воды приобретает ускорение и ее уровень поднимается выше, чем это требуется для равновесия. Вслед за подъемом воды наступает ее спад, который происходит почти с таким же ускорением. За спадом следует подъем и т. д. Эти колебания вызывают ритмичные изменения формы поверхности воды.

Подобное явление наблюдается и вблизи других участков, где возникает перепад давления воды. Например, вследствие сильного сужения обводов кормы судна давление воды на этом участке повышается и вызывает подъем воды так же, как и в носовой части судна.

С повышением скорости размеры волн, а следовательно, и волновое сопротивление увеличиваются по закону квадрата скорости. На образовании волновой системы необходима дополнительная энергия, которая собственно и представляет собой работу волнового сопротивления.

На больших скоростях сила волнового сопротивления принимает угрожающие размеры. При самом идеальном обводе корпуса судна на скорости 45 км/ч (12,5 м/с) волновое сопротивление превышает 60% общего сопротивления. Для дальнейшего повышения скорости требуется увеличение мощности двигателя в 2—3 раза.

Кроме скорости, на величину волнообразования оказывают влияние размеры тела, его форма и соотношение продольных размеров тела к поперечным.

При движении судов различают волны расходящиеся и поперечные. Расходящиеся волны берут свое начало от носовой и кормовой частей судна и образуют параллельные ряды коротких волн. По амплитуде носовые волны значительно больше кормовых. Угол между средней линией этих волн и продольной осью судна составляет 10—30° и зависит главным образом от форм обводов корпуса.

Поперечные волны проходят под прямым углом к продольной оси судна. Их протяженность ограничивается левыми и правыми расходящимися волнами. Высота и длина поперечных волн зависит от скорости хода судна и его размеров.

При малой скорости судна возникают только расходящиеся волны. Для спортивного плавания волновое сопротивление имеет меньшее значение, чем другие формы сопротивления. В горизонтальном положении тела, когда руки прижаты к бедрам, на скорости 1 м/с волновое сопротивление составляет около 1% общего сопротивления и медленно растет до скорости 1,55—1,6 м/с, где оно составляет уже 3%. Выше этой скорости волновое сопротивление растет более быстро и на скорости 2 м/с составляет 7—8% общего сопротивления. В положении вытянутых рук вперед длина тела увеличивается и волновое сопротивление снижается на 1/3.

Приведенные величины волнового сопротивления вычислены по экспериментальным данным сопротивления

воды при буксировке испытуемых на поверхности воды и под водой. В расчетах предполагалось, что различие в сопротивлении при буксировке на поверхности воды и под водой пропорционально площади смоченной поверхности тела. Однако сопротивление на поверхности воды было несколько больше предполагаемой величины. Эта разность и принималась за величину волнового сопротивления.

О незначительной доле волнового сопротивления на скоростях спортивного плавания свидетельствует и коэффициент общего сопротивления, который с увеличением числа Re не увеличивается, как это имеет место у быстроходных судов, а снижается почти по кривой коэффициента сопротивления течения.

Для скоростей спортивного плавания (1—2 м/с), учитывая некоторую соматологическую общность пловцов, волновое сопротивление в пресной воде можно определить по формуле составленной на основании экспериментальных данных

Для горизонтального положения тела с прижатыми к бедрам руками

$$R_{волн} = 0.0015 \frac{P}{L} v^2,$$

где p — масса пловца (кг), а L — его рост (м).

Для положения скольжения с вытянутыми над головой руками

$$R_{волн} = 0.0038 \frac{P}{L} v^2,$$

где L — длина тела, включая вытянутые руки.

Сопротивление поперечных токов воды. Кроме сил трения, давления и волнообразования, в спортивном плавании имеет место сопротивление поперечных токов воды. Его природа заключается в следующем. При выходе тела на поверхность вода с верхних частей тела стекает вниз и образует поперечные токи, которые оказывают тормозящее воздействие на продвижение. Например, в конце скольжения от поворотного щита в момент, когда тело выходит на поверхность воды, поперечные токи затормаживают продвижение до резкой остановки. Это же можно наблюдать, толкнув палку или доску под воду и заставив их скользить под поверхнос-

тью воды. При выходе из поверхность их движение резко затормозится.

Тормозящее воздействие поперечных токов воды возникает в конце гребковых движений руками при плавании способами брасс и дельфин в момент, когда тело выходит на поверхность воды. Поперечные течения возникают и при плавании способом кроль в момент, когда плечо, поворачиваясь, и поднимается из воды для проноса руки вперед.

Непосредственно во время плавания величину сопротивления поперечных токов воды измерить сложно. Некоторые данные были получены нами во время буксировки модели пловца в гидроканале.

В эксперименте установлены критические значения тормозящих сил (20–24 Н), которые на малой скорости плавания (до 0,8 м/с) способны полностью остановить движение тела по инерции, а на скорости 2 м/с увеличить сопротивление до 17%.

Значение сил инерции. Масса тела пловца создает силу инерции, т. е. стремление тела сохранить прямолинейную скорость или состояние покоя. Тела, имеющие большую массу, обладают и большей инертностью.

Свойство инерции тела в спортивном плавании имеет большое значение, так как от нее зависит возможность сохранения более равномерного продвижения. Если бы тело пловца не обладало свойством инертности, то его движение останавливалось бы сразу же после окончания гребкового движения.

При постоянной скорости движения ускорение отсутствует, и на тело действуют только силы сопротивления среды. При ускорениях, которые возникают во время гребковых движений, действие сил инерции распространяется и на присоединенную к телу массу воды.

Присоединенная масса воды не постоянна. Она зависит от размеров тела, его формы и величины ускорения. Чем большее ускорение сообщено телу, тем в большей мере проявляется инертность массы присоединенной воды. В среднем для взрослого пловца во время скольжения при отрицательном ускорении 2 м/с^2 масса присоединенной воды составляет около 4 кг. При резких ускорениях присоединенная масса воды достигает значительно больших величин.

Гидромеханическая характеристика тела человека

Соматологические показатели, определяющие гидродинамические качества пловцов. Гидродинамические качества пловцов зависят в основном от плавучести, линейных размеров, форм и состояния поверхности тела. Наряду с физическими возможностями пловцов они обуславливают их спортивные достижения. Если выразить гидродинамическое качество относительным сопротивлением, а физическое — относительной силой тяги, то окажется, что у пловцов низкой квалификации имеются более значительные расхождения в показателях относительного сопротивления воды, чем в показателях относительной силы тяги. У высококвалифицированных пловцов значительных расхождений как в одном, так и во втором показателе не наблюдается. Также нужно отметить, что по относительному сопротивлению воды и тяговой силе пловцов можно с большой достоверностью судить о их спортивных результатах. При равных показателях тяговой силы на дистанции выигрывает пловец, обладающий лучшими гидродинамическими качествами.

Площадь поперечного сечения тела (мидель). Площадь миделя является характерным показателем, используемым для определения сопротивления давления. У взрослых пловцов-мужчин она колеблется в пределах 780--1050 см², у женщин 675—900 см².

Величина миделя тесно связана с тотальными размерами тела. Коэффициент корреляции с окружностью грудной клетки — 0,956, с ростом — 0,892, с массой — 0,823. Коэффициент корреляции площади миделя и полного сопротивления воды достаточно высокий — 0,640 и может свидетельствовать о прямой связи между этими величинами.

Регрессионным анализом установлено, что увеличение площади миделя на 10 см² увеличивает сопротивление воды на 0,87 Н у мужчин и на 0,85 Н у женщин.

Значения коэффициентов регрессии получены из теоретической прямой и отражают лишь общую закономерность. В различных возрастных группах кривая регрессии на отдельных участках имеет значительные отклонения от теоретической линии и свидетельствует о большом влиянии на сопротивление воды других соматологических

Сопротивление
воды, H

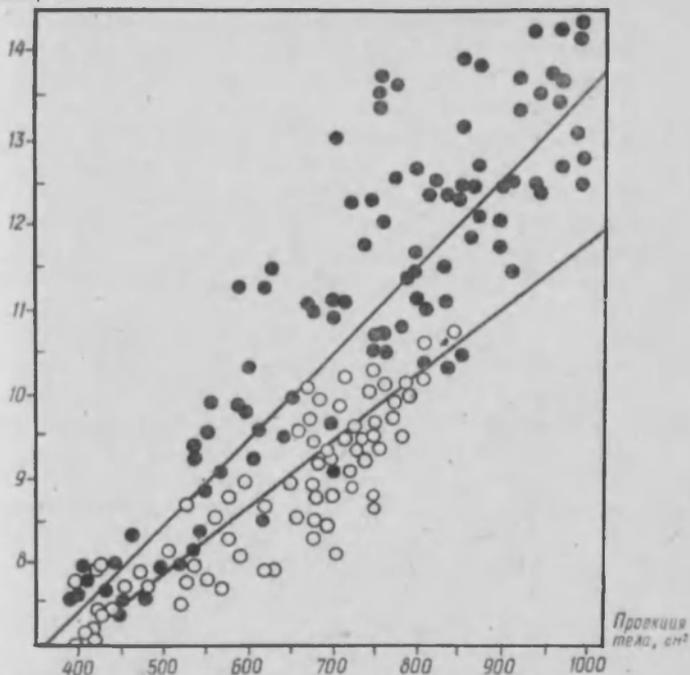


Рис. 9. Экспериментальные данные о площади миделя и сопротивлении воды. Черные кружки — мужчины, светлые — женщины

ких показателей. Об этом же свидетельствует и разброс вариантов экспериментальных данных площади миделя и сопротивления воды, особенно на участке проекции тела 800—900 см² (рис. 9). Частично это объясняется тем, что варианты на данном участке принадлежат юношам и мужчинам. При этом в подавляющем большинстве под теоретической линией варианты получены у юношей, для которых коэффициент сопротивления воды несколько меньше, чем для взрослых.

Из графика также видно, что у женщин, при одинаковой площади миделя с мужчинами, величина сопротивления воды меньше. Это подчеркивает тот факт, что площадь миделя не является решающим показателем при определении сопротивления воды. На сопротивление воды оказывают влияние и другие соматологические пока-

затели, а отлаженные варианты от теоретической линии отражает размеры этого влияния.

Степень влияния величины площади миделя на сопротивление воды изучалась и при буксировке испытуемых под водой на полном вдохе и выдохе. В проведенном эксперименте разница в площади миделя на вдохе и выдохе составляла $57,6 \pm 8,2 \text{ см}^2$ (6,5%), а разница в сопротивлении воды на скорости 1,7 м/с — $4,5 \pm 1,3 \text{ Н}$ (5%). Из этих данных можно также сделать практический вывод для спортсменов-подводников. Слишком глубокий вдох при нырянии в воду, помимо трудности физиологического порядка, не выгоден и с позиций гидродинамики.

Площадь поверхности тела служит характерным линейным размером при определении сил трения. Для вычисления общего сопротивления воды при движении рыб и судов в качестве характерных размеров тела применяется смачиваемая поверхность. В наиболее обтекаемом положении тела пловца — скольжении — в потоке преобладают силы трения, поэтому при вычислении сопротивления воды аналитическим путем также за характерный размер тела пловца принимается площадь его поверхности.

Коэффициент корреляции, определяющий зависимость сопротивления воды от площади поверхности тела пловцов, составляет 0,710. Найденный коэффициент регрессии предполагает, что изменение площади поверхности тела пловцов на $0,1 \text{ м}^2$ изменяет сопротивление на 3,7 Н у женщин и на 4,1 Н у мужчин, т. е. при одной и той же площади поверхности женщины испытывают сопротивление на 9% меньше, чем мужчины. Частые отклонения эмпирической линии от теоретической (рис. 10) можно объяснить влиянием морфологических особенностей данной группы испытуемых, которые имели если не одинаковый возраст, то примерно одинаковые тотальные размеры тела. Можно предполагать, что даже при большом количестве испытуемых линия регрессии не выровняется и приведенные коэффициенты регрессии лишь в среднем могут давать представление о зависимости сопротивления воды от величины площади поверхности тела.

В данном случае отклонение эмпирической линии от теоретической, как и в случае с площадью миделя,

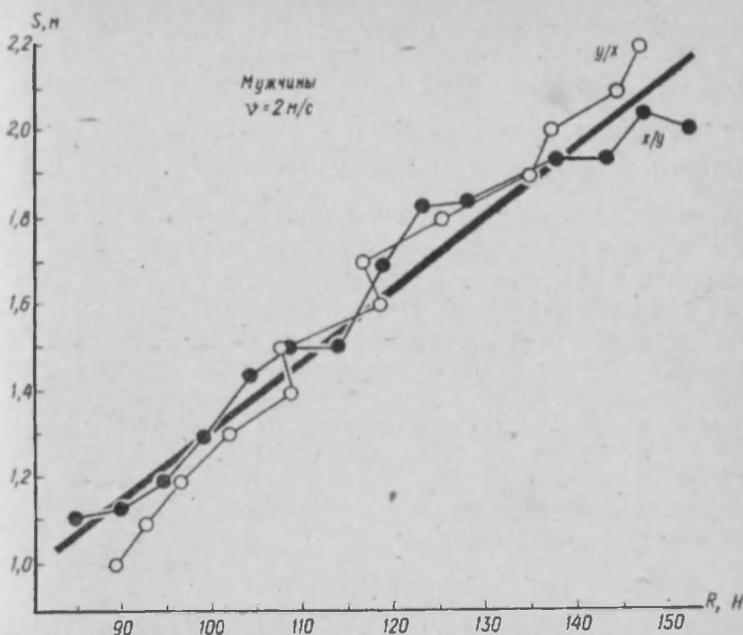


Рис. 10. Линии регрессии зависимости сопротивления воды от площади поверхности тела пловца.

линий раз свидетельствуют о многофакторной зависимости сопротивления воды от различных соматологических показателей тел пловцов.

Одним из основных гидродинамических показателей, устанавливающих соотношение сил инерции тела к силам вязкости среды, является число Рейнольдса

$$Re = \frac{Lv}{\nu}$$

где L — длина тела, см; v — скорость потока или движения тела, см/с и ν — кинематическая вязкость среды, см²/с. Как видно из формулы, если тело или его скорость малы, пропорционально снижается и число Re и, следовательно, в потоке преобладают силы вязкости, т. е. большее влияние на тело оказывают силы трения.

Относительная площадь поверхности тела у детей больше, чем у взрослых, поэтому они испытывают и

больше относительное сопротивление. Например, у 10-летнего испытуемого площадь поверхности тела — 1,05 м², а масса — 30 кг. Следовательно, его относительная площадь составляет $\frac{1,05}{30} = 0,035$ м²/кг. У 20-летнего испытуемого площадь поверхности тела 2 м²,

масса 80 кг и относительная площадь $\frac{2}{80} = 0,025$ м²/кг, т. е. на 28,6% меньше, чем у первого. На такую же величину у последнего следует ожидать и снижения влияния сил вязкости среды. Пропорционально разности относительной площади их тел изменяется и число Рейнольдса. На скорости 2 м/с для первого испытуемого

$$Re = \frac{130 \cdot 200}{0,01} = 26 \cdot 10^6 \text{ для второго } Re = \frac{180 \cdot 200}{0,01} = 3,6 \cdot 10^6$$

т. е. 27,8%.

Площадь поверхности тела человека можно определить по формуле Дюбуа

$$S = 0,167\sqrt{PL}$$

где P — масса тела (кг), а L — рост человека (м). Более точно определить площадь поверхности тела пловцов с учетом их соматологического типа и в зависимости от объема массы и плотности тела можно по предлагаемым формулам:

$$\text{для женщин } S = 0,173\sqrt{PL}$$

$$\text{для мужчин } S = 0,165\sqrt{PL}$$

На основании вышеприведенных формул составлены номограммы для вычисления площади поверхности тела пловцов по показателям их роста и массы (рис. 11).

Плавучесть и гидростатическое равновесие тела. Положительная плавучесть способствует всплыванию тела на поверхность воды, что приводит к уменьшению площади поверхности, соприкасающейся с водой, и, следовательно, к уменьшению сил трения. Кроме этого, уменьшаются и силы сопротивления давлению, так как уменьшается площадь миделя. Поэтому в практике начального обучения плаванию очень широко используются приемы увеличения плавучести поддерживающими средствами. Известно, что занимающиеся, обладающие более вы-

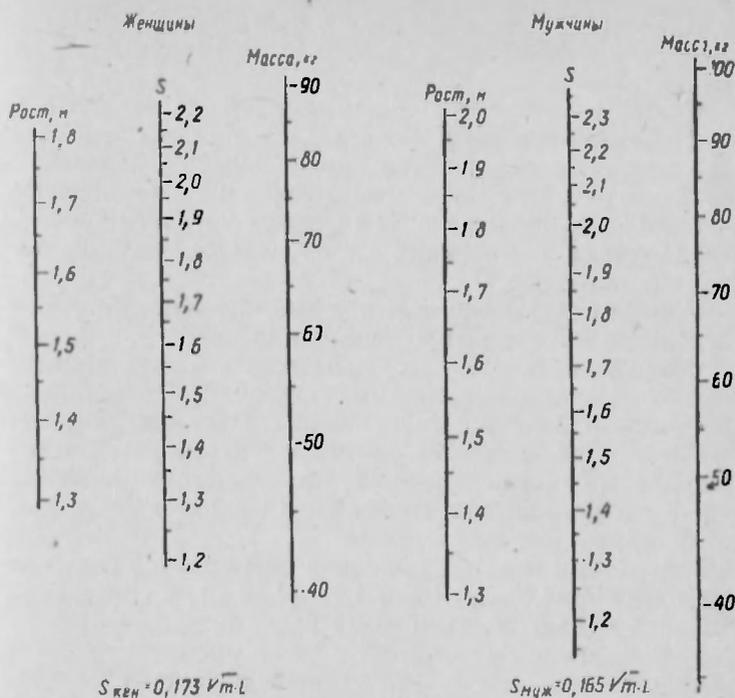


Рис. 11. Номограммы для определения площади поверхности тела по росту и массе пловца

сокой плавучестью, в частности женщины, быстрее осваивают начальные основы спортивного плавания. В практике спортивной тренировки увеличение плавучести достигается более высокими показателями ЖЕЛ и большей глубиной вдоха.

На сопротивление воды большое влияние оказывает и гидростатическое равновесие тела, в особенности на малых скоростях плавания. При буксировке пловцов с искусственной поддержкой ног на скорости 0,85 м/с сопротивление воды снижается в 2 раза больше, чем на скорости 1,9 м/с. Это объясняется тем, что на малой скорости буксировки без искусственной поддержки ног они погружаются в воду, а с увеличением скорости занимают более высокое положение. На скорости 2 м/с возникает подъемная сила гидродинамического характера д)

30 Н, которая поднимает ноги к поверхности воды и дополнительно освобождает около 5% площади поверхности тела.

Соотношение продольных и поперечных размеров тела. Одним из основных показателей линейных размеров тела является соотношение продольных и поперечных его размеров (линейное соотношение). Предполагается, что чем длиннее тело, тем меньше удельное значение сил давления, а следовательно и меньше удельное полное сопротивление.

У человека, так же, как и у рыб, линейное соотношение близко к ламинизированным профилям, т. е. к такому соотношению, при котором можно ожидать наименьшего сопротивления формы. Однако в сагиттальной плоскости тело пловца имеет значительные выступы, которые даже при сравнительно невысоких скоростях образуют зоны вихреобразования и самостоятельные поверхности разделов за головой, на линии таза и в области голеностопных суставов.

У взрослых пловцов линейное соотношение колеблется в пределах 4,4--4,6 (рост 1,75--1,85 м), а с вытянутыми вверх руками и оттянутыми носками — 5,9--6,25.

В положении скольжения с вытянутыми вверх руками тело испытывает меньшее сопротивление, чем в положении с прижатыми к бедру руками. Так на скорости 1 м/с разность в сопротивлении составляет 5,5%, а на скорости 2 м/с — 12%. Более прогрессирующее увеличение сопротивления в положении «руки прижаты к бедрам» можно объяснить увеличением сопротивления давления, так как на сопротивление трения положение рук не оказывает заметного влияния.

Под влиянием соотношения линейных размеров тела у взрослых пловцов удельное сопротивление изменяется до 6%.

Форма горизонтальной плоскости тела. Тело человека в горизонтальной плоскости, как уже отмечалось, выискивается в ламинарный профиль. Наиболее характерной особенностью, отличающей его от ламинарного профиля, является двухступенчатое утолщение тела. Первое утолщение находится на линии плеч, а второе — в области таза. В горизонтальной плоскости тела человека имеются две симметричные конфузориные части (рис. 12, а, в) и две диффузорные (б, г). Роль этих частей

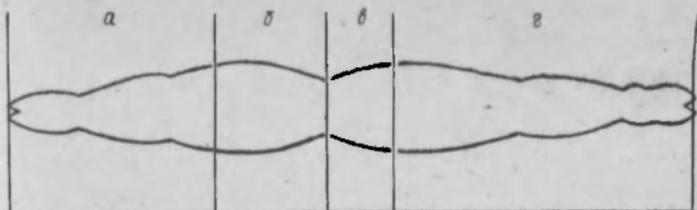


Рис. 12. Коифузорные (а, в) и дифузорные (б, г) участки на теле человека

в набегающем потоке вода неодинакова. На коифузорной части тела можно ожидать более устойчивого ламинарного обтекания, так как возрастающее утолщение профиля ведет к ускорению движения потока вдоль тела и как следствие — к уменьшению давления в пограничных слоях. После границы максимального утолщения тела линии тока расширяются, а скорость обтекающего потока снижается.

В результате этого возникает отрицательное давление, тормозящее движение частиц в пограничном слое, и за дифузорной частью тела образуется область вихреобразования.

Также следует отметить, что у мужчин больше диаметр грудного утолщения, а у женщин больший диаметр имеет таз. Кроме этого, у женщин дифузорная часть, находящаяся после грудного утолщения, менее выражена, чем у мужчин. Это дает основание предполагать, что туловище у женщин (рис. 12, область б и в) более обтекаемо, чем у мужчин.

Форма сагитальной плоскости тела В отличие от горизонтальной плоскости тела сагитальная имеет ряд острых выступов, впадин и бугристостей, несимметрично расположенных на вентральной и дорсальной поверхностях тела. Это создает условия для образования значительных вихревых зон за затылком, подбородком, ягодицами, стопами и т. п. Мощные вихревые потоки в отличие от рыб и технических плавающих средств при продвижении в воде человека образуются уже у средней части дорсально-вентральной поверхности его тела. Это заметно по складкам кожи на фотоснимках цыплят в момент отталкивания их от поворотного щита — рис. 13 (Б. И. Оноприенко, 1968).



Рис. 13. Складки кожи, возникающие вследствие турбулентного обтекания тела пловца

Значительные вихревые потоки начинаются с диффузорной части пояса верхних конечностей и заканчиваются в области суставов, колен, включая конфузорию часть таза. Несколько необычные условия обтекания тела человека, вероятно, и за-

ставляют пловца слегка прогибать туловище в целях снижения вихревых образований на дорсальной поверхности тела.

Вихревые зоны наблюдались нами вокруг модели пловца, буксируемого в гидроканале. Визуализация обтекаемого потока достигалась с помощью гистологического красителя, расположенного впереди головы между руками модели. В положении скольжения были зафиксированы три зоны: у передней и задней диффузорных частей тела и за стопами. Причем первая и вторая зоны почти сливались на линии максимального расширения таза. При других, менее обтекаемых положениях тела, возникающих во время плавания, образуется более мощное вихреобразование, заканчивающееся отрывом вихрей.

Нестационарность обтекания тела пловца является характерной особенностью спортивного плавания. Она обусловлена постоянным изменением положения тела, выполнением гребковых движений, дыханием и т. п.

Форма грудной клетки. От формы тела зависит не только величина сопротивления воды, но и направление его движения. Вектор силы, изменяющей направление движения, определяется величиной и положением угла атаки. При наклонном положении вверх возникает подъемная сила, а при наклоне вниз — топящая. Таким же образом могут возникать силы, смещающие тело влево или вправо.

Так как грудная клетка в сагиттальной плоскости имеет асимметричную форму, а ее дорсальная поверхность расположена под некоторым положительным углом к набегающему потоку, образуется подъемная сила, поднимающая тело на поверхность воды. Если известна движущая сила и сила сопротивления воды, то

величину подъемной силы можно представить как катет в прямоугольном треугольнике и высчитать по формуле:

$$R_n = \sqrt{F^2 - R^2}$$

где R_n — подъемная сила; F — движущая сила; R — сила сопротивления воды.

Пловец, буксируемый на поверхности воды, даже при чрезмерном наклоне головы вниз и отрицательном угле наклона дорсальной поверхности грудной клетки не может погрузить свое тело под воду. Это объясняется тем, что на вентральную поверхность грудной клетки действует только атмосферное давление, которое в сотни раз меньше гидростатического давления воды. Поэтому для погружения под воду от пловца требуются специальные приемы, в то время как под водой он легко регулирует глубину погружения положением кистей или незначительным прогибанием и сгибанием туловища.

Величина подъемной силы самолета при прочих равных условиях зависит от величины профиля несущих плоскостей, т. е. крыльев. Величина подъемной силы пловца в такой же степени зависит от величины площади дорсальной поверхности грудной клетки и ее формы. Формы сечения грудной клетки пловцов неодинаковы. Они отличаются соотношением размеров вертикальной и поперечной оси и наклоном боковых плоскостей к основанию профиля. У женщин и детей это соотношение меньше, чем у мужчин (рис. 14).

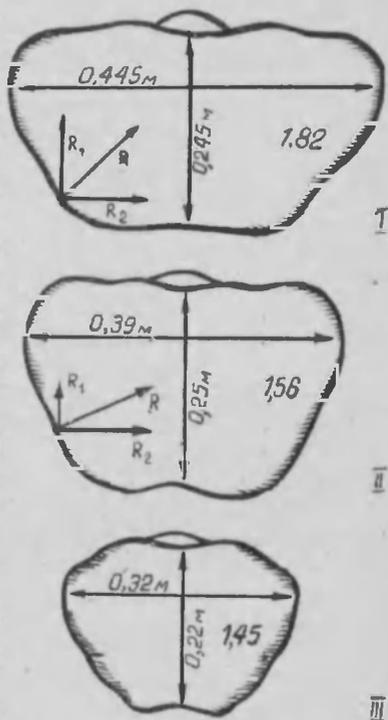


Рис. 14. Проекция грудной клетки мужчин (I), женщин (II), детей (III)

У мужчин оно также неодинаково, а следовательно, и разный наклон боковых плоскостей к основанию профиля. Этот факт играет существенную роль в гидродинамике пловца. Как видно из рисунка, составляющая подъемную силу R_y при более плоском профиле грудной клетки превосходит эту же силу при бочкообразном профиле.

Следует отметить, что величина подъемной силы связана со скоростью квадратической зависимостью и на малых скоростях спортивного плавания она практически отсутствует.

В наших исследованиях при буксировке двух пловцов одинакового роста, но с различной формой грудной клетки на скоростях до 14 м/с их сопротивление было одинаковым. При дальнейшем увеличении скорости сопротивление испытуемого с более плоской грудной клеткой становилось меньшим, и на скорости 2 м/с разница в сопротивлении составляла более 10 Н.

Некоторые авторы считают широкую плоскую грудь характерной особенностью пловцов. Однако эта особенность создает гидродинамическое преимущество, вероятно, только спринтерам-крольщикам. Для пловцов, специализирующихся в дельфине и брассе, это качество не обязательно, так как у них подъемная сила создается главным образом гребковыми движениями за счет вертикальной составляющей.

Структура поверхности тела преимущественно оказывает влияние на сопротивление трения. Если поверхность тела недостаточно гладкая, особенно на конфузорных участках, то это содействует турбулизации пограничного слоя и его преждевременному отрыву. Причиной могут служить имеющиеся на теле человека шероховатости и бугристости.

Под шероховатостью понимается наличие на поверхности тела множества выступов и впадин с расстояниями между ними, примерно равными их высоте. Если высота шероховатости не превышает высоты ламинарного подслоя, то она не вызывает дополнительного сопротивления и называется допустимой шероховатостью. Высота ламинарного подслоя определяется по формуле Шлихтинга:

$$k = l \cdot \frac{100}{Re},$$

где l — длина тела

Расчеты показывают, что толщина ламинарного подслоя на теле человека на скорости 1 м/с равна 1 мм и на скорости 2 м/с — $0,5 \text{ мм}$, что достаточно для того, чтобы покрыть выступы шероховатости кожи. Можно полагать, что имеющиеся на коже волосы также не оказывают существенного влияния на течение турбулентного слоя, в который они могут проникнуть, проходя через ламинарный подслой. Волосы на теле пловца в большинстве своем расположены под выгодным для обтекания углом и при движении прилегают к телу.

Несколько иная картина наблюдается при обтекании купального костюма. Ткань и более густые ворсинки на ней образуют достаточно жесткую структуру шероховатости. Ворсинки обычно имеют высоту больше критической, что увеличивает турбулилизацию пограничного слоя. В табл. 4 приведены показатели сопротивления воды для модели натуральных размеров в зависимости от материала купального костюма.

Таблица 4

Условия буксировки	Сопротивление, Н	
	$v=0,85 \text{ м/с}$	$v=1,9 \text{ м/с}$
Без купального костюма	21	97
Купальный костюм из шелковой ткани	23	106
Купальный костюм из шерстяной ткани	23	100

На малых скоростях пограничный слой толще, и ворсистая шерстяная ткань купальника не увеличивает сопротивление. На скорости $1,9 \text{ м/с}$ пограничный слой стал толще в 2 раза, высота выступов жесткой структуры ткани стала больше критической и увеличила сопротивление по сравнению с шелковой тканью купальника на $2,5 \text{ Н}$, т. е. на $2,3\%$. Эта «надбавка» к сопротивлению на 100-метровой дистанции ухудшает результат на $0,6 \text{ с}$. При буксировке модели без купального костюма на скорости $1,9 \text{ м/с}$ сопротивление снизилось по сравнению с моделью в костюме из шелковой ткани на $3,6\%$. Это позволяет сделать вывод о недостаточном гидродинами-

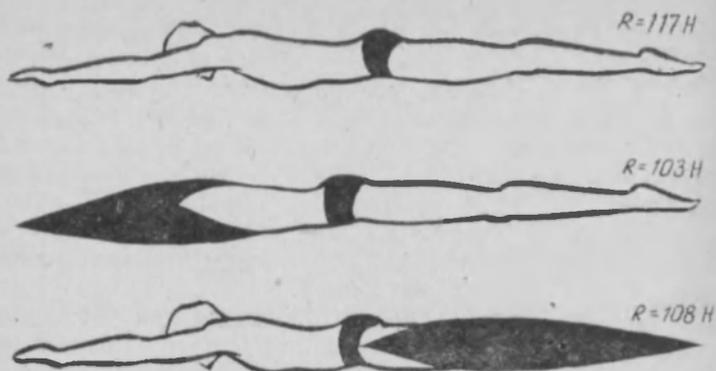


Рис. 15. Влияние обтекателя на сопротивление воды ($V=0,2$ м/с)

чекром качестве выпускаемы промышленностью купаль-
ных костюмов для пловцов

Выступы и впадины. Рельеф мышц и скелет человека образуют на теле значительные выступы и впадины, которые оказывают влияние на сопротивление не только как дополнительные факторы, но и изменяя обтекание общего профиля тела. Особое значение они приобретают на конфузурных участках тела. При сглаженной передней части модели (рис. 15) сопротивление на скорости 2 м/с снижается на 12%, при сглаженной задней части — на 7,5%.

Пластелиновые накладки на модель, по форме и величине повторяющие выступающие мышцы хорошо физически развитого спортсмена, на скорости 2 м/с увеличивают сопротивление на 5,4%. Можно предполагать, что у пловца при этом сопротивление увеличится несколько меньше, так как при движении тело под влиянием сил гидродинамического давления поддается значительной деформации.

Эластичность кожи. В настоящее время в литературе по вопросам бионики уделяется много внимания гидродинамическим качествам дельфина. М. Крамер (1960) и другие исследователи склонны считать, что верхние слои тела дельфина благодаря своей эластичности способны «гасить» возникающие турбулентные потоки. Это предположение частично подтвердилось экспериментальной проверкой сопротивления тела сигарообразной формы, покрытого эластичной оболочкой.

Эластичность кожи человека определяется толщиной кожи и подкожной жировой основы. Чем толще жировая основа и тоньше кожа, тем выше показатель ее эластичности. Кожа у женщин эластичнее, чем у мужчин. По показателям эластичности кожа альпинистов, согласно имеющимся в литературе сведениям, очень близка к коже у женщин.

Влияние эластичности кожи на сопротивление воды нами изучалось при буксировке испытуемой с обычным показателем эластичности кожи и сделанной с нею модели. Эластичность поверхности которой была равна 0. Модель изготовлялась из папье-маше, а ее поверхность была покрыта лаком. На модели и на испытуемой были одинаковые купальные костюмы из хлопчатобумажной ткани. С помощью грузов и пенопластовых вкладок через специальное отверстие модели придавалось устойчивое положение и регулировалась плавучесть до соответствующих показателей испытуемой. Сопротивление воды у модели на скорости 2 м/с оказалось выше на 6%, чем сопротивление у испытуемой, хотя условия буксировки были одинаковыми. На скорости 0,85—1,2 м/с разница в сопротивлении не обнаружена.

Очевидно, более высокие показатели сопротивления у модели можно объяснить ее твердым покровом, не реагирующим на возмущение потока.

Как уже упоминалось, тело человека под влиянием сил гидродинамического давления поддается значительным деформациям, и на скорости, превышающей 2 м/с, на коже образует ряд хорошо заметных параллельных складок.

Здавливание завихренных потоков в тело, можно полагать, содействует более равномерному течению вышележащих слоев, являясь пассивным приспособлением тела к условиям обтекания окружающей среды (Б. И. Оноприенко, 1963). Кроме того, при значительных давлениях воды на отдельные участки кожи человек реагирует изменением положения тела или движениями, разбужающими возникающие напряжения.

Закономерности механического подобия тел с различными линейными размерами. При сравнении антропометрических данных пловцов следует учитывать некоторые чисто механические закономерности, выведенные еще Ньютоном.

При сравнении роста двух субъектов частное $\frac{L_1}{L_2} = r$ называют критерием подобия (L_1 — рост более низкого субъекта, L_2 — рост высокого). Между поверхностями их тел отношение $\frac{S_1}{S_2} = r^2$, а между объемом $\frac{V_1}{V_2} = r^3$ (так как поверхность тела измеряется квадратом, а объем — кубом).

Видно, что при уменьшении роста человека объем его тела уменьшается быстрее, чем площадь поверхности тела. Для массы тела человека приемлемо то же отношение, что и для объема: $\frac{m_1}{m_2} = r^3$. Следовательно, масса тела изменяется более прогрессивно, чем рост.

Зависимость между объемом (V), массой (m) и плотностью (ρ) тела можно выразить соотношениями: $V = \frac{m}{\rho}$; отн. плотность $= \frac{m}{V}$; $m = V \cdot \text{отн. плотность}$.

Исходя из принципа механического подобия человеческих тел, можно с некоторыми оговорками вывести подобие для их кинематических и динамических характеристик.

Отношение скоростей равняется корню квадратному размеров тел: $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$. Например, скорость сокращения какой-либо мышцы у субъектов ростом 1,8 м и 1,7 м будет отличаться на корень квадратный их роста $\sqrt{\frac{1,7}{1,8}} = 0,97$, т. е. скорость сокращения мышцы у рослого субъекта меньше на 3%.

Так как мышечная сила эквивалентна массе мышц субъектов, то при сравнении мышечной силы приемлемо отношение $\frac{m_1}{m_2} = \left(\frac{L_1}{L_2}\right)^3$. Тогда в нашем примере $\left(\frac{1,7}{1,8}\right)^3 = 0,85$, т. е. относительная сила у более рослого субъекта меньше на 15%.

Указанные расчеты могут быть празомеричны лишь при сходстве остальных морфофункциональных показателей.

Соматологические отличия женщин и их гидродинамические качества. Выше было показано, что соматологические показатели тела человека по-разному влияют на сопротивление воды.

Отдельные величины соматологических показателей у женщин иные, чем у мужчин, а их комбинация обусловила более благоприятные гидродинамические качества женщин.

Во-первых, у женщин лучшие показатели плавучести тела, что объясняется большим объемом жировой ткани и меньшей относительной плотностью аппарата опоры и движения. В табл. 5 приведено процентное соотношение составных частей тела (данные получены при обследовании взрослых пловцов Львова: Б. И. Оноприенко, 1968).

Таблица 5. Процентное соотношение составных частей тела

Пол	n	Плотность M±Q	«Тяжелая» масса	Вода	Жировая ткань
Женщины	20	1,019±0,014	21,9	59,5	18,6
Мужчины	32	1,081±0,011	27,7	63,1	8,7

Как видно, жировой ткани у женщин на 9,9% больше, чем у мужчин, а «тощей» массы меньше на 5,8%. Разница в соотношении «легкой» и «тяжелой» ткани существенно отражается на относительной плотности тела у женщин и мужчин. Женщины имеют более высокие показатели плавучести, что содействует выходу тела из воды, уменьшению площади мишеня и смачиваемой поверхности тела.

Во-вторых, больший объем жировой ткани и более тонкая кожа у женщин придают телу большую эластичность, что снижает турбулентность в пограничных слоях воды.

В-третьих, у женщин более обтекаемые формы тела. Рельеф мышц менее выражен, чем у мужчин, и хорошо скрыт подкожной жировой основой. Поэтому режим обтекания тела отличается большей стационарностью и меньшим вихреобразованием в пограничном слое и за телом.

В-четвертых, в связи с тем, что у женщин центр тя-

жести и центр плавучести тела расположены ближе друг к другу, гидростатическое равновесие их тела более устойчиво, чем у мужчин. Даже на малых скоростях скольжения стопы находятся у поверхности воды.

В-пятых, во фронтальном профиле самой широкой частью тела у женщин является таз, у мужчин — плечи. Более отдаленная от переднего края тела ширина профиля увеличивает конфузорную часть тела, что содействует ламинарному обтеканию большей площади поверхности тела.

По экспериментальным данным, полученным путем буксировки испытуемых в положении скольжения, средняя величина коэффициента сопротивления воды у женщин на 9% меньше, чем у мужчин. ($C_{жен} = 0.366 \pm 0.017$; $C_{муж} = 0.402 \pm 0.024$).

Более высокие гидродинамические качества женщин сказываются и на их спортивных результатах. По результатам в плавании женщины значительно превосходят представительниц других видов спорта. Мировые рекорды по плаванию у женщин находятся на уровне между нормативами кандидатов и мастеров спорта для мужчин, в то время как у представительниц легкой атлетики на одинаковых дистанциях с мужчинами результаты чемпионки мира соответствуют уровню I и II разрядов для мужчин.

Однако, несмотря на лучшие гидродинамические качества, спортивные результаты у женщины ниже, чем у мужчин. Это свидетельствует о преобладающем значении двигательных и функциональных возможностей спортсменов. Поэтому когда речь идет о морфофункциональном статусе пловца, то необходимо иметь в виду оптимальное сочетание гидродинамических качеств с двигательными и функциональными показателями.

Возрастные особенности формирования гидродинамических качеств пловцов. Одним из основных соматологических признаков, отличающих гидродинамические качества детей и взрослых, является разница в размерах их тела. С уменьшением размеров тела уменьшается число Рейнольдса и, следовательно, в большей мере проявляется влияние вязкости среды, силы трения. Основной причиной этого является увеличение относительной площади поверхности тела и массы тела. Относительная площадь поверхности тела определяет величину относи-

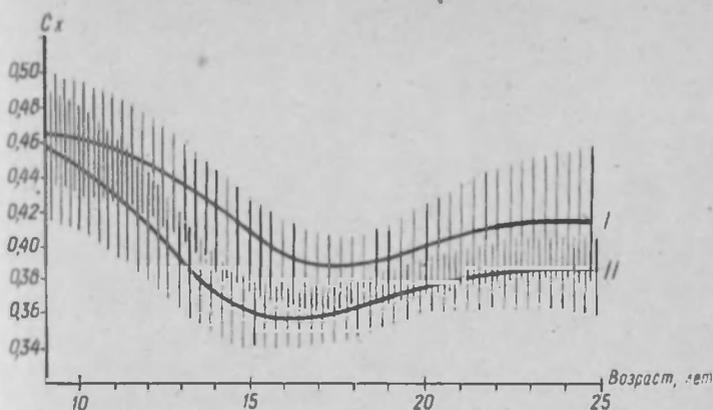


Рис. 16. Коэффициенты сопротивления воды для различных возрастных групп: I — мужчины, II — женщины

тельною сопротивлением, а масса — его инерционные свойства.

Площадь поверхности тела пловца находится в большой корреляционной зависимости от роста, чем от массы. В первом случае коэффициент корреляции 0,917, во втором 0,844. (В этой же выборке испытуемых коэффициент корреляции между ростом и массой составлял 0,827). Поэтому при определении величины тела пловцов рост может служить как интегральный показатель.

В связи с тем, что относительное сопротивление тела у детей больше, чем у взрослых, коэффициент сопротивления у мальчиков выше, чем у мужчин, а у девочек выше, чем у женщин. На рис. 16 приведены коэффициенты сопротивления для различных возрастных групп, полученные при измерении сопротивления воды у 224 испытуемых. Кривой линией показано его среднее арифметическое значение, а вертикальные линии обозначают поле распределения всех вариантов.

Как видно по кривым, самый высокий коэффициент сопротивления отмечается в младшей возрастной группе. Его средняя величина на 13% больше, чем у взрослых, и на 20% больше, чем у юношей, а максимальные различия составляют соответственно 29 и 31%.

Практическая оценка влияния размеров тела на спортивный результат пловцов была получена в следующем

эксперименте. Измерялась сила гребковых движений у детей и взрослых. Абсолютный показатель силы, естественно, у взрослых был больше, чем у детей. Однако относительная сила у мальчиков, имеющих спортивные разряды, была такая же, как и у взрослых. Для сравнения были отобраны испытуемые младшей и старшей возрастных групп с одинаковыми показателями относительной силы гребковых движений.

Несмотря на одинаковую относительную силу гребковых движений, средние показатели максимальной скорости плавания на 10-метровой дистанции у детей значительно ниже, чем у взрослых (табл. 6). Вместе с этим многими исследователями установлена высокая зависимость спортивных результатов от показателей динамометрии гребковых движений (Б. И. Оноприенко, 1961; С. М. Гордон, 1964; И. Г. Сафарян, 1959, и др.).

Таблица 6. Сила гребковых движений у детей и взрослых

Испытуемые	n	Возраст	Площадь поверхности тела, м ²	Максимальная скорость, м/с	Сила гребковых движений		Коэффициент сопротивления (отношение к площади поверхности тела)
					абсолютная F	относительная	
Мальчики	12	9—11	1,11	1,14	52	0,166	0,16
Мужчины	15	18—23	1,92	1,58	121	0,162	0,10

Кривая коэффициента сопротивления у женщин качественно отличается от кривой у мужчин. Существующие некоторые различия обусловлены морфофункциональными особенностями женского организма. Почти до подросткового возраста этот коэффициент у девочек и мальчиков одинаков, что объясняется нечеткими половыми различиями в этом периоде роста. Затем у девочек отмечается его резкое снижение, которое продолжается до 15—16 лет. После 16 лет коэффициент сопротивления у женщин несколько увеличивается, но не столь значительно, как у мужчин.

Самые малые величины сопротивления у юной и девушек объясняются тем, что достигнув роста взрос-

ных, они не имеют еще поперечных размеров тела взрослых. Кроме того, у юниоров несколько меньше площадь поверхности тела и она более обтекаема, так как на ней менее рельефно выступают мышцы.

После 18-летнего возраста коэффициент сопротивления увеличивается, но одновременно возрастают и двигательные возможности спортсменов. Дальнейший рост спортивных результатов пловцов старшей возрастной группы зависит от того, насколько двигательные и функциональные их возможности будут превосходить гидродинамические качества.

У девочек и мальчиков младшего возраста темпы роста одинаковы, с 11-летнего возраста темп роста мальчиков увеличивается и интенсивный рост продолжается до 18-летнего, в то время как у девочек резкое спожение темпа роста наступает к 16 годам. Самый интенсивный темп роста подростков, занимающихся плаванием, наблюдается в возрасте 15-16 лет и остается значительным до 18 лет (Б. И. Оноприенко, 1968). У пловцов период интенсивного роста начинается раньше и протекает более равномерно, чем у их сверстников, не занимающихся плаванием. Поэтому можно заключить, что плавание как спортивная специализация оказывает определенное влияние на величину и динамику роста.

Взаимобусловленность роста пловцов и их спортивных результатов отражена в истории плавания. Из табл. 7 видно неуклонное увеличение из года в год показателя роста сильнейших пловцов нашей страны. О том, что это неслучайное явление, свидетельствует тот факт, что с увеличением средних показателей роста уменьшается показатель среднего квадратического отклонения (σ). Так, если в 1935 г. среднее квадратическое отклонение было 7,8 см, то в 1970—80 гг. оно составляло немногим более 3 см.

То же наблюдается и при сравнении средних данных роста пловцов различной квалификации. Пловцы республиканской сборной превосходят по показателям роста пловцов областных сборных, пловцы сборной СССР — пловцов республиканских сборных. Чемпионы и рекордсмены мира в среднем имеют более высокий рост, чем пловцы сборной СССР.

В заключение следует отметить, что морфофункциональная многогранность статуса человека и в особен-

Таблица 7. Показатели роста сильнейших пловцов страны и мира в период 1927—1976 гг.

Авторы	Год	Рост пловцов, М±Q
М. Вознесенский (сильнейшие пловцы страны)	1927	170,3
К. Градовик (сборная СССР)	1935—1936	175,1 ± 0,078
Л. Степанова (сборная СССР)	1946	176,0
С. Гершенков (сборная СССР)	1949	177,0 ± 0,061
К. Кукункин (сборная СССР)	1960	180,5 ± 0,017
Б. Оноприенко (сборная СССР)	1967	181,8 ± 0,035
Л. Павлова (участники XX Олимпиады)	1972	183,2
Т. Абелямов (финалисты XX Олимпиады)	1972	183,8
Т. Абелямов (финалисты XXI Слимпиады)	1976	181,9

ности взаимообусловленность его отдельных показателей значительно затрудняют выбор соматологического типа пловца. Имеющиеся в литературе рекомендации о том, что тело пловца должно быть обтекаемым и обладать небольшой относительной плотностью, связаны с неправильными представлениями о современном спорте. Обтекаемость и малая относительная плотность тела — антагонисты атлетизма пловца. Поэтому выбор гидродинамических качеств следует увязывать с соматологическими показателями, не противоречащими двигательным возможностям пловцов.

Сравнительная характеристика гидродинамических качеств человека и морских животных. В процессе эволюционного отбора и адаптации к водной среде тело рыб приобрело соответствующую форму и у них развились локомоторные органы, обеспечившие им высокие гидродинамические качества. Приспособление рыб в основном произошло в двух направлениях: по пути уменьшения сопротивления воды и за счет выбора наиболее эффективного движителя, позволявшего быстро передвигаться при наименьших энергетических затратах. Поэтому при сравнении гидродинамических качеств человека

и морских животных главный интерес представляют морфофункциональные показатели, определяющие обтекаемость тела и эффективность локомоторного акта.

Обтекаемость тела. Соотношение продольных и поперечных размеров тела у человека и рыб примерно одинаково. Однако тело рыбы и других морских животных имеет монолитную хорошо обтекаемую форму с главными контурами, без каких-либо существенных выступов или впадин. Такая форма свойственна ламинирующим профилям, обтекание которых происходит без отрыва пограничного слоя.

Неровный контур тела человека, ряд выступов и впадин, длинные конечности значительно увеличивают площадь поверхности. Например, площадь миделя туица в 14 раз меньше площади поверхности его тела (А. Ф. Кудряшов, 1969). Площадь же поверхности тела человека в 27 раз больше площади его миделя, т. е. силы трения только по этой причине увеличиваются почти в 2 раза.

Тело многих рыб покрыто слизью, которая обладая меньшей вязкостью, чем вода, уменьшает силу трения. Кроме того, слизь сглаживает шероховатости на теле рыбы и улучшает его обтекаемость.

Профиль тела рыбы, чешуйчатый покров и ряд других особенностей имеют приспособительный характер, снижая до минимума сопротивление воды и содействуя увеличению эффективности движителей.

Лучшим вариантом сравнения гидродинамических качеств человека и морских животных являлось бы сопоставление величины сопротивления их телам при условии одинаковых их линейных размеров. Однако имеющиеся в литературе цифровые данные о сопротивлении воды при движении рыб весьма противоречивы. Поэтому наиболее правдоподобными представляются данные, полученные при моделировании сопротивления воды в одинаковых условиях для моделей тела человека и дельфина с одинаковой площадью поверхности тела. В пересчете на натуральные размеры ($S = 1,9 \text{ м}^2$) тело дельфина на скорости 2 м/с оказывает сопротивление 51 Н, а тело человека -- 126 Н. Следует учитывать, что при выполнении локомоторных движений условия обтекания тела пловца значительно ухудшаются и увеличивается сила сопротивления.

Локомоторные движения. Создание движущей силы в воде рыбами обусловлено тремя факторами: 1) наличием соответствующих плоскостей (движителей), способных вызывать реакцию опоры; 2) степенью свободы сочленений, обеспечивающих наиболее выгодное положение движителей и 3) расположением мышечных групп, приводящих в действие движители (Ю. Г. Алеев, 1975).

Движители рыб и морских животных можно разделить на три типа: ундуляционный, весельный и реактивный. Наиболее характерным способом передвижения рыб является ундуляционное движение, т. е. с помощью волнообразных изгибов рабочих плоскостей. Ему подчинены все или почти все морфофункциональные локомоторные приспособления рыб и морских животных.

Движители весельного типа, какими являются грудные плавники рыб, играют меньшую роль в передвижениях. Ими рыбы чаще пользуются для медленных передвижений во время поиска пищи или для удерживания тела в неподвижном положении при незначительных приливных течениях и т. п.

Реактивный движитель свойствен только кефалондам и основан на выбрасывании струи воды, которая создает реактивную тягу.

Основным движителем рыб является хвостовой плавник. Он представляет собой колеблющееся подводное крыло, работающее во взаимодействии с ундулирующим движением тела. Его рабочая поверхность определяется поперечным размером — a , продольным выносом — b и площадью смоченной поверхности — S (рис. 17).

У более быстрых рыб и морских животных несущая плоскость хвостового плавника относительно меньше. Стебель их хвоста уже, лопасти менее массивные, но более жесткие. Продольный вынос меньше, что снижает циркуляцию скорости отталкиваемой массы воды. Облегченный движитель «быстроходов» менее инерционный, что позволяет им компенсировать «недостающую» площадь частотой колебаний плавника. Кинематическая энергия создается в первую очередь за счет скорости движения плавника, а не количества отбрасываемой воды. Следовательно, КПД движителя у быстроходных рыб пропорционально ниже, чем у рыб, обладающих большей площадью плавников.

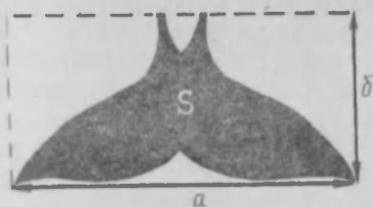
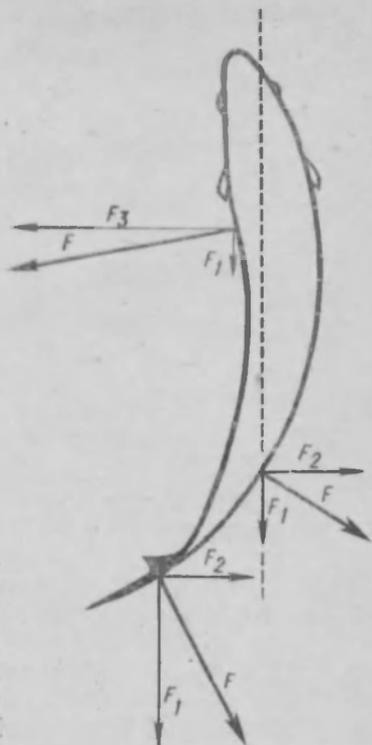


Рис. 17. Рабочая поверхность хвостового плавника

Рис. 18. Схема приложения основных действующих сил в локомоции рыбы:

F — сила давления на воду; F_1 — сила, продвигающая тело вперед; F_2 — сила, смещающая тело в сторону; F_3 — сила, противодействующая смещению тела в сторону



Кинематическое и энергетическое преимущества уплывающего движителя по сравнению с весельным заключаются в его двусторонности. При движении в одну и другую сторону гребущая плоскость встречает сопротивление со стороны воды, благодаря чему создается сила, одна из составляющих которой направлена вперед (рис. 18). При волпообразном движении хвостового плавника положительным является также то, что при непрерывном отталкивании от воды не возникает возвратных тормозных движений.

Регулирование скорости и экономичности движений рыбами представляет интерес для биомеханики спортивного плавания. На малых скоростях локомоторные движения рыб подчинены задачам экономичности и кинематическая энергия создается преимущественно за счет

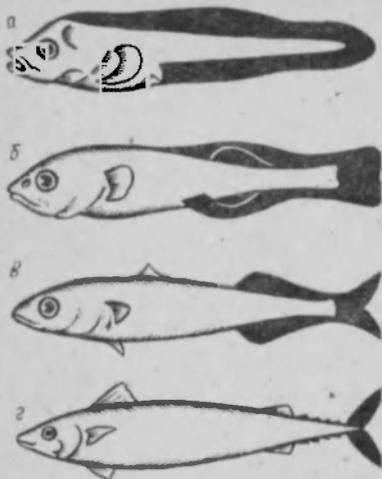


Рис. 19. Развитие плавников скумбрии в онтогенезе (по Алееву)

количества отбрасываемой воды, которое определяется величиной несущей плоскости. В этих случаях в локомоторном акте принимает участие большая часть туловища. Такой способ передвижения является основным для длинных угревидных рыб.

При увеличении скорости передвижения локомотивной рыбы переносятся на дистальную часть тела и скорость достигается за счет частоты движений хвостового плавника.

Совершенствование движителя рыб в онтогенезе

проходит путь от угревидного типа плавника к скумбриозному (Ю. Г. Алеев, 1963).

Как видно из рис. 19, на первой стадии формирования движителя личинки имеют удлиненное, сжатое с боков тело, окаймленное одним плавником (а). При малых размерах рыб мало число Рейнольдса, следовательно, относительное сопротивление больше и движения должны быть экономными. В дальнейшем движитель рыбы постепенно приближается к скумбриозному типу, а локомоторные движения переносятся на задний конец тела. Как будет показано ниже, определенная аналогия наблюдается в «онтогенезе» и «филогенезе» совершенствования техники спортивных способов плавания — от высокого КПД до высоких скоростей.

Многие исследователи также отмечают, что максимально доступные скорости гидроавтов пропорциональны размерам их тела, причем степень пропорциональности для всех видов рыб неодинакова и колеблется от $L^{0,65}$ до $L^{1,09}$. Примерно такая же степень пропорциональности отмечена и для людей. Для мужчин она составляет $L^{0,81}$, для женщин $L^{0,93}$.

Эффективность ундуляционных движений прежде всего определяется количеством сочленений. В этом

смысле многозвеньевой механизм скелета рыб следует признать совершенно безупречным. У человека же тело приспособлено к другому роду локомоций, поэтому его самая ответственная для локомоторных движений дистальная часть — ноги — имеют всего лишь три сочленения с весьма ограниченными кинематическими характеристиками. Наиболее подвижный тазобедренный сустав находится на проксимальной части конечности, особой подвижности которой для плавательных локомоций как раз не требуется. Разгибание сустава колена ограничено так же, как и наиболее ответственного сочленения — голеностопного сустава.

Мышечная масса чрезвычайно рационально распределена в теле рыб и дельфина: 90% ее обслуживает локомоторный акт, о чем можно судить по направлению мышечных волокон, обеспечивающих в данной конструкции максимально эффективную систему. По своему функциональному значению мышцы рыб почти полностью подчинены локомоциям ундуляционного типа. Они объединены в две крупные группы, двигающие плавник в одну и другую сторону.

Монолитность мышечных групп рыб и дельфинов, их общее участие в движениях хвостового плавника и способ крепления к нему создают условия для максимального использования мышечной силы в локомоторном акте и позволяют рыбам развивать удельную мощность во много раз превосходящую возможности человека в любом двигательном акте.

В свою очередь наиболее эффективное движение ноги при плавании способом кроль — движение вниз — обеспечивается только мышцами-сгибателями бедра и мышцей, разгибающей голень. Эти мышцы едва ли составляют 3% от общей массы мышцы человека. Кроме того, рычажная система руки и ноги человека с точки зрения механики относится к так называемым рычагам скорости с проигрышем в моменте силы. При этом сухожильные мышцы, например четырехглавой бедра, расположено под острым углом к берцовой кости, что ограничивает и без того малое плечо силы. В рычажной системе локомоторного акта рыб плечо рычага мускульной силы незначительно отличается от плеча сопротивления, что, несомненно, увеличивает мощность локомоторных движений рыб.

Стопа человека не имеет ни достаточной гребковой поверхности ни приспособлений направляющих поток воды продвижения. В результате этого некоторая масса воды преждевременно соскальзывает в стороны, унося с собой частицы импульса силы. Недостаточность в подопытном сгибании стопы и ее одностороннее пропульсивное значение при движении вниз, дополняют и без того наглядную картину малой приспособленности ног к удлинительным движениям.

Относительная плотность тела рыб, принимая во внимание ее сезонную и возрастную динамику, колеблется от 0,9 до 1,09 (Ю. Г. Алеев, 1976). Несмотря на довольно широкий диапазон относительной плотности тела, плавучесть рыб благодаря плавательному пузырю и другим функциональным приспособлениям регулируется имп. близко к нейтральному уровню. Центр тяжести и центр гидростатического давления рыб расположены очень близко, поэтому вращающий момент тела крайне незначителен.

При сравнительной характеристике гидродинамических качеств человека и морских животных необходимо учитывать функциональное приспособление к дыханию в водной среде, а также приспособления к температурным условиям, которые, несомненно, у рыб более совершенны.

Гидродистанционные силы в бассейне

Гидродистанционными силами можно условно назвать силы взаимодействия, возникающие между пловцом и находящимися на некотором расстоянии от него другими твердыми телами. Такими телами могут быть борт или дно бассейна, а также тело другого пловца, плывущего рядом, впереди или сзади.

Причины возникновения сил взаимодействия твердых тел на расстоянии частично можно объяснить разность гидростатического давления, которое определяется с помощью уравнения Бернулли. Однако часть дистанционных сил, возникающих в гидродинамическом поле и названных В. В. Шулейкиным (1941) пондеромоторными силами, не выяснена.

В спортивной практике, например, известно, что результаты на крайних дорожках (вблизи бортиков) хуже,

чем на средних. Также известно, что плыть за лидером легче.

В целях изучения дистанционных сил возникающих во время плавания, был проведен модельный эксперимент в гидроканале. При пересчете результатов моделирования учитывали число Рейнольдса и данные сопротивления воды, полученные ранее при буксировке пловцов. Затем результаты были пересчитаны на «усредненного» пловца. Переходный масштаб от модели к натуре составлял 93,2.

Влияние бортика и дна бассейна. В табл. 8 приведены данные, характеризующие зависимость между расстоянием до бортика и дна бассейна и величиной сопротивления воды движущемуся телу пловца.

Таблица 8. Зависимость сопротивления воды от степени приближения пловца к бортику и дну бассейна ($v=2$ м/с)

Расстояние от бортика до тела пловца, м	Сопротивление, П	Увеличение сопротивления, %	Снижение скорости с 2 м/с	Результат на 100 м, с
Бортик				
0,1	135	7,3	1,93	51,81
0,2	132	5,1	1,95	51,28
0,3	130	3,5	1,96	51,02
0,4	128	2,5	1,98	50,50
0,5	127	1,2	1,99	50,25
0,6	126	0,4	—	50,10
Дно				
0,1	137	8,8	1,92	52,07
0,2	134	6,4	1,94	51,0
0,3	132	4,6	1,95	51,28
0,4	130	3	1,97	50,76
0,5	128	1,6	1,98	50,50
0,6	126	0,8	—	50,10
1	125	—	—	50

Как видно, при движении тела параллельно бортику и дну бассейна со скоростью 2 м/с сопротивление начинает увеличиваться на расстоянии 0,6 м. Коэффициент увеличения сопротивления при приближении к бортику на каждые 0,1 м равен $x^{-0,05}$, при приближении ко дну — $y^{1,06}$. Более значительное влияние дна можно объяснить большей площадью горизонтальной плоскости тела по

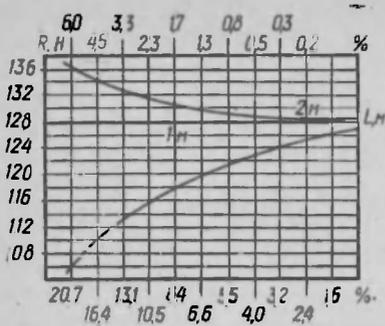


Рис. 20 Величина сопротивления воды лидеру и лидируемому в зависимости от расстояния между ними: верхняя кривая — сопротивление лидеру, нижняя кривая — сопротивление лидируемому

возникают ситуации, когда два пловца находятся рядом и их соседство оказывает определенное влияние на скорость продвижения. В одних случаях сопротивление продвижению тела снижается, а в других — увеличивается. Эти изменения зависят от 1) взаимного расположения пловцов, 2) расстояния между ними и 3) скорости плавания.

На рис. 20 нижней кривой показано снижение (в %) сопротивления воды пловцу, лидирующему на скорости 2 м/с. Верхней кривой показано увеличение усилий лидера для того, чтобы сохранить скорость 2 м/с.

Своего рода течение, образующееся за лидером, как видно, благоприятствует пловцу и в некоторой степени отрицательно сказывается на скорости лидера. Тянувшийся за ним поток воды утяжеляется телом пловца, более инертным, чем частицы воды.

При снижении скорости плавания значение лидерства уменьшается.

При исследовании взаимодействия двух тел, движущихся рядом на одном уровне, выявлено весьма существенное стремление к их сближению. При этом с увеличением скорости взаимное притяжение увеличивается. На скорости 1,5 м/с критическое расстояние между телами составляет 0,7 м. При увеличении скорости до 2 м/с оно увеличивается до 1 м.

сравнению с сапфгальной, а также иными условиями обтекания их поверхностей. Это особенно важно учитывать в подводном спорте, где возможно приближение спортсмена ко дну. В подводном плавании, кроме того, близость бортика заставляет пловца помимо воли плыть более осторожно, чтобы не задеть его рукой или ногой.

Влияние лидера На тренировочных занятиях и спортивных соревнованиях по плаванию часто

При некотором отставании одного тела от другого взаимодействие тел увеличивается и выражается в снижении сопротивления телу отстающего пловца. Самое существенное снижение сопротивления отмечается, когда голова отстающего находится на одном уровне с головой лидера на расстоянии 1 м. В этом случае на скорости 2 м/с сопротивление отстающего снижается более чем на 7%. При отставании на 0,5 м от стоп лидера сопротивление снижается на 4% и при отставании на 1 м — на 1,5%.

При отдалении (влево, вправо) от лидера влияние лидирования уменьшается. Однако при отдалении на 1,5 м и при отставании на 0,5 м и 1 м влияние лидера сказывается в большей мере, чем при меньшем отдалении.

При увеличении отставания от лидера сопротивление лидируемого увеличивается. При отставании на 1,5 м и отдалении на 1 м сопротивление увеличивается на 5% и при отставании на 2 м — на 2%.

При отставании пловцов друг от друга на 3 м взаимодействия их тел не выявлено.

Обнаруженное взаимодействие тел частично можно объяснить картиной отходящих за лидером волн, обладающих определенной кинетической энергией. Снижение сопротивления отмечено в случаях, когда отстающее тело находилось в зоне отходящих волн, и увеличение сопротивления — когда тело попадало на нисходящий гребень третьей волны.

Отходящие волны хорошо заметны на гладкой поверхности воды при скольжении или буксировке пловца. Угол их расхождения составляет около 30°. При увеличении скорости этот угол почти не изменяется, а увеличивается лишь высота волны.

Необходимо отметить, что приведенные в этом разделе данные относятся к движению тел в положении скольжения и возмущение воды, вызываемое гребковыми движениями, не учтены.

Создание силы тяги (локомоции)

Одним из важнейших компонентов техники спортивного плавания является создание тяги. В основе создания тяги заложен принцип: для продвижения вперед пе-

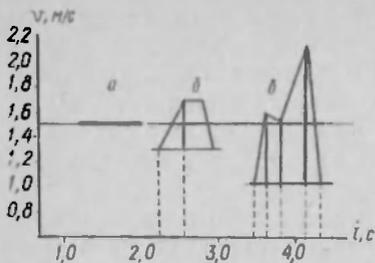


Рис 21. Равномерное и неравномерное движение

обходимо отбрасывать назад некоторую массу воды, пропорциональную скорости продвижения.

Варианты описывания воды в различных способах плавания неодинаковы. Они обусловлены правилами соревнований, а также анатомическим строением; морфофункциональными данными пловца и т. п.

Функциональное назначение гребковых движений заключается в создании тяги, поддержании тела у поверхности воды и обеспечении прямолинейного движения (компенсаторные движения). Главная задача спортивного плавания — достижение максимальной скорости, поэтому доминирующую роль здесь играет компонент тяги. Другие компоненты являются вспомогательными, обслуживающими.

Общие закономерности создания тяги. Наиболее экономичным способом передвижения является равномерное и прямолинейное движение. В свою очередь наиболее экономичный способ реализации мышечных усилий для создания тяги — максимальное использование площади гребковых поверхностей.

Равномерность и прямолинейность движения. При равномерном движении в воде сила тяги направлена лишь на преодоление встречного сопротивления среды и определяется количеством движения, $K = -mv$. При неравномерном движении — ускорениях — сила тяги дополнительно расходуется на преодоление сил инерции массы тела и присоединенных слоев воды, $F = ma$. Для достижения одной и той же скорости прилагаемые усилия при различных способах плавания и различных вариантах техники одного и того же способа неодинаковы. Например, при равномерном движении для достижения средней скорости 1,5 м/с необходима тяга, равная только силе сопротивления воды, допустим 72 Н. (рис. 21, а). При плавании способом кроль на груди для достижения средней скорости 1,5 м/с движением руки создается уско-

решие $a = \frac{1,7-1,3}{0,35} = 1,14 \text{ м/с}^2$ (рис. 21, б). Если масса пловца 70 кг, то сила, создаваемая для преодоления инерции его тела, будет $F_1 = 1,14 \cdot 70 = 79,8 \text{ Н}$. При плавании способом брасс (рис. 21, в) неравномерность движений более выражена, поэтому и прилагаемые усилия гораздо больше. Так, для ног $a = \frac{1,6-1,0}{0,2} = 3 \text{ м/с}^2$ и $F_1 = 3 \cdot 70 = 210 \text{ Н}$, для рук $a = \frac{2,1-1,52}{0,3} = 1,93 \text{ м/с}^2$ и $F_1 = 1,93 \cdot 70 = 135 \text{ Н}$. Видно, что чем больше неравномерность продвижения, тем больше усилий пловец должен приложить для достижения намеченной скорости.

Нетрудно заметить, что равномерность продвижения зависит от характера импульса прилагаемой силы, $i = Ft$. Продвижение тем равномерней, чем больше импульс силы зависит от временного показателя. В случае δ средняя скорость достигнута силой, в 2 раза меньшей, чем в случае ϵ .

Стремление создать импульс силы за счет временно-го компонента является основным показателем экономичности динамических резервов пловца. На практике это достигается гребковыми движениями с плавным нарастанием усилий.

Прямолinéйнóе движение является наиболее выгодным. Криволинейное движение, кроме удлинения пути, всегда ускоренное и требует дополнительных усилий. Криволинейное движение в плавании возникает по вертикальной (вверх—вниз) и поперечной осям (вправо—влево). Во всех случаях оно зависит от направления гребковых движений.

Удлинение пути требует, естественно, больше времени для его прохождения. Легко подсчитать, например, что в способе брасс общий путь пловца при его горизонтальном перемещении на 1,25 м и вертикальном на 0,15 м будет на 0,04 м длиннее. Следовательно, на дистанции 100 м за 30 циклов пловец пройдет путь с учетом вертикального перемещения $0,04 \cdot 80 + 100 = 103,2 \text{ м}$.

Вертикальная составляющая сила равна массе тела, находящегося на поверхности воды в конце гребковых движений (примерно 10% общей массы тела), т. е. от горизонтальной силы тяги отнимается около 7 кг.

Однако устройство аппарата опоры и движения человека и условия выполнения гребковых движений не позволяют полностью избежать вертикальной составляющей силы, которая возникает одновременно с горизонтальной.

Кроме отмеченного, отклонение от прямолинейного продвижения вызывает дополнительные силы сопротивления среды. Перемещения вправо—влево или вверх—вниз во время движения создают поперечные токи воды, которые препятствуют обтеканию тела.

Приспособление аппарата опоры и движения человека к плавательным локомоциям идет по пути сокращения тех элементов движений, в которых сколько-нибудь выражены усилия по вертикальной или поперечной составляющей.

Механический коэффициент полезного действия гребковых движений. Механическую эффективность гребковых движений можно выразить их мощностью и КПД. Мощность гребковых движений равна кинетической энергии воды, отбрасываемой за единицу времени:

$$E_c = \frac{mv^2}{2} / c,$$

где m — масса отбрасываемой воды и v — скорость гребкового движения. Очевидно, что большая экономия энергии может быть достигнута при больших значениях m и малых v , так как последнюю нужно увеличивать в квадрате (Р. Александер, 1970). В конечном счете механический КПД плавательных локомоций тем выше, чем меньше разность длины траектории гребкового движения и пути продвижения пловца. Эта разность может быть минимальной при достаточно высоком значении m , которая зависит от площади гребковых поверхностей.

Гребковые поверхности ног человека не позволяют достигать максимальных значений КПД. Так, например, при плавании способом кроль отношение пройденного пути тела к длине траектории движения ног составляет около 0,25. Мышечная сила ног явно превышает возможности гребковых поверхностей в захвате достаточного объема воды. Развиваемая пловцами-разрядниками тяга ногами с ластами при способе кроль более чем в 2 раза превышает тягу без ласт. Гребковые поверхности стоп при плавании способом брасс находятся ближе к опти-

мальной величине. Это подтверждают эксперименты с различными вариантами ласт, специально изготовленных для басса. В лучших случаях ласты увеличивали силу тяги до 32% при средних данных 23,4%. В проведенном эксперименте также было отмечено, что чем выше квалификация пловца, тем меньше увеличивалась сила тяги при плавании с помощью ласт.

Более приспособлены к плаванию гребковые поверхности рук. При их увеличении с помощью терлонок (Б. И. Онопrienко, 1963) скорость пловца изменяется незначительно, а у квалифицированных пловцов перепонки не увеличивают ни скорости плавания, ни силы гребковых движений. Отношение пройденного пути к гребковому «шагу» рукой у квалифицированных пловцов крольцов составляет 0,76, с перепонками — 0,83. Это наводит на мысль, что мощность гребкового движения рукой в отличие от ног создается не максимальным повышением значения m , а динамическим компонентом.

Гидродинамическая характеристика кисти и стопы. Основными гидродинамическими показателями кисти и стопы как движителей является сопротивление воды. При сравнении их различных положений преимущество с точки зрения динамики будет иметь то, в котором кисть или стопа испытывают большее сопротивление. Однако замерить сопротивление воды конечности живого объекта очень сложно, поэтому для определения гидродинамических характеристик кисти и стопы нами применялся модельный эксперимент.

Кисть. Сопротивление кисти исследовалось в следующих положениях: 1) пальцы вместе, кисть выпрямлена — «плоская» (рис. 22, а); 2) большой палец в сторону (б); 3) кисть «ложечкой» (в); 4) пальцы врозь (г); 5) кисть с дистальной частью предплечья 10 см. Результаты исследования в пересчете на натуральные размеры представлены в табл. 9.

Как видно, сопротивление воды при изменении формы кисти изменяется незначительно (положения 1, 4, 5 и 6) и не пропорционально площади миделя. Это свидетельствует о том, что, кроме площади миделя, существенное значение имеет форма кисти, которая влияет на ее обтекаемость.

В положении 5 кисти придана наименее обтекаемая форма за счет сгибания пальцев в пястнофаланговых су-

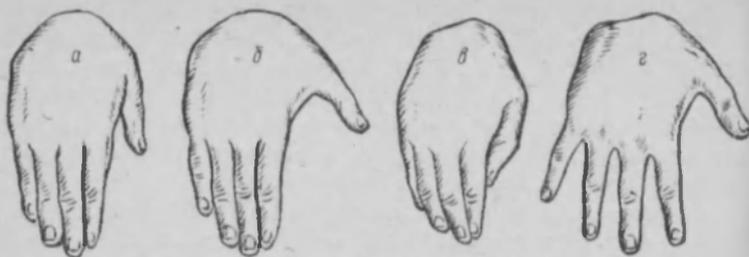


Рис. 22. Сопротивление кисти в различных положениях пальцев ($V = 2$ м/с):
 а — $R = 45,3Н$; б — $R = 46,5Н$; в — $R = 47,0Н$; г — $R = 41,1Н$

ставах. Однако при этом уменьшилась площадь мидея, и существенного увеличения сопротивления ладони не наблюдалось.

При увеличении площади гребковой поверхности за счет 10 см дистальной части предплечья (положение 7) пропорционально увеличилось и сопротивление. Однако измерения проводились при одинаковой линейной скорости и для кисти и для предплечья. В естественных условиях рука выполняет вращательное движение и линейная скорость кисти и предплечья неодинакова. Так, центр площади кисти при выпрямленной руке находится на расстоянии 0,7 м от оси вращения и движется со скоростью 2 м/с, а центр указанного в таблице участка предплечья расположен на 0,13 м ближе к оси вращения, и его скорость равна 0,62 м/с. Следует учитывать и менее благоприятное положение угла гребковой плоскости предплечья в начале и конце гребка.

Таблица 9. Сопротивление кисти на скорости 2 м/с

Положение кисти	Площадь мидея, см ²	Сопротивление, Н
1. Пальцы вместе, кисть выпрямлена, «плоская»	150	43,0
2. То же	175	45,3
3. То же	200	47,7
4. Большой палец в сторону	163	46,5
5. Ладонь «ложечкой»	148	47,0
6. Пальцы врозь	175	41,5
7. Кисть с дистальной частью предплечья 10 см	250	63,8

Изменение площади кисти (положения 1, 2, и 3) на 10 см^2 соответственно изменяет сопротивление (до 5%). Это свидетельствует о большом значении величины площади кисти для повышения динамического КПД гребковых движений руками.

По приведенным данным можно заключить, что самым рациональным вариантом формы кисти для выполнения гребковых движений является положение «ложечкой». Однако взаимодействие мышц, обслуживающих положение кисти во время гребка, более выгодно при отведенном в сторону большом пальце. Это объясняется тем, что мышцы, отводящие и противопоставляющие большой палец, значительно сильнее мышцы, приводящей палец. При фиксации кисти во время гребка в общем напряжении мышце, приводящей большой палец, трудно противостоять силе мышц, отводящих большой палец. По этой причине большинство пловцов выполняют гребковое движение рукой с отведенным в сторону большим пальцем.

Площадь миделя кисти пловца в среднем в 4,7 раза меньше площади миделя его тела, а площадь поверхности кисти в 53 раза меньше площади поверхности тела. Однако относительное сопротивление кисти в 1,5 раза больше относительного сопротивления тела. Отсюда можно приблизительно вывести, что среднее значение коэффициента

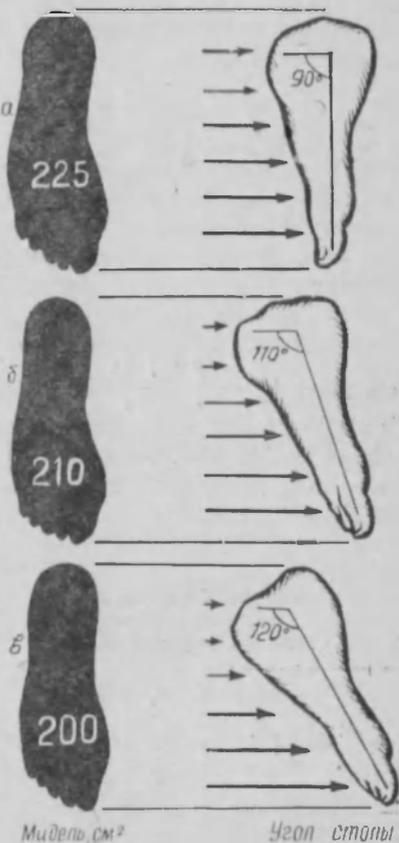


Рис. 23 Сопротивление воды тыльной поверхности стопы
 а — $R=82 \text{ Н}$ б — $R=80 \text{ Н}$ в — $R=76 \text{ Н}$

сопротивления кисти для пловца. коэффициент сопротивления тела которого 0,4, должно составлять 0,6

Стопа В спортивных способах плавания отталкивание от воды ногами производится тыльной (кроль, дельфин) и медиальной (брасс) поверхностью стопы.

Сопротивление тыльной поверхности стопы зависит от угла ее расположения к направлению движения воды. Наибольшие величины сопротивления, а следовательно, и самая большая пропульсивная способность стоп достигается при прямом их нажиме на воду под углом 90° (рис. 23, а). При нежелательном выпрямлении стоп (б, в) почти пропорционально их наклону уменьшается и сила давления на воду. С помощью формулы

$$F_1 = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2 F_2$$

где F_1 и F_2 — искомая и известная сила сопротивления, а v_1 и v_2 — искомая и известная скорость, и приведенных в табл. 10 данных можно определить силу давления стопы на воду при плавании способом кроль в любом темпе. Например, при шестиударном кроле с амплитудой движения ног 0,4 м и темпе 1 ц/с (цикл в секунду) стопа движется со скоростью $0,4 \cdot 6 = 2,4$ м/с и создает давление на воду $F_1 = \left(\frac{2,4}{2} \right)^2 84 = 121$ Н. При увеличении темпа до 0,92 ц/с скорость стопы увеличится до 2,63 м/с и давление до 145 Н (необходимо учитывать, что горизонтальная составляющая этого давления — тяга — будет значительно меньше).

Таблица 10. Сопротивление тыльной поверхности стопы на скорости 2 м/с

Положение стопы	Площадь миделя, см ²	Сопротивление, Н
Под углом 90°	225	82
» » 90°	200	76
» » 110°	210	80
» » 20°	200	76

Таблица 11. Сопротивление медиальной поверхности стопы на скорости 2 м/с

Положение стопы	Площадь миделя, см ²	Сопротивление, Н
Под углом 90°	200	64
» » 72°	205	65
» » 65°	212	66
» » 55°	217	64
» » 45°	223	62

Эти расчеты относятся к стопе с площадью миделя тыльной поверхности 225 см^2 , что приблизительно соответствует 43-му размеру обуви. Уменьшение площади миделя на 25 см^2 соответствует стопе при 41-м размере обуви; снижение сопротивление стопы на скорости 2 м/с на 6 Н , т. е. на 7% .

В связи с приведенными данными необходимо обращать внимание на размер стопы при отборе пловцов и выборе способа плавания.

Сопротивление медиальной поверхности стопы на 20% меньше тыльной. Максимальное значение сопротивления стопы в этом положении выявлено при ее повороте до угла 65° (рис. 24, б). Такое положение возникает при недостаточном разведении стоп и движении ноги сверху вниз. При дальнейшем увеличении поворота стопы сопротивление снижается (рис. 24, в; табл. 11). Это подчеркивает значение ориентации стопы в потоке для создания силы тяги.

В способе бассейнового движения ногами выполняются одновременно, что на $65-70\%$ увеличивает тягу по сравнению с движением одной ноги. По кривым внутрициклового скорости, полученным с помощью тензометрических измерений, максимальная скорость тела во время гребкового движения ног составляла $2,2 \text{ м/с}$. Скорость движения ног в этот момент, по материалам киносъемки, была $3,12 \text{ м/с}$. Следовательно, механический КПД для этого случая составляет 70% .



Рис. 24. Сопротивление воды медиальной поверхности стопы:

- а — мидель 200 см^2 , угол 90° , $R=64 \text{ Н}$;
 б — мидель 212 см^2 , угол 65° , $R=66 \text{ Н}$;
 в — мидель 220 Н , угол 45° , $R=62 \text{ Н}$

Компенсирующие движения

В отличие от движений, производимых на суше, во время плавания в силу значительной плотности воды особенно остро ощущается противодействие любуому движению со стороны среды. В результате противодействия выполняемым движениям тело перемещается в противоположную сторону. В зависимости от направления движения руки или ноги возникают силы: 1) продвигающие

или тормозящие тело вдоль его продольной оси; 2) перемещающие тело вверх или вниз и вправо или влево; 3) вращающие тело по продольной, поперечной и вертикальной оси. Перемещающие и вращающие силы оказывают тормозящее влияние на продвигающие силы, поэтому они получили название паразитных сил. Паразитные силы вызывают смещение тела в сторону от оси движения, что, во-первых, удлиняет путь и, во-вторых, создает поперечные токи воды по отношению к продольной оси тела. Это препятствует обтеканию тела вдоль этой же оси и приводит к потерям скорости и энергии.

Основной силой, которую стремится создать пловец, является продвигающая сила (тяги), направленная вперед по продольной оси тела. К вспомогательным силам относится вертикально составляющая сила гребкового движения, направленная вверх («подъемная»), и сила, затраченная на компенсаторные действия. Компенсаторные движения противодействуют перемещению и вращению тела. На их выполнение тратится часть гребкового усилия.

В процессе технического совершенствования пловца роль компенсаторных действий сводится к минимуму. Это достигается стабильным положением тела, устранением лишних действий и рациональным направлением гребкового движения. В технике спортивного плавания, как и других видов спорта, проявляется принцип концентрации функций вокруг основной двигательной задачи и «отсева» второстепенных, усложняющих биомеханическую структуру движений.

Вращение тела вокруг любой оси может быть вызвано ничтожно малой силой. Величина вращения зависит от созданного момента силы — произведения величины прилагаемой силы на ее плечо. На рис. 25 показано вращение тела вокруг его поперечной, продольной и вертикальной оси. Нажим руками на воду сверху вниз сопровождается выходом головы и плеч на поверхность, что, в свою очередь, вызывает погружение ног (а). Гребок правой рукой, выполненный в стороне от продольной оси тела, вызывает крен тела на левый бок (б). Вход руки вправо за головой создает перемещение ног вокруг вертикальной оси влево, что непроизвольно вызывает отклонение таза в эту же сторону (в).

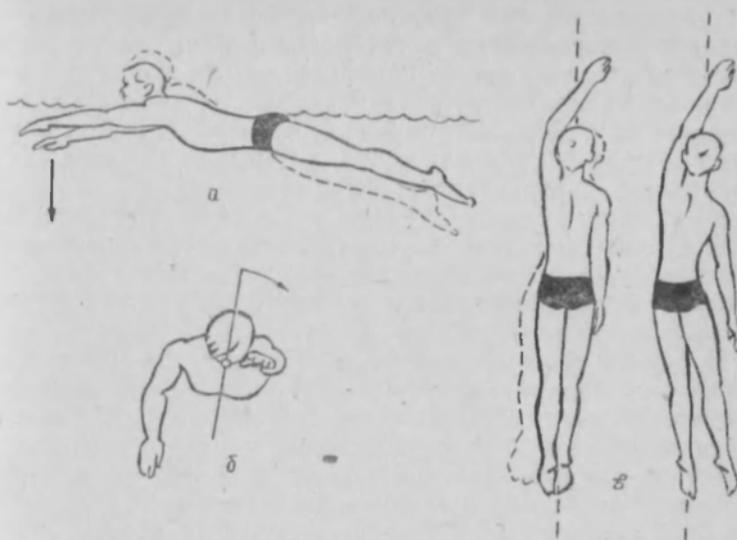


Рис. 25. Реакция опоры и вращательные движения вокруг поперечной (а), продольной (б) и вертикальной (в) оси

Компенсаторные действия человека в воде можно разделить на две группы: 1) компенсаторные движения туловищем, 2) компенсаторные движения конечностями.

Компенсаторные движения туловищем не требуют значительных усилий. Масса тела пловца, как правило, превосходит величину паразитных сил, и для создания противодействующего момента силы требуется лишь незначительное смещение тела в противоположную сторону. Однако поперечные движения туловищем вызывают «рысканье» тела и сопровождаются увеличением сопротивления воды. Движения туловищем чаще всего совершаются новичками, не освоившими правильного согласования движений. У квалифицированных пловцов компенсаторные движения телом имеют место в тех случаях, когда их невозможно заменить компенсаторными движениями конечностей (например, волнообразное движение туловищем при способе дельфин, колебание таза вокруг продольной оси при способе кроля и т. п.).

Более рациональными являются компенсаторные движения гребущими конечностями.

Их выполнение при правильно согласованных способах плавания совмещается с гребковыми движениями. При способе кроль на груди, например, четыре удара ногами выполняют компенсаторную функцию. Один из ударов сочетается с погружением в воду противоположной руки и поворотом головы для вдоха, в противном случае тело неизбежно поворачивалось бы в сторону вдоха. Во время плавания с помощью одних рук в момент вдоха компенсаторное действие осуществляется движением таза в сторону, противоположную вдоху. Движение таза во время вдоха наблюдается у новичков при плавании с согласованием движений. В начале гребковых движений руками способом дельфин голова и пояс верхних конечностей поднимаются на поверхность воды, в результате чего ноги должны были бы погрузиться в воду. Однако они в этот момент выполняют удар и удерживают тело в горизонтальном положении. При отсутствии удара компенсаторную функцию может выполнить туловище при отклонении в поясничной области, что неизбежно увеличит сопротивление воды. При этом же способе выполнения удара в момент, когда руки еще находятся в наплыве, возникает вращение тела вокруг этой же оси, в результате чего передняя часть тела погружается в воду.

Разнообразные варианты отклонения траектории гребка от прямой линии по существу представляют собой компенсаторные движения, выравнивающие положение тела. При стабильном движении ног, хорошей подвижности плечевых суставов, правильной постановке дыхания компенсаторные движения сводятся к минимуму. Это подчеркивает важность правильной постановки техники плавания в начальном периоде спортивного совершенствования. Особого внимания заслуживает развитие тех двигательных качеств, которые недостаточно интенсивно вырабатываются в процессе плавания. К ним относятся подвижность плечевых и голеностопных суставов; сила пронаторов плеча и мышц, удерживающих кисть в правильном положении; подвижность и сила супинаторов бедра (при плавании способом брасс) и ряд других.

Биомеханические характеристики спортивного плавания и методика их определения

Все движения, несмотря на богатое разнообразие, имеют общие признаки, по которым их можно сравнивать или оценивать. Эти признаки в механике принято называть характеристиками. При анализе (физически) унараженных чаще всего используются кинематические и динамические характеристики, а в спортивном плавании — и гидродинамические.

К кинематическим относятся характеристики, определяющие движения тел безотносительно к причинам, их вызывающим. К ним относятся пространственные, временные и пространственно-временные характеристики.

Для определения пространственных характеристик используют различные системы отсчета расстояния и единицы их измерения — линейные и угловые. В международной системе единиц (СИ) основной единицей линейного расстояния является метр (м). Этой единицей чаще всего пользуются и в биомеханике. Из угловых единиц в биомеханике применяют градус.

Временные характеристики раскрывают движение во времени. Основной единицей времени в биомеханике является секунда (с) и ее доли — десятые, сотые и тысячные доли секунды. Для определения больших промежутков времени применяют мину (мин) и час (ч).

К пространственно-временным характеристикам относятся скорость и ускорение.

Скорость измеряется отношением пройденного пути к затраченному времени; $v = \frac{s}{t}$, м/с. При анализе движений иногда применяется векторное изображение скорости, по которому судят о ее величине и направлении движения.

Ускорением называется изменение скорости за единицу времени; $a = \frac{v - v_0}{t}$, м/с². Ускорение считается положительным, если величина скорости становится большей, и отрицательным — если она становится меньшей.

С помощью динамических характеристик устанавливают причину изменения движений, поведение

тел в тех или иных условиях. Динамические характеристики разделяются на инерционные и силовые.

Инерционные характеристики раскрывают особенности движения тела и обуславливаются массой данного тела. Поэтому масса тела (m) — это мера его инертности. От массы тела зависит, как сила может изменить его движение, т. е. результат действия сил.

Силовые характеристики раскрывают меру воздействия одного тела на другое. Количественно сила определяется по произведению массы тела на его ускорение, $F = ma$. Движения биозвеньев человека имеют вращательный характер, и в этих движениях величина действующих сил определяется моментом силы. Момент силы — это произведение силы на ее плечо, $M_{(F)} = Fr$.

При известной силе и массе можно узнать только ускорение $a = \frac{F}{m}$, т. е., как быстро изменялась скорость. Но этого недостаточно, чтобы установить конечную скорость. Для этого необходимо знать, как долго прикладывалась сила, т. е. импульс силы, $I = Ft$.

Во время движения тело обладает определенной кинетической энергией, пропорциональной приложенной силе. Поэтому силу и мощность гребковых движений можно определить по кинетической энергии тела,

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Гидродинамические характеристики в спортивном плавании раскрывают взаимодействие тела пловца с водной средой и, в частности, выявляют причины изменения силы сопротивления воды.

Ниже приведены основные биомеханические и гидродинамические характеристики, которые используются при анализе техники спортивных способов плавания в последующих разделах.

Пространственные характеристики. *Траектория гребкового движения* — направление и величина пути кисти или стопы на протяжении цикла ($Tr_{гр}$) — устапавливается по материалам киносъемки, циклографии и т. п. с применением подвижной или основной системы ориентировки. В зависимости от поставленных задач она может определяться в сагиттальной, фронтальной или горизонтальной плоскостях. Результирующая траектория

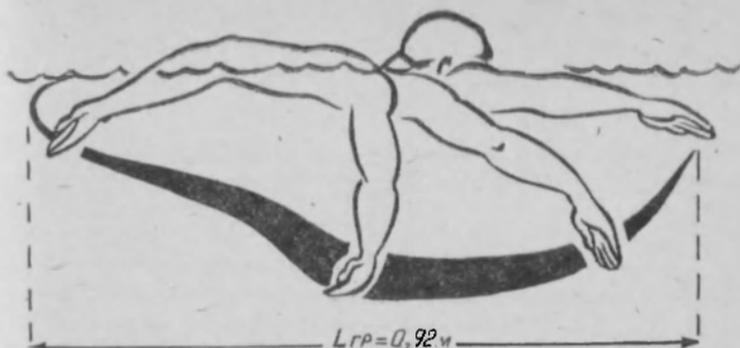


Рис. 26. Определение гребкового «шага» пловца

определяется по общепринятым формулам криволинейного движения в системе координат.

«Шаг» пловца (L) — перемещение тела за один цикл движений. Определяется путем подсчета количества циклов на дистанции 10—20 м по формуле $L = \frac{L_{д.с.}}{\Delta C}$. Если известны средняя скорость и время цикла, то $L = v \cdot c$.

«Шаг» гребкового движения ($L_{гр}$) — длина гребкового движения по горизонтальной составляющей. Определяется по материалам кино съемки и т. п. по кратчайшему расстоянию между передней и задней границами траектории (рис. 26).

Пропульсивный «шаг» ($L_{пр}$) — перемещение тела за одно гребковое движение без учета фазы скольжения. Определяется по материалам кино съемки, произведенной на фоне масштабной линейки.

Гребкальзывание гребка. Определяется разностью между гребковым и пропульсивным «шагом» ($L_{гр} - L_{пр}$).

Шаговый угол гребковой плоскости. Определяется углом между горизонтальной линией и перпендикуляром к гребковой плоскости.

Шаговый коэффициент, кинематический КПД гребка (L_{η}). Определяется отношением пропульсивного «шага» к гребковому.

$$L_{\eta} = \frac{L_{пр}}{L_{гр}}$$

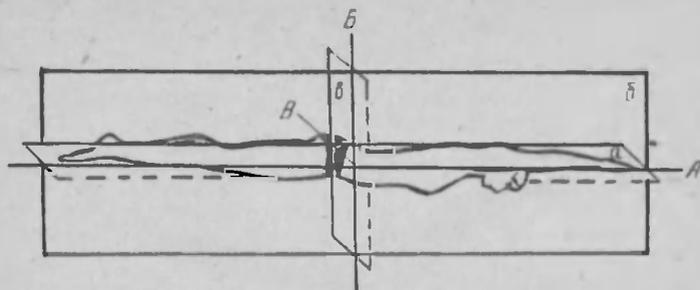


Рис. 27. Оси (*A* — продольная, *B* — вертикальная, *B* — поперечная) и плоскости (*a* — горизонтальная, *б* — сагиттальная, *в* — фронтальная) тела пловца

Обозначение осей и плоскостей тела пловца (рис 27). Во время плавания тело находится в горизонтальном положении, в котором оси и плоскости тела имеют некоторые различия по сравнению с вертикальным положением тела. Продольная ось проходит вдоль тела спереди назад (*A*); вертикальная — через центр тяжести тела сверху вниз (*B*), в вертикальном положении эта ось становится передне-задней. Поперечная ось проходит через центр тяжести тела справа налево (*B*). Горизонтальная плоскость — параллельная поверхности воды (*a*); сагиттальная — боковая плоскость, разделяющая тело на левую и правую половины (*б*); фронтальная — поперечная продольной оси тела (*в*). В вертикальном положении тела горизонтальная и фронтальная плоскости меняются местами.

Временные характеристики. *Время дистанции (t_d).* Определяется хронометрированием проплытия дистанции или ее отрезков.

Время цикла ($t_{ц}$). Определяется по данным кино съемки, тензометрии и т. п., а также путем подсчета количества циклов и их общего времени по формуле: $t_{ц} = \frac{\Delta t}{\Delta ц}$

Время отдельных фаз движений (t_x, t_y). Определяется по материалам кино съемки.

Плотность гребковых движений — отношение времени основного периода гребка по времени цикла. Определяется по данным кино съемки, тензометрии и т. п.

Темп движений — количество циклов движений за единицу времени. Определяется по данным кино съемки, тензометрии, а также путем подсчета количества циклов за определенное время. Например:

$$\frac{10 \text{ с}}{9 \text{ ц}} = 1,11 \text{ ц/с или } \frac{10 \text{ с}}{9 \text{ ц}} \cdot 60 = 66,6 \text{ ц/мин.}$$

Темп движений также можно установить по метроному, удары которого должны совпадать с началом какой-либо фазы движения.

Пространственно-временные характеристики. *Средняя скорость* ($v_{\text{ср}}$). Определяется по формуле $v_{\text{ср}} = \frac{L_{\text{дист}}}{t}$ на отрезке дистанции «чистого» плавания. На соревнованиях среднюю скорость можно вычислить без учета первых 7 м после старта и 5 м после поворота (О. И. Логунова, А. А. Ваньков, 1971). Например, на дистанции 100 м в 50-метровом бассейне путь $100 - 12 = 88$ м, а время для указанного пути — общее время на дистанции минус время, затраченное на выполнение старта и поворота ($2,5 \pm 2,5 = 5 \pm 0,35$ с).

Среднюю скорость также можно определить по материалам кино съемки, результатам тензометрии и т. п.

Максимальная и минимальная скорость ($v_{\text{мах}}$, $v_{\text{мин}}$). Определяется по материалам кино съемки, произведенной на фоне масштабной линейки, а также по записям кривых внутрициклового скорости (ВЦС), полученных с помощью датчика, прикрепленного к туловищу.

Ускорение тела ($a_{\text{пр}}$ — ускорение пропульсивное). Определяется по записям кривых ВЦС, полученных с помощью акселерометрических датчиков или по материалам кино съемки (рис. 28).

Ускорение гребковых движений ($a_{\text{гр}}$). Определяется акселерометрическим датчиком, прикрепленным к ладони на уровне третьего пястнофалангового сустава.

Коэффициент неравномерности ВЦС. Определяется разностью между максимальной и минимальной скоростями продвижения.

Динамические характеристики. **Максимальная сила гребкового движения** ($F_{\text{ст}}$) — максимальное статическое напряжение, развиваемое пловцом в какой-либо фазе гребкового движения. Измеряется динамометром на суше. Основным требованием при измерении является

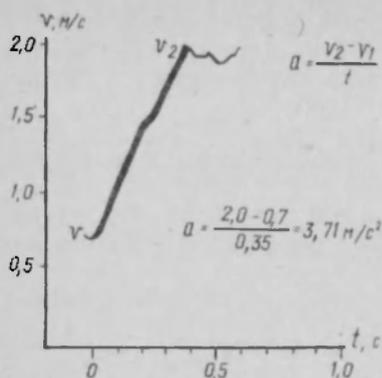


Рис. 28. Определение ускорения по прямой ВЦС

соответствие форм гребкового движения условиям плавания (рука согнута в локтевом суставе до 110° – 150° в положении «кисть обгоняет локоть»). В положении прямой руки не участвуют мышцы-пронаторы плеча, поэтому показатель динамометричен занижен на 15%. При измерении силы гребкового движения «локтем вперед» включаются сгибатели предплечья и показатель завышается до 48%.

Сила тяги (F_T). Максимальное приложение силы в воде достигается при выполнении гребковых движений на месте. Чем больше скорость передвижения иловца, тем меньше силы возможно приложить, так как снижаются минимальное значение ВЦС и разность между минимальной и максимальной скоростями. Другими словами, уменьшается ускорение, а следовательно, и сила гребка.

Сила тяги измеряется в воде на месте с помощью динамометра и амортизатора (резинового жгута) длиной 5–6 м, растягивающегося в 2 раза под действием груза 10 кг для пловцов, имеющих II и III разряд, и 12–14 кг — для пловцов высшей квалификации.

Следует учитывать, что при выполнении гребка часть силы тратится на создание тяги и часть — на закручивание частиц отбрасываемой воды. Поэтому динамометрия гребковых движений не полностью отражает усилия, которые тратит пловец на продвижение вперед. Она улавливает лишь горизонтальную составляющую силу гребкового движения.

Динамометрия гребковых движений у квалифицированных пловцов более объективно отражает прилагаемую силу, в то время как у менее опытных пловцов она не улавливает значительный процент мышечной силы, затрачиваемой ими на бесполезное возмущение потока. По этой причине борцы, олимпийцы и другие спортсмены, имеющие явное превосходство перед пловцами по силе

вым показателям на суше, теряют это преимущество при передвижении в воде.

Относительная сила тяги — отношение силы тяги (F_t) к единице объема пловца, выраженного массой (m),

$$F_{отн} = \frac{F_t}{m}$$
 Является объективным показателем тяговой силы, обуславливающим конечный результат ее действия. Например, пловец, масса которого 75 кг, обладает большей инертностью и имеет большее сопротивление по сравнению с пловцом, масса которого 65 кг. Следовательно, для достижения одинаковой скорости тяговая сила первого пловца должна превосходить силу второго. Допустим, если для достижения скорости 1,8 м/с необходимо иметь относительную силу тяги 2,6 Н, то для первого пловца тяговая сила должна равняться $75 \cdot 2,6 = 195$ Н, а второму пловцу для достижения этой же скорости достаточно $65 \cdot 2,6 = 169$ Н.

Усилие кисти и стопы в различные фазы гребкового движения. Определяется с помощью тензометрии (Б. И. Оноприенко, В. Ф. Атаманов, 1973) и других аналогичных методов, а также по ускорению на основании записей ВЦС.

Горизонтальная и вертикальная составляющие усилия гребкового движения. 1. Определяются экспериментально с помощью тензометрии (горизонтальная составляющая — по показателям датчика, прикрепленного на туловище, а вертикальная составляющая — по разности показателей датчиков на руке и туловище пловца). 2. Определяются графически на основании материалов киносъемки путем разложения вектора силы гребкового движения на горизонтальную и вертикальную составляющие. Расчет производится на траекторию кисти в сагиттальной плоскости. Величина вектора определяется по ускорению, а направление — по касательной к траектории (рис 29).

Коэффициент реализации силовых возможностей пловца. Определяется по отношению максимальной силы гребкового движения, замеренного на суше, к силе тяги, замеренной в воде, $K_p = \frac{F_{тс}}{F_{тв}}$.

Коэффициент эффективности гребковых движений (динамический КПД). Определяется по отношению сопротивления воды на максимальной скорости плавания

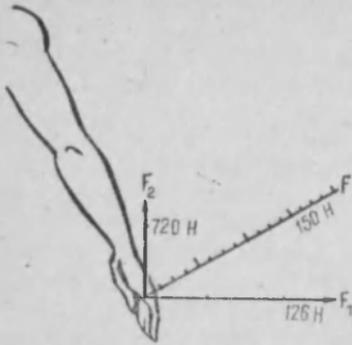


Рис. 29. Определение горизонтальной (F_1) и вертикальной составляющей силы гребкового движения (F_2) по вектору тяговой силы (F)

к силе тяги на 10-й секунде после максимального натяжения амортизатора.

Максимальную скорость измеряют на 10-метровой дистанции, а затем по формуле (с. 131), расчетным таблицам или номограммам устанавливают сопротивление воды для этой скорости.

Импульс силы. Определяется по записям ВЦС; является произведением силы тяги на время ее действия, $I = F \cdot t$.

Гидродинамические характеристики. *Гидродинамическое сопротивление тела в положении скольжения (R).* Современная гидродинамика не располагает аналитическими методами определения сопротивления воды телу

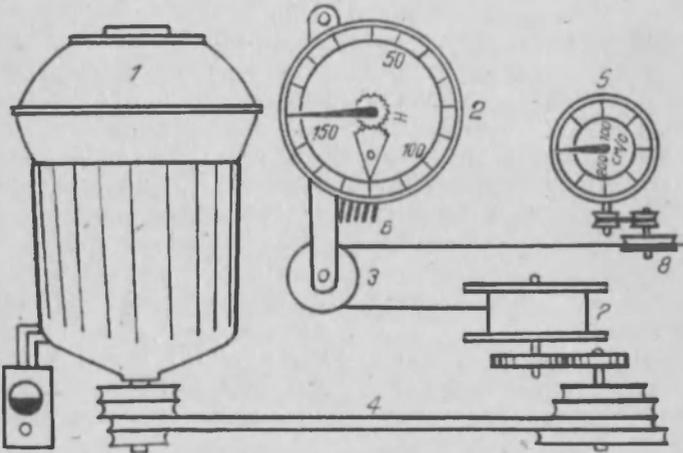


Рис. 30 Принципиальная схема прибора для измерения сопротивления воды:

1 — электродвигатель (500 Вт) с выключателем; 2 — динамометр с направляющим роликом; 3 — леска 1 мм; 4 — шкив вни редуктор; 5 — спидометр; 6 — pulley динамометра; 7 — барабан для намотки лески; 8 — система роликов

произвольной формы, которое представляет собой тело пловца. Возможным вариантом исследований в этом направлении являются экспериментальные измерения. На рис. 30 показан прибор для электромеханической буксировки пловца в воде на различных скоростях и с параллельным измерением прилагаемого усилия (Б. И. Оноприенко, 1966). Прибор устанавливается на борту бассейна. С помощью электромотора (1) пловец подтягивается леской к прибору, а динамометр (2), через блок которого проходит леска (3), показывает силу натяжения лески, зависящей от величины сопротивления воды. Шкивной редуктор (4) изменяет скорость буксировки, а спидометр (5) позволяет контролировать эту скорость. Показатели сопротивления воды и скорости буксировки можно фиксировать записывающим устройством, защищенным от динамометра и спидометра.

На основании проведенных нами многочисленных гидродинамических измерений найдена формула для определения сопротивления воды телу пловца в положении скольжения, которую с достаточной достоверностью можно применять для практических целей:

$$R = C \bar{m} \bar{L} v^2,$$

где C — коэффициент размерности; m — масса пловца; L — рост пловца; v — скорость движения тела в воде в положении скольжения. Для определения коэффициента размерности (C) прилагаются номограммы (рис. 31), в которых учтены морфологические различия пловцов по полу и возрасту.

Положение скольжения является наиболее обтекаемым. Поэтому показатель сопротивления тела в положении скольжения служит исходным для количественной оценки других менее обтекаемых поз.

Гидродинамическое сопротивление тела в различных плавательных позах ($R_{x,v}$ и т. п.). При незначительных изменениях позы для его определения применяют буксировку пловцов с помощью специальных средств, величину сопротивления которых учитывают и отнимают от общего показателя. При значительном изменении позы обтекаемость тела приобретает пульсирующий характер. Тело становится неустойчивым в такой степени, что измерение сопротивления практически невозможно.

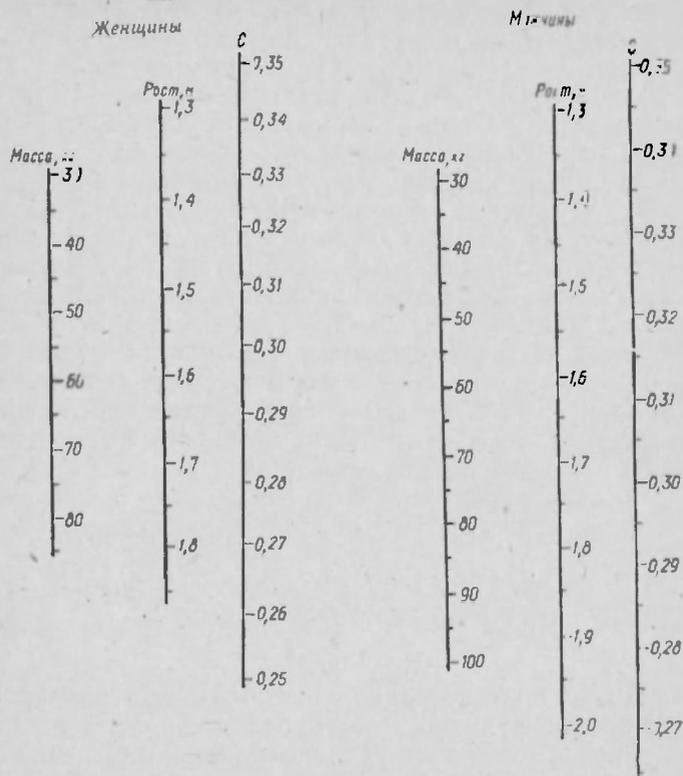


Рис. 31. Номограммы для определения коэффициента сопротивления воды (C) по формуле $R = m \cdot V^2 \cdot L \cdot V^2$

Одним из методов изучения сопротивления является моделирование. Основы теории подобия в гидродинамических исследованиях изложены М. Я. Алферьевым (1952). Моделирование подобных телу человека фигур проводится в гидроканале, размеры которого не ограничивают характер обтекания фигур по сравнению с бесстечным пространством и позволяют проводить буксировку с достаточной скоростью.

Коэффициент обтекаемости позы — отношение сопротивления какой-либо плавательной позы к сопротивлению тела в положении скольжения.
$$C_{\text{позы}} = \frac{R_{\text{позы}}}{R_{\text{тела}}}$$

Коэффициент сопротивления воды (С). Определяется опытным путем на основании показателей сопротивления воды и его составляющих по общепринятой формуле $C = \frac{R}{\frac{1}{2} \rho v^2 S}$. Его величина в наибольшей степени зависит от формы тела. В спортивном плавании он может являться показателем гидродинамических качеств пловцов.

Структура спортивных способов плавания

Способ плавания можно рассматривать как систему движений, состоящую из подсистем, которые в свою очередь можно разделить на элементы систем. Подсистемы и элементы систем в терминологии спортивного плавания получили определенные названия. Так, способ плавания как система движений состоит из подсистем — движения рук и движения ног. Эти движения образуют циклы. Циклы движений рук и ног разделяются на основной и подготовительный периоды. Основным периодом подсистемы называется гребковое движение, создающее силу тяги для продвижения, а подготовительным периодом — движение руки и ноги в исходное положение к началу гребка. В свою очередь периоды подсистем состоят из отдельных фаз движений и их элементов. В основном периоде движения рук различают следующие фазы: захват воды, гребок (подтягивание и отталкивание) и конец гребка. В подготовительном периоде: выход руки на поверхность воды, движение над водой, вход в воду и ныряние.

Каждая система движений имеет свою структуру. Пространственные, временные и пространственно-временные характеристики движений создают кинематическую структуру, а динамические характеристики образуют динамическую структуру.

Система движений пловцов обусловлена определенной двигательной задачей, в связи с этим ее подсистемы, части и элементы тесно взаимосвязаны. Однако не все элементы системы оказывают положительное влияние на достижение конечного результата. Часть из них имеют отрицательные характеристики. К ним относятся элементы, вызывающие отрицательное ускорение, — подготови-

тельные движения и позы, увеличивающие сопротивление тела. Поэтому одна из главных задач совершенствования техники заключается в сведении к минимуму отрицательных кинетических и динамических характеристик путем выбора более обтекаемых поз, сокращения их во времени, замены одних другими и т. п.

Элементы системы и ее структуры в процессе спортивного совершенствования постоянно изменяются. Новые элементы системы и структуры могут быть различными, но они должны быть подчинены общему закону механики — экономичности и эффективности движения, который в плавании определяется равномерностью и прямолинейностью движения.

Необходимо отметить также, что многочисленные факторы внешнего и внутреннего порядка нарушают стабильность техники, изменяют структуру почти каждого цикла движений. Как показывают записи ВЦС, чем сложнее система движений, тем она более изменчива. Например, по кривым ВЦС при плавании с помощью одних ног способом кроль видно, что кинематическая и динамическая структура движений изменяется только в тех случаях, когда пловец намеренно меняет темп движений. При плавании же с помощью одних рук характер каждого цикла движений имеет значительные различия. И эти различия еще более выражены при плавании в координации.

Внешние факторы, нарушающие стабильность техники, — это приближение к дорожке, изменение направления движения, набегание волны (которая может заставить пловца поднять несколько выше голову), приближение к поворотному щиту, сближение с плывущим рядом пловцом и т. п., внутренние факторы — изменение характера дыхания, усилия гребкового движения, темпа движений, усталость и т. п.

Анализ записей ВЦС позволяет выделить два основных варианта внутрициклового изменчивости техники: изменяющий и изменяемый результат. В первом варианте различие в структурных характеристиках отдельных циклов не влияет на среднюю скорость. Во втором варианте изменение внутрициклового структурных характеристик изменяет и среднюю скорость. В весьма редких случаях, у квалифицированных пловцов с хорошо постав-

ленной техникой, наблюдается стабильный вариант, когда несколько циклов почти повторяют друг друга.

Биомеханическая характеристика плавания способом кроль на груди

Кроль на груди — самый быстроходный способ плавания, в котором удачно сочетаются гребковые движения рук и ног, обеспечивающие наиболее равномерное продвижение. Благодаря эффективности и экономичности гребковых движений способ кроль оказался приемлемым в плавании и на короткие, и на длинные дистанции.

Движение руками. В способе кроль движения рук попеременные, правой и левой. Они создают основную силу тяги. Относительная быстроходность попеременных движений руками объясняется непрерывной сменой гребковых движений.

Пространственные характеристики. Во время выполнения гребкового движения рукой траекторию кисти в подвижной системе ориентировки можно представить как замкнутый круг, радиусом которого является расстояние от оси плечевого сустава до центра площади гребковой поверхности ладони. Это расстояние у взрослого пловца составляет 0,63—0,70 м. Следовательно, линейный путь по окружности будет $2\pi \cdot R = 4-4,4$ м. Горизонтальная составляющая пути (диаметр) — 1,3—1,4 м, что в 3,14 раза меньше окружности. Нижнюю часть окружности можно рассматривать как траекторию гребкового, а верхнюю — как траекторию подготовительного движения. Однако анатомическое строение руки и механическая целесообразность заставляют пловца изменять траекторию движения во всех плоскостях

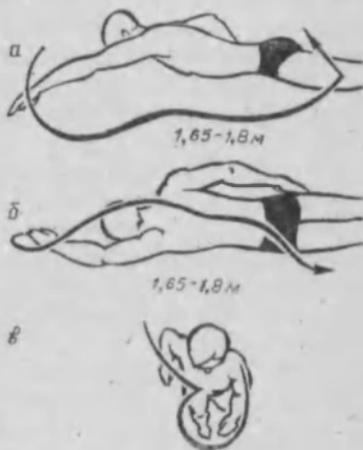


Рис. 32. Траектория гребкового движения рукой при плавании способом кроль на груди: а — в сагиттальной, б — в горизонтальной, в — во фронтальной плоскости

тях. В основном периоде длина траектории гребка в горизонтальной и сагитальной плоскостях — 1,65—1,8 м (рис. 32). Результирующая траектория кисти будет составлять 1,75—1,89 м, что превышает ее горизонтальную составляющую на 34—35%. При выполнении подготовительного движения горизонтальная составляющая кисти — 1,3—1,4 м, а результирующая траектории в зависимости от подвижности плечевого сустава — 1,6—1,8 м. При оценке величины и направления траектории подготовительного движения необходимо учитывать ее влияние на равновесие тела. Чем прямолинейней ее направление, тем больше устойчивость тела.

Общая траектория гребкового движения кисти при плавании способом кроль на груди составляет 3,35—3,7 м, что на 16% меньше траектории движения кисти по окружности.

Наиболее информативными пространственными характеристиками гребковых движений в спортивном плавании являются гребковый и пропульсивный «шаг», которые одновременно служат для определения «шагового» коэффициента и проскальзывания гребка. В способе кроль на груди гребковый «шаг» можно определить по сумме кратчайшего расстояния от третьего пястнофалангового сустава кисти при поднятой и опущенной руке и расстояния движения плеча при его опускании (приблизительно 0,1 м). Например, для пловцов ростом 1,8 м гребковый «шаг» составляет 1,4—1,5 м.

У квалифицированных пловцов разница между гребковым и пропульсивным «шагом» (проскальзывание гребка) составляет 0,3—0,4 м, а «шаговый» коэффициент при плавании в спокойном темпе — 0,75—0,82, при плавании в максимальном — 0,6—0,7. У женщин величина проскальзывания гребка меньше и «шаговый» коэффициент выше.

Для пространственных характеристик гребковых движений руками можно отметить следующие закономерности. 1. Гребковый «шаг» зависит от длины рук пловца, которая в свою очередь зависит от длины тела. Для общего количества обследованных нами пловцов (Б. И. Оноприенко, 1968) коэффициент корреляции показателей длины рук и роста составлял 0,827; для ограниченного контингента пловцов ростом от 1,80 до

1,87 м — 0,403. 2. Величина пропульсивного «шага», «шаговый» коэффициент и проскальзывание гребка обуславливаются физической подготовленностью пловцов. С повышением тренированности при одинаковом темпе движений пропульсивный «шаг» и «шаговый» коэффициент увеличиваются, а величина проскальзывания гребка соответственно уменьшается. 3. При увеличении темпа движений пропульсивный «шаг» уменьшается. У квалифицированных пловцов это происходит за счет сокращения менее эффективных фаз гребка (начальной и конечной). У менее подготовленных пловцов при увеличении темпа скорость гребковых движений увеличивается и за счет сокращения основной фазы гребка. Существует критический момент, когда «шаговый» коэффициент настолько снижается, что дальнейшее увеличение темпа гребковых движений снижает скорость поступательного движения даже у пловцов высокого класса. 4. Величина пропульсивного «шага» связана положительно зависимостью с эффективностью работы ног. Однако при чрезмерном акцентировании усилий ног тяговая сила рук снижается. 5. Пропульсивный «шаг» и «шаговый» коэффициент с нарастающим утомлением уменьшаются, а проскальзывание гребка увеличивается.

Временные характеристики. Основным показателем, определяющим спортивный результат в плавании, служит время проплыvania дистанции. При анализе технической и морфофункциональной подготовленности пловцов учитывается также время цикла, или темп движений. Этот показатель зависит от скорости плавания, квалификации пловцов и их физической подготовки.

Увеличение темпа происходит за счет сокращения подготовительной фазы движений и менее эффективных фаз гребка. При этом скорость выполнения основной фазы гребка у квалифицированных пловцов изменяется незначительно. В 1960—1970 гг. темп движений лучших пловцов мира на 100-метровую дистанцию с результатом 53—54 с составлял 50—60 дв/мин. В настоящее время результат улучшился на 3 с, но темп возрос более чем на 10 дв/мин.

Темп движений у женщин ниже на 5—7 дв/мин, что объясняется их более слабой физической способностью.

Исследованиями установлено, что плотность гребковых движений руками при плавании способом кроль на груди с увеличением темпа возрастает и в темпе 50 дв./мин достигает 1,0. При дальнейшем увеличении темпа происходит «наслаивание» начальной фазы гребка одной руки на окончание гребка второй. Большая плотность гребковых движений содействует равномерности продвижения и в этом смысле выгодно отличает способ кроль на груди от других способов плавания.

У пловцов одинаковой квалификации темп движений варьирует довольно значительно. Малая и средняя скорости плавания могут быть достигнуты за счет различных вариантов сочетания темпа, «шага», импульса силы и т. п., однако диапазон максимальных скоростей доступен только тем пловцам, у которых пропульсивный «шаг» с увеличением темпа изменяется незначительно.

В конце дистанции темп увеличить легче, чем длину пропульсивного «шага», поэтому в конце дистанции отмечается более высокий темп (Г. И. Абсалимов, Г. И. Куренков, 1966).

Основным периодом гребка в способе кроль на груди можно считать ту его часть, в которой горизонтальная составляющая прикладываемой силы становится больше вертикальной составляющей. Но если учесть, что сопротивление воды зависит от степени погружения тела в воду, то вертикальная составляющая, благодаря которой тело выходит на поверхность, является столько же необходимой, сколько и горизонтальная составляющая.

Пространственно-временные характеристики Показатель средней скорости продвижения тела так же, как и время проплывания дистанции, является интегральным показателем, свидетельствующим об уровне спортивной подготовки. Он, кроме того, служит сходной величиной при исследовании других пространственно-временных характеристик.

Средняя скорость плавания финалистов игр XXI Олимпиады без учета времени выполнения стартов и новоротов на дистанции 100 м вольным стилем составляла 1,895 м/с (средний результат 51,43 с), средняя скорость чемпиона — 1,955 (результат 49,99).

В оценке равномерности продвижения пловцов большой интерес представляют максимальная и минимальная ВЦС. Их диапазон зависит от величины прикладываемых

усилий. На рис 33 изображены две кривые с различными показателями ВЦС и одинаковой средней скоростью. Как видно из кривых, достижение одной и той же скорости 1,5 м/с во втором случае требует в 2 раза больших усилий.

Неравномерность движения можно определить по максимальной разности скоростей возникающих внутри цикла ($v_{\max} - v_{\min}$). У квалифицированных пловцов гребковых движений руками (без движений ног) составляет 0,3—0,45 м/с и при плавании в координации — 0,25—0,30 м/с. С увеличением темпа движений перепады ВЦС уменьшаются и продвижение становится более равномерным.

Величина ускорения зависит от квалификации, технической и физической подготовки пловцов. При выполнении гребковых движений руками можно выделить две фазы ускорения. В первой фазе (мгновенное ускорение) рука создает упор, или «захват» воды. При малых значениях ускорения достаточный импульс силы возникает за счет временного показателя лишь во второй части гребка. В свою очередь при больших значениях ускорения вода прогребается. Поэтому скорость гребка в конце первой фазы должна несколько превышать скорость продвижения тела. Ускорение второй фазы (основной части гребка) целесообразно поддерживать на уровне обеспечивающем равномерное продвижение тела. Ускорение второй фазы частично достигается криволинейной траекторией движения кисти, что во всех случаях сопровождается изменением скорости, т. е. ускорением.

Величина ускорения может регулироваться соотношением плеч рычага гребущей конечности.

На рис. 34 приведен график максимальных и минимальных ускорений, возникающих на различных скоростях плавания и полученных на основании анализа кривых ВЦС пловцов различной квалификации. Видно, что одинаковой скорости плавания можно достигнуть при

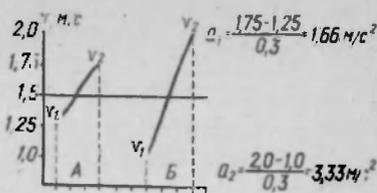


Рис. 33. Кривые с различными показателями ВЦС и одинаковой средней скоростью:

a_1 — ускорение для случая А; a_2 — ускорение для случая Б

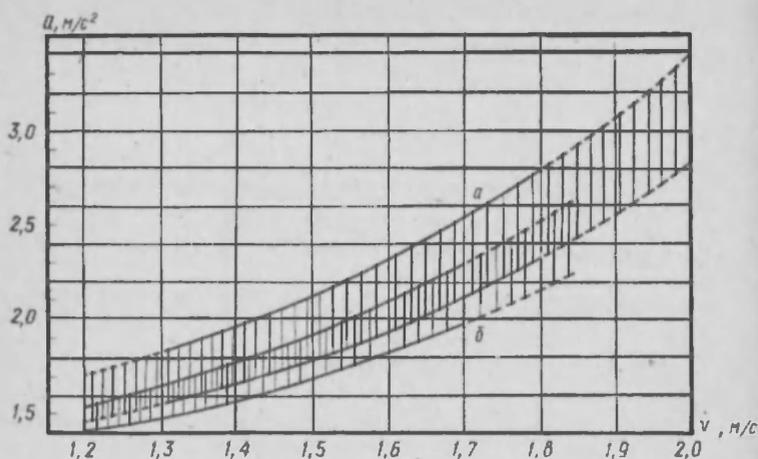


Рис. 51. График ускорений тела пловца, возникающих на различных скоростях плавания: а — поле мужчин; б — поле женщин

различном ускорении. Следует отметить, что при минимальных ускорениях (нижняя граница июля) достигается более равномерное продвижение. Поэтому величина ускорения может являться критерием оценки экономичности гребковых усилий.

Динамические характеристики. Основным динамическим показателем в спортивном плавании является сила тяги. Усредненная сила тяги пловцов-крослистов различной квалификации приведена в табл. 10, составленной на основе экспериментальных данных.

Как видно из табл. 12, сила тяги не связана строгой квадратической зависимостью со скоростью плавания. Отношение сопротивления к силе тяги у пловцов, имеющих III разряд, значительно ниже, чем у квалифицированных пловцов. Например, для достижения скорости 1,14 м/с I квалифицированные пловцы, обладающие высокими показателями обтекаемости тела и более высоким «шаговым» коэффициентом, будут прикладывать усилие 70–75 Н, а пловцы III разряда 90–120 Н.

В равномерном прямолинейном движении сила тяги направлена только на преодоление сопротивления воды, и ее величина равна сопротивлению. Однако движение пловца всегда или почти всегда является ускоренным,

Таблица 12. Усредненная сила тяги пловцов различной квалификации при способе кроль на груди

Квалификация пловца	Средняя скорость, м/с	Сопротивление воды на средней скорости, Н	Сила тяги, Н	Отношение на сил тяги, Н	Отношение R/F
Мастера спорта международной квалификации	1,85	113	190—210	2,55—2,85	0,58
Мастера спорта	1,78	101	170—190	2,30—2,55	0,58
Кандидат в мастера спорта	1,60	94	160—170	2,15—2,30	0,58
I разряд	1,56	79	140—160	1,90—2,15	0,56
II разряд	1,37	62	120—140	1,60—1,90	0,48
III разряд	1,14	43	90—120	1,20—1,60	0,44

Поэтому величина его тяговой силы зависит и от величины ускорения. При одинаковой скорости плавания можно предполагать различные варианты распределения усилий пловца. Наиболее рациональный вариант — когда пловец в начале гребка прикладывает усилие, ускоряющее тело до оптимальной скорости (несколько выше средней) и в основной фазе гребкового движения сохраняет равномерное продвижение. В этом случае усилие во второй части гребка направлено только на преодоление сопротивления воды (рис. 35, а). В варианте б импульс силы увеличивается за счет удлинения времени прикладываемого усилия. В этих случаях максимальная ВЦС значительно превосходит среднюю скорость, но время гребка сокращается. Поэтому пройденный путь, исходя из формулы

$$S = \frac{v_1 + v_2}{2} t, \text{ в первом случае будет } S_1 = \frac{(1,8+1,5)}{2} \cdot 0,15 + (1,8 \cdot 0,35) = 0,88 \text{ м и во втором } S_2 = \frac{(1,5+2,1)}{2} \cdot 0,3 = 0,54 \text{ м.}$$

Результат действия силы тяги, кроме линейных размеров тела пловца, зависит и от коэффициента сопротивления (С).

Прилагаемая сила для достижения какой-либо скорости в зависимости от С колеблется в значительных пределах. При этом для достижения определенной ско-

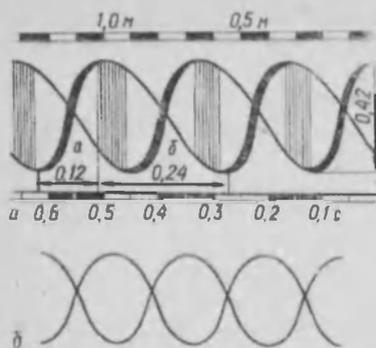


Рис. 36. Траектория движения стопы при плавании способом кроль на груди:
a — основной период; *б* — подготовительный период

шат ее горизонтальную составляющую в среднем в 1,66 раза. При эффективной работе ног «шаг» стопы достигает 0,40—0,42 м, а пропульсивный — 0,20—0,22 м (без работы рук). Следовательно, проскальзывание и «шаговый» коэффициент движения ног составляют около 50%.

«Шаговый» угол рабочей поверхности стопы зависит от подвижности голеностопного сустава и от степени сгибания но-

ги в суставе колена. При хорошей подвижности стопы в верхнем положении ноги «шаговый» угол составляет 55°—60°. При движении ноги вниз он уменьшается и в нижнем крайнем положении ноги часто приобретает отрицательное значение.

Временные характеристики. В движениях ногами способом кроль выделяются два периода: движение вниз (основной) и движение вверх (подготовительный). Во время движения одной ноги вверх другая движется вниз, что позволяет предполагать большую плотность гребковых движений. Однако, как показывает анализ кинограмм, движение ноги вниз начинается со сгибания в суставе колена (что можно также отнести к подготовительному периоду), а непосредственное движение стопы вниз занимает вдвое меньше времени, чем ее движение вверх.

На рис. 36 показана траектория движения ног при плавании в максимальном темпе способом кроль на груди. Как видно из рисунка, основной период занимает 0,12 с, а подготовительный — 0,24 с. Отсюда можно определить, что плотность гребковых движений ног составляет $\frac{0,12}{0,24} = 0,5$.

Интересно отметить, что плотность движений ног у новичков при плавании с доской приближается к единице. Это объясняется тем, что они выполняют движение

ногами и вверх и вниз приблизительно с одинаковой скоростью, не акцентируя удара ногой вниз. Траектория движения стопы у них напоминает почти симметрично переплетающиеся синусоиды (рис. 36 б). Можно сделать вывод, что эффективность движения ногам заключается в умении создавать значительное ускорение стопой при ее движении вниз, и при обучении движениям ног способом кроль необходимо уделять должное внимание выбору соответствующих упражнений. Также можно заключить, что плотность гребковых движений является показателем их эффективности только в тех вариантах гребковых движений, в которых подготовительный период выполняется по воздуху.

При плавании с интенсивностью 50% у квалифицированных пловцов темп движений ног в среднем составляет 0,5 дв/с, или 120 дв/мин, а при плавании в максимальном темпе он в полтора раза выше -- 0,33 дв/с, или 180 дв/мин.

Пространственно-временные характеристики При одной и той же спортивной квалификации пловцов средняя скорость плавания способом кроль с помощью одних ног колеблется в значительных пределах. Причиной этого является то, что, несмотря на кажущуюся простоту движений, техника локомотивной ундуляционного типа требует хорошей подвижности стопы (особенно в ее подошвенном сгибании) и согласования часто сменяющихся динамических характеристик. Как правило, в современной методике обучения совершенствованию движений ног способом кроль не уделяется должного внимания, а сомнения в целесообразности эффективной работы ног в кроле, высказываемые рядом специалистов, приводят к тому, что довольно большие контрасты отмечаются даже в технике движений ног пловцов мирового класса. Пловцы-крольщики, развивающие более высокую скорость плавания с помощью ног, отличаются значительным пропульсивным «шагом», стабильной координацией движений и более равномерным продвижением. Пловцы, пренебрегавшие углубленным совершенствованием техники движений ног и шедшие по пути естественного формирования техники, компенсируют недостающую тягу ног высоким темпом движений рук. В большинстве случаев возможности шестиударного кроля пловцами далеко не исчерпаны.

Движения ног способом кроль отличаются небольшими перепадами ВЦС. Только у отдельных пловцов перепад ВЦС достигает 0,20—0,22 м/с, а у подавляющего большинства разница между максимальной и минимальной ВЦС в среднем составляет 0,12 м/с.

Наибольшей скорости тело достигает при пересечении стопой траектории общего центра тела и наименьшей — в крайних положениях, где происходит изменение ориентации стопы к движению в обратном направлении. Максимальное ускорение движения стопы (4 м/с^2) достигается в первой половине движения ноги вниз.

Динамические характеристики. Сила тяги при движениях ногами ундуляционного типа создается только в основном периоде — движении ноги вниз. В начале движения ноги вниз вода еще по инерции движется вверх и стопа испытывает дополнительный упор движущейся навстречу воды. Поэтому особенно сильную опору можно создать в начале движения ноги. Дополнительного упора движущейся навстречу воды можно ожидать и в момент пересечения ног в их встречном движении. На кривой ВЦС момент пересечения ног выражен резким возращением зубцов.

Динамические возможности ноги при движении ее вниз, несмотря на кажущуюся простоту этого движения, определить весьма сложно. Оно состоит из сочетания двух движений: сгибания ноги в тазобедренном суставе и разгибания в суставе колена. При этом сила разгибателей в суставе колена почти в 2 раза превосходит силу сгибателей ноги в тазобедренном. Можно полагать, что в безопорном положении тела суммарная сила не может превышать силу, развиваемую при сгибании ноги в тазобедренном суставе. Сила сгибателей ноги в тазобедренном суставе у обследованных нами пловцов Львова составляла у мужчин $500 \pm 160 \text{ Н}$, у женщины $300 \pm 120 \text{ Н}$. Эта сила при соответствующей гребковой площади способна развить тягу по горизонтальной составляющей в среднем у мужчин до 300 Н и у женщины до 190 Н. Для

этого случая с помощью формулы $v^1 = \sqrt{\frac{F_1}{F_2}} v$, нетрудно определить доступную скорость. Для мужчины она составит

$$\sqrt{\frac{30}{14}} \cdot 2 = 2,9 \text{ м/с, для женщины } 2,6 \text{ м/с. При этом ускоре-}$$

ние стопы должно составлять у мужчин $4,3 \text{ м/с}^2$, у женщин $3,2 \text{ м/с}^2$. Указанная сила тяги практически может быть достигнута при плавании с ластами. Без ласт лучшие показатели силы тяги у мужчин — около 140 Н , у женщин — 98 Н . Можно сделать заключение, что оптимальные размеры рабочей поверхности стопы применительно к силовым возможностям ног, могут составлять $400\text{—}500 \text{ см}^2$, что в 2 раза превышает рабочую площадь натуральных размеров стопы. По причине «недостающей» площади рабочей поверхности стопы коэффициент реализации силовых возможностей ног в способе кроль составляет всего лишь $\frac{140}{500} = 0,28$ для мужчин и $\frac{98}{300} = 0,32$ для женщин.

Учитывая, что вертикальная составляющая сила при движении ног вниз у сильнейших пловцов в среднем составляет около 40% горизонтальной составляющей, общее усилие ноги, вероятно, не превышает $40 + 56 = 96 \text{ Н}$, у мужчин и $98 + 39 = 137 \text{ Н}$ у женщин.

Выше рассматривается тяговая сила ног, развиваемая на месте. Во время продвижения тела вперед упор ноги уменьшается и соответственно снижается сила тяги. Так, у сильнейших пловцов максимальная скорость при плавании с помощью оных ног составляет $1,25 \text{ м/с}$, а сопротивление воды на этой скорости — 78 Н . Отсюда динамический КПД ног $\frac{78}{140} = 0,56$

Подъемную силу при движении ноги вниз можно определить по синусу «шагового» угла на кикбоггамах. У квалифицированных пловцов подъемная сила при движении ноги вниз составляет в среднем 56 Н . В действительности ее величина частично нейтрализуется движением другой ноги, которая в это время движется вверх и создает топящую силу.

Согласование движений. К основным задачам согласования движений в спортивных способах плавания можно отнести следующие: 1) создание равномерного продвижения; 2) создание максимальной тяги; 3) создание наиболее обтекаемого положения тела.

В способе кроль, движения которого не оговорены правилами соревнований, можно ожидать наиболее целесообразного сочетания указанных требований. В процессе развития этого способа отпали варианты, позволя-

вше создавать большую тягу ногами (треджен), и совершенствовалась фазовая структура с более равномерным приложением усилий.

Это согласуется с основным механическим принципом экономичности — прямолинейности и равномерности движения. Вместе с этим на протяжении всей истории совершенствования способа кроль главным было стремление придать телу наиболее обтекаемое положение.

Прямолинейность достигается стремлением пловцов направлять тяговые усилия вдоль оси продвижения. Вероятные отклонения, «рысканье» тела компенсируются специальными движениями и приемами (см. «Компенсаторные движения»). Прямолинейность продвижения требует, чтобы возникающая подъемная сила, необходимая для поддержания тела у поверхности воды, создавалась постоянной вертикальной составляющей. Постоянная подъемная сила в способе кроль на груди создается гребковыми движениями ног. На скорости, превышающей 1,33 м/с, — гидродинамической силой встречного потока воды. На скорости плавания 1,9 м/с постоянная подъемная сила — около 80 Н. При этом значение вертикальной составляющей движений ног и гидродинамической силы примерно одинаково. На скоростях до 1,33 м/с создается подъемной силы, кроме ног, принимают участие также и руки, и, чем меньше скорость плавания, тем оно больше.

Равномерность продвижения при способе кроль достигается попеременными гребковыми движениями рук и ног. После окончания гребкового движения одной рукой вторая включается в гребок. Но создать постоянную силу тяги гребковыми движениями рук пловцу не удастся. При плавании с 50% интенсивности время цикла у квалифицированных пловцов составляет в среднем 1,6 с, а суммарное время основного периода гребкового движения правой и левой руками — около 0,8 с. При увеличении темпа плотность гребковых движений увеличивается. Однако полного «сцепления» гребковых движений руками достигнуть невозможно, так как для этого следовало бы исключить фазу заката, что едва ли возможно и целесообразно.

В согласовании движений работа ног содействует равномерному продвижению и повышают уровень средней скорости. Это достигается тем, что во время макси-

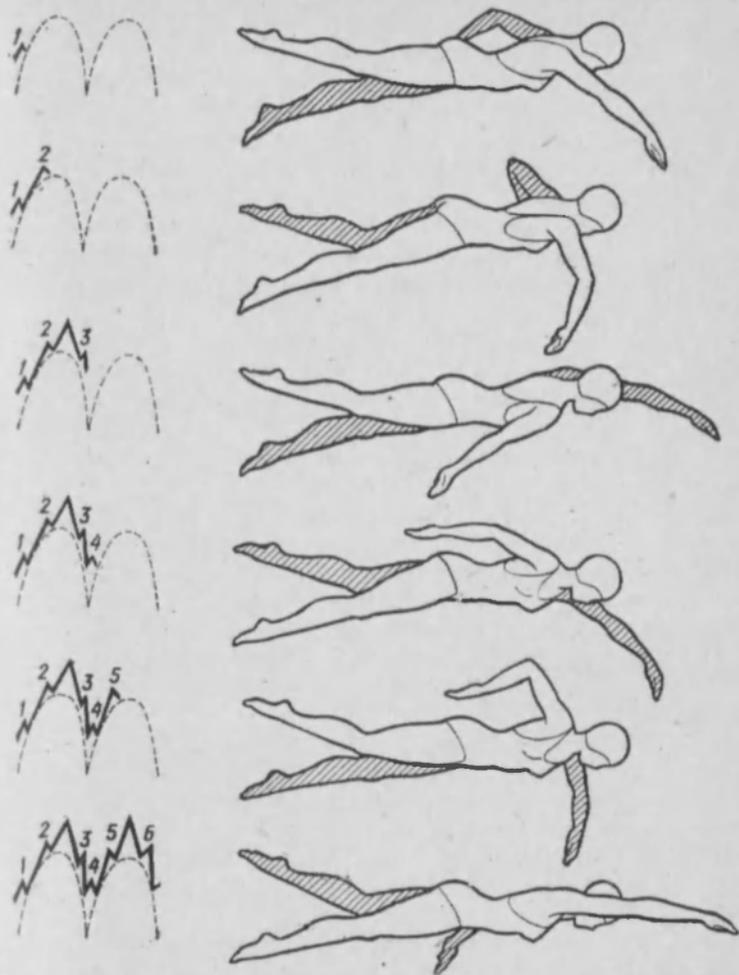


Рис. 37. Согласование движений рук и ног при плавании способом кроль на груди

мального спада ВЦС, который возникает между гребковыми движениями правой и левой руки, горизонтальная составляющая скорость гребкового движения ноги превышает минимальную ВЦС.

«Срез» порога минимальной ВЦС одновременно увеличивает и среднюю скорость.

В процессе выполнения пловцом гребковых движений руками их усилия соразмерны с прилагаемым усилием ног.

В этом и заключается сложность динамической структуры способа кроль, требующей от пловца исключительно высокой слаженности действий. На рис. 37 показано наиболее рациональное согласование усилий ног с силой тяги рук в шестиударном кроле. Только два удара (1-й и 4-й) заполняют фазу, когда тяга рук отсутствует (в конце гребка правой и левой руками). На кривой ВЦС, приведенной рядом с рисунками, показано, что эти движения «срезают» порог минимальной ВЦС. Эти удары можно назвать сглаживающими. Удары 2-й и 5-й — усиливающие, они повышают эффективность первой фазы гребкового движения рук. Удары 3-й и 6-й — поддерживающие скорости во второй части гребкового движения рук, когда ее величина еще превышает среднюю ВЦС.

Наиболее эффективными являются сглаживающие удары и наименее эффективными — поддерживающие. Поэтому на стайерских дистанциях пловцы уделяют внимание только сглаживающим ударам (двухударный кроль). Некоторые пловцы сглаживающие удары дополняют усиливающими (четыреударный кроль). Нередки случаи, когда двухударный кроль называют четырехударным.

Наблюдателей вводят в заблуждение дополнительные балансирующие движения ног, которые неизбежны в двухударном кроле. В случае четких двух ударов без дополнительных движений ноги длительное время должны были бы задерживаться в крайних положениях, что привело бы к значительному увеличению сопротивления.

Из 83 просмотренных записей ВЦС пловцов-кролистов (из них 17 кандидатов в мастера спорта и мастеров спорта) только у одной — мастера спорта А. Кличник — техника плавания отличалась исключительной равномерностью продвижения и непринужденностью. Во всех остальных случаях имелись более или менее значительные отклонения от приведенной кривой. Это свидетельствует о далеко не полном использовании кинематических и динамических возможностей шестиударного кроля подавляющим количеством пловцов.

Важную роль в формировании и совершенствовании техники плавания способом кроль играет дыхание. Оно усложняет координационную структуру движений, оказывая определенное влияние на их кинематические и динамические характеристики, в особенности у начинающих пловцов.

Известно, что более надежными являются те механизмы и машины, которые имеют минимальное количество промежуточных звеньев. Это положение приемлемо и к движениям человека. Всякое усложнение координационных действий со значительным изменением скоростей и ускорений, которые наблюдаются в движениях рук и ног при способе кроль, существенно затрудняет освоение шестиударной координации движений. Изменение темпа, амплитуды движений и т. п. приводит к частым срывам согласования движений. «Защитную» функцию в этих случаях может выполнять только устойчивость двуглазых навыков, которые в рбатываются в процессе длительной тренировки.

Биомеханическая характеристика плавания способом кроль на спине

Способ кроль на спине по структуре движений отличается от кроля на груди лишь положением тела. Имеющиеся различия в деталях движений обусловлены кинематическими особенностями аппарата опоры и движения человека и несколькими иными условиями обтекания тела.

Движения руками. В способе кроль на спине так же, как и на груди, движения руками попеременные. Однако по причине ограниченности отведения плеча к осевой линии гребка и разгибания предплечья структура гребкового движения и ее биомеханические характеристики имеют свои особенности. Кроме того, в основе построения техники гребкового движения заложены две взаимоисключающие тенденции. Первая — выполнение гребкового движения через сторону при более выгодном взаимодействии мышц, участвующих в гребке. Другая — выполнение более глубокого гребка, ближе к осевой линии, что исключает поперечную составляющую силу, которая неизбежно возникает при выполнении гребкового движе-

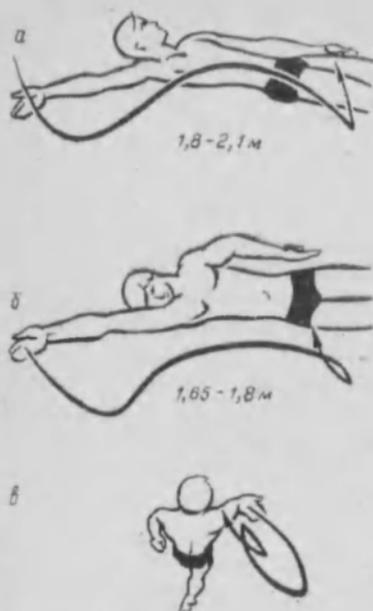


Рис. 38. Траектория гребкового движения рукой при плавании способом кроль на спине: а — в сагиттальной; б — в горизонтальной; в — во фронтальной плоскости

ния через сторону и создает значительные боковые перемещения тела («рыскапье»). Первый вариант — пройденный этап в эволюции совершенствования техники способа кроль на спине, а второй ограничен анатомическим строением аппарата опоры и движения человека. Тем не менее в основе современной техники движения рук способом кроль на спине так или иначе выражены обе тенденции — максимальное вовлечение в гребковое движение мышц с более выгодным их взаимодействием и одновременно с этим выполнение гребкового движения по траектории, обеспечивающей максимальную горизонтальную составляющую силу тяги.

Пространственные характеристики. Траектория кисти во время выполнения гребкового движения при плавании способом кроль на спине отличается сложностью. В сагиттальной плоскости она сохраняет одинаковую форму с траекторией при способе кроль на груди. Но за счет более выраженных изменений движений ее величина на 0,25—0,30 м больше (1,9—2,1 м; рис. 38, а). В горизонтальной плоскости величина траектории при способе кроль на спине и на груди одинакова (1,65—1,8 м; рис. 38, б). Результирующая траектория движения кисти в воде составляет 1,9—2,1 м и превышает ее горизонтальную составляющую на 45—50%.

Величина траектории движения кисти в подготовительном периоде составляет 50% величины окружности, радиус которой равен длине выпрямленной руки. Общая траектория движения кисти — 3,9—4,05 м.

Гребковый и пропульсивный «шаг» на 0,05—0,07 м короче, чем в кроле на груди, однако «шаг» пловца у сильнейших крольцов мира благодаря более эффективной работе ног одинаков (у мужчин 2—2,2 м, у женщин 1,81—1,93 м). Примерно одинаков и «шаговый» коэффициент (в спокойном темпе 0,75—0,8, в максимальном 0,6—0,7 м).

Временные характеристики Средняя скорость плавания способом кроль на спине ниже, чем способом кроль на груди, на 0,25 м/с. или 12%.

Таблица 13. Временные показатели отдельных фаз движений способом кроль на груди и на спине

Способ	Интенсивность плавания	Общее время цикла	Основной период			Подготовительный период		
			захват	гребок	общее время	движения над водой	наплыв	общее время
Кроль на груди	50% интенсивности	1.55	0.15	0.45	0.6	0.6	0.35	0.95
	Максимальный темп	1.1	0.15	0.35	0.5	0.45	0.15	0.6
Кроль на спине	50% интенсивности	1.7	0.2	0.55	0.75	0.65	0.3	0.95
	Максимальный темп	1.25	0.15	0.45	0.6	0.55	0.1	0.65

Как видно из табл. 13, общее время цикла при плавании на спине в максимальном темпе на 0,2 с больше. Одной из причин более чисткого темпа движений является величина траектории, которая на 12—13% больше, чем способом кроль на груди. Вероятно, дальнейшее совершенствование способа кроль на спине будет идти по пути сокращения траектории при сохранении ее горизонтальной составляющей.

Пространственно-временные характеристики Средняя скорость финалистов Игр XXI Олимпиады на дистанцию 100 м на спине составляла 1,695 м/с (средний результат 57,5 с) и чемпиона - 1,76 м/с. Средняя скорость финалистов на 12% ниже аналогичных показате-

лей на дистанцию 100 м вольным стилем. На такую же величину меньше и темп движений.

Гребковые движения в способе кроль на спине отличаются наиболее равномерной скоростью. Достигнутая в начале гребкового движения скорость удерживается почти на одном уровне до конца гребка. Наибольшие величины максимальной скорости, хотя и уступают таковым при способе кроль на груди, удерживаются значительное время (до 0,4 с).

Плотность гребковых движений при плавании в максимальном темпе составляет 0,85, что несколько ниже, чем в способе кроль на груди. При плавании на спине в момент, когда одна рука закончила гребок, а вторая еще не начала его, образуется фаза полного отсутствия сцепления тяговых усилий, длящаяся 0,07—0,09 с. По этой причине кривые ВЦС гребковых движений правой и левой руками имеют более четкое разделение по сравнению с аналогичными кривыми ВЦС при способе кроль на груди.

Динамические характеристики Динамические показатели гребковых движений рук способом кроль на спине и на суше, и в воде в среднем на 12—13% ниже аналогичных показателей при способе кроль на груди. Сила тяги у иловцов-мужчин замеренная в воде с помощью эластичного жгута, приведена в табл. 14.

Таблица 14. Сила тяги у пловцов-мужчин при способе кроль на спине

Квалификация пловцов	Сила тяги, Н	Относительная сила тяги, Н/кг
Мастера спорта международной квалификации	162—181	2,2—2,5
Мастера спорта	147—162	2,0—2,3
Кандидаты в мастера спорта	137—147	1,8—2,0
I разряд	122—137	1,7—1,8
II разряд	108—122	1,5—1,7
III разряд	88—108	1,2—1,5

Отличительной особенностью распределения усилий при выполнении гребкового движения рукой является равномерность. Самое большое ускорение ладони сообщается в начале гребкового движения сгибанием руки в

локтевом и пронацией в плечевом суставе. Усилие руки от середины и до конца гребка незначительно превышает силу сопротивления воды на данной скорости перемещения тела. Поэтому зубцы максимальной ВЦС при выполнении гребковых движений руками сглажены и имеют трансшевеливую форму.

Несколько необычно по сравнению с другими способами плавания создается подъемная сила гребковыми движениями рук. В других способах она создается в начале гребка, а в кроле на спине — и в конце гребка специальным захлестывающим движением ладони вниз: одновременным подъемом туловища путем приближения его в поясничной области. Подъем туловища в этот момент получил название «переката» (Л. П. Макареико, 1974). Необходимость захлеста рукой и «переката» вызвана тем, что движение ногами в этом способе не создает подъемной силы.

Коэффициент эффективности гребковых движений рук в способе кроль на спине у мужчин $0,74 \pm 0,14$, у женщин $0,82 \pm 0,11$.

Движения ногами. Движения ногами при способе кроль на спине более мощные, чем при кроле на груди, и выполняются на большей глубине. В противном случае конечное захлестывающее движение стопы совершалось бы у самой поверхности и вода не создавала бы должной опоры стопе. Кроме того, если в способе кроль на груди вертикальная составляющая создает подъемную силу и имеет положительное значение, то в положении на спине она создает топящую силу. В связи с этим основной задачей работы ног при способе кроль на спине является создание максимальной силы тяги, что достигается более

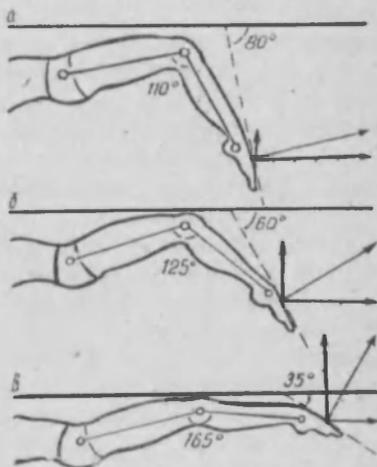


Рис. 39. Движение ног способом кроль на спине. Векторное изображение горизонтальной и вертикальной составляющих силы тяги в различные фазы движений

Сильным их сгибанием в суставах колен, а следовательно, более широким гребковым «шагом», который достигает 0,5—0,55 м. Как видно из рис. 39, в начале гребкового движения (*a*) его горизонтальная составляющая сила превосходит вертикальную в 5,5 раза. По мере выпрямления ноги значение горизонтально составляющей снижается, а вертикальной — увеличивается (*b*, *в*). Величина горизонтальной составляющей при хорошей подвижности голеностопного сустава почти сохраняется до конца движения ноги. Горизонтально составляющая движения ноги при способе кроль на груди во всех фазах движения значительно меньше.

Форма движений ног несколько изменяет и характер усилий. В создаваемом импульсе силы более важную роль играет временная компонент. Зубцы кривой ВПС по сравнению со способом кроль на груди имеют мягкие очертания со сглаженными вершинами.

Кроме описанного варианта движения ног способом кроль на спине иногда при плавании в высоком темпе применяется другой. В этом случае усилия акцентируются на работе рук, а ноги выполняют движения с меньшей амплитудой, со значительным выходом колен и ступня на поверхность воды. Основная функция работы ног заключается в том, чтобы придать телу более обтекаемое положение, а горизонтальная составляющая сила проявляется лишь во время 1-го и 4-го ударов в промежутках между гребковыми движениями рук.

Пространственные характеристики. Траектория движения стопы при способе кроль на спине в подвижной системе ориентировки показана на рис. 40. Подготовительный период соответствует движению ноги вниз (линия 1) и движению ноги по ходу тела (линия 2), возникающему в результате сгибания ноги в суставе. В основном периоде ступня движется вверх и в направлении, противоположном движению тела (линия 3). В абсолютной системе ориентировки синусоида стопы более растянута и симметрична, чем при кроле на груди (рис. 40, б). Основной период гребкового движения ноги на синусоиде обозначен жирной линией. Вертикальными линиями показана фаза отсутствия тяги. Ввиду главного ускорения движения ног в основном периоде эта фаза почти в 2 раза короче, чем в способе кроль на груди, и составляет при плавании в максимальном тем-

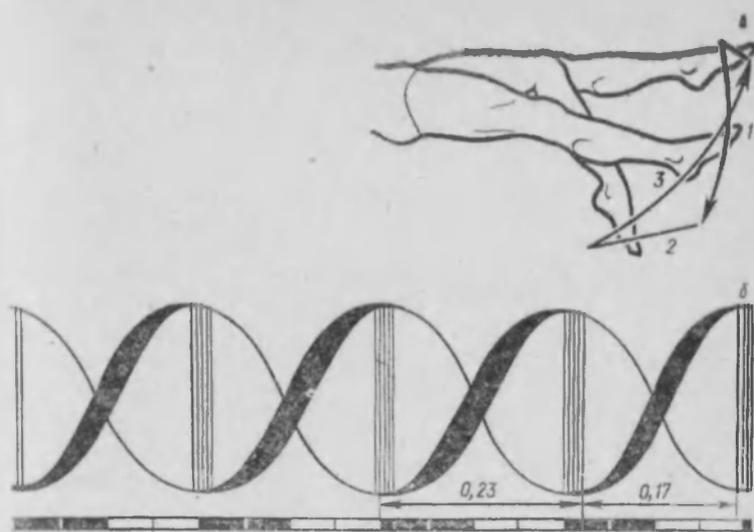


Рис. 40. Траектория движения стопы в подвижной (а) и основной системе ориентировки (б)

пе (цикл 1,2 с) всего лишь 0,03—0,04 с. Траектория движения стопы превышает ее горизонтальную составляющую в 1,5 раза, что на 10% меньше, чем при способе кроль на груди.

У квалифицированных пловцов гребковый «шаг» составляет 0,5—0,55 м, а пропульсивный — 0,25—0,28 м.

«Шаговый» угол тыльной поверхности стопы, ввиду значительного сгибания ноги в суставе колена, в нижнем крайнем положении достигает 90° и на протяжении всего основного периода движения ноги существенно превышает «шаговый» угол при движении ног способом кроль на груди.

Временные характеристики. На рис. 40, б время основного периода движения ноги составляет 0,17 с, а подготовительного — 0,23 с. Плотность гребковых движений ногами значительно больше, чем при способе кроль на груди.

Максимальный темп движений составляет 0,42 дв/с, или 143 дв/мин, а при плавании с 50% интенсивностью — 0,55 дв/с, или 109 дв/мин. Таким образом, при плавании с максимальной скоростью темп движений ног на 20%

меньше, чем в способе кроль на груди, а при плавании с 50% интенсивностью эта разница составляет лишь 10%. Это наводит на мысль, что при плавании на спине работа ног определяет темп движения в большей степени, чем работа рук. При повышении темпа уменьшается гребковый «шаг» и соответственно изменяется кинематическая и динамическая структура движений. Двигательные возможности ноги при плавании способом кроль ограничены количеством суставов и их подвижностью, а также площадью гребковой поверхности стопы. Поэтому выбор или изменение того или иного варианта техники неизбежно связаны с новой комбинацией ее основных механических показателей (сопротивление, тяга и равномерность). Если, например, при увеличении темпа движений тяга уменьшается, то ее следует компенсировать более равномерным продвижением, снижением сопротивления воды и т. п.

Пространственно-временные характеристики. Средняя скорость стопы при плавании в максимальном темпе составляет 2,5 м/с, при плавании с 50% интенсивностью — около 2 м/с. Максимальное ускорение создается в начале движения ноги вверх. Среднее ускорение стопы несколько меньше, чем в способе кроль на груди, и составляет у квалифицированных пловцов около 3,5 м/с².

Максимальная скорость продвижения тела достигается в первой половине движения стопы и поддерживается в большинстве случаев до конца периода. При плавании с помощью одной ноги иногда у квалифицированных пловцов гребковые движения выполняются слитно, и кривая ВЦС образует почти прямую линию. Однако при плавании в согласовании движений усилие ног сочетается с усилием рук. Поэтому динамический характер работы ног должен быть направлен на создание суммарной тяги и общей равномерности тяговых усилий внутри цикла.

Динамические характеристики. В способе кроль на спине сила тяги возникает при движении ноги вверх. Вместе с горизонтальной составляющей тяги возникает и вертикальная составляющая, которая при плавании на спине является топящей силой. Ее величина зависит от «циклового» угла тыльной поверхности стопы. В начале движения ноги вертикальная составляющая в 5,5 раза меньше горизонтальной. Топящая сила в этот момент

не превышает 15 Н. В середине движения ноги она возрастает до 45 Н, но нейтрализуется движением вниз другой ноги.

Сила, развиваемая ногами, примерно такая же, как и в способе кроль на груди, но ее приложение более длительное и равномерное.

Согласование движений. Основным механическим принципом согласования движений при способе кроль на спине является равномерность скорости продвижения. Равномерность продвижения достигается как попеременными движениями рук и ног в отдельности, так и согласованием их тяги при совместной работе. В фазе полного отсутствия тяги, создаваемой руками (в конце гребка одной руки и входа в воду другой), следует наиболее мощное, акцентированное движение ногой, которое создает тяговое усилие, превосходящее по силе сопротивление воды на данной скорости примерно в 1,5 раза. Это так называемые сглаживающие удары (1-й и 4-й). Усиливающие удары (2-й и 5-й) следуют в первой половине гребка. Их тяга суммируется с тягой рук и способствует увеличению ВЦС. Завершающие или поддерживающие удары (3-й и 6-й) производятся во второй половине гребка руки. Их усилие также суммируется с усилием рук, что позволяет поддерживать ВЦС на соответствующем уровне.

В отличие от способа кроль на груди в положении на спине ведущей в согласовании движений является работа ног. На современном уровне техники этого способа лучшие результаты показывают пловцы, отличающиеся хорошими координационными способностями и большой силовой тягой ног, которая зависит от структуры движений, подвижности голеностопного сустава, площади тыльной поверхности стопы и правильного распределения усилий цикла движений. Записи кривых ВЦС у пловцов высшего класса в большинстве случаев сходны, и принципиальных различий не отмечается. Это еще раз подчеркивает ведущее значение ритмичной работы ног, хотя роль основной движущей силы так же, как и в кроле на груди, выполняют руки. Образно выражаясь, ноги создают в соответствующие моменты «добавки». Эти моменты измеряются сотыми долями секунды, в связи с чем и предъявляются большие требования к общей согласованности движений. Более ритмичной работе ног в

положении на спине способствует свободное дыхание, которое затруднено при плавании в положении на груди.

Малорасследованный элемент техники в способе кроль на спине, как впрочем и в других способах, — компенсационная функция гребковых движений. Бесспорным является прогрессивное значение ухода от старого варианта выполнения гребкового движения рукой через сторону. Направление гребка через сторону имеет значительное расхождение с осевой линией движения тела. Для сохранения положения тела компенсаторные движения туловищем вызывают чрезмерные его перемещения вдоль поперечной оси, поэтому более выгодным являлась комбинация компенсаторных движений телом и погами. У новичков это было выражено более сильно, вплоть до супинации и пронации бедра, в результате чего колесо заметно поворачивалось наружу и внутрь. Квалифицированные пловцы ограничивались поворотом стопы, что отрицательно сказывалось на основной функции ног — создании тяги.

В современном варианте движение руки выполняется ладонью ближе к телу, направление силы тяги в большей мере соответствует осевой линии, в результате чего компенсационная функция ног сведена к минимуму.

В сложной координационной структуре способа кроль на спине особенно отчетливо проявляются взаимосвязь и противоречивость отдельных элементов техники плавания и переход количественных характеристик в качественно новые варианты техники.

Биомеханическая характеристика способа брасс

Способ брасс, являясь самым тихходным, имеет большое утилитарное значение, поэтому вполне закономерно стремление к его дальнейшему совершенствованию.

В способе брасс тяговая и подъемная силы создаются одновременными движениями рук и ног, что значительно облегчает задачу создания этих сил. Одновременные гребковые движения рук и ног, фаза скольжения, возможность удерживать голову постоянно на поверхности воды являются основными преимуществами этого способа. В отличие от других способов в брассе подготовительный период движения рук осуществляется под

водой. Степень участия рук или ног в создании силы тяги зависит от темпа плавания и избранного варианта техники. В классическом варианте брасса с наплывом основную роль в создании тяги играют ноги. С повышением темпа плавания значение ног в создании тяги уменьшается, и ведущая роль переходит к рукам.

Движения руками

Пространственные характеристики. Траектория движений рук в способе брасс значительно меньше, чем в остальных способах плавания. В основном периоде кисти движутся до линии плеч, после чего резким сведением предплечий соединяются под подбородком и по прямой линии движутся вперед в исходное положение. Длина траектории гребкового движения кисти в сагиттальной и горизонтальной плоскостях — 1 м, а ее горизонтальная составляющая — 0,75 м (рис 41). Результирующая траектория для приведенных данных равна 1,1 м и превышает горизонтальную составляющую на 32% (примерно так же как и в способе кроль).

Путь кистей в подготовительном периоде, от момента сведения их под подбородком до исходного положения, наиболее экономный — по прямой линии и составляет всего 0,6 м. Около 0,4 м занимает путь перемещения кистей от конца гребка до их соединения под подбородком. Общая траектория кисти несколько больше 2 м, что примерно на 40% меньше, чем в способе кроль. Учитывая, что положение кистей в подготовительном периоде создает хорошие условия для обтекания, время цикла движения рук в способе брасс может быть на 40%, меньше, чем в способе кроль, и на такую же величину выше

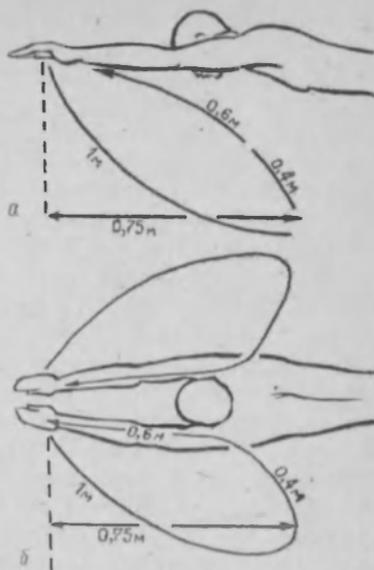


Рис. 41. Траектория движения кистей при плавании способом брасс: а — в сагиттальной, б — в горизонтальной плоскости

темп (следует подчеркнуть, что это касается только рук).

Своеобразной и весьма эффективной фазой движения рук в способе брасс является резкое сближение предплечий в конце гребкового движения. Это один из случаев в технике спортивного плавания, когда рабочее движение служит одновременно и подготовительным.

Гребковый «шаг» руками способом брасс составляет 0,70—0,75 м. При плавании в согласовании движений пропульсивный «шаг» рук равен 0,4—0,45 м, хотя общий «шаг» продвижения пловца благодаря инерции его тела достигает 1 м и выше.

Временные характеристики Движения рук способом брасс согласованы с движениями ног и подчинены им; в такой же зависимости находятся их временные характеристики, так как основным элементом, ограничивающим темп плавания в этом способе, является подготовительный период движения ног. В общем, как и в способе кроль, от степени сокращения подготовительного периода темп движений зависит в большей степени, чем от основного периода. При плавании в максимальном темпе время основного периода, включая промежуточное движение предплечий, составляет всего лишь 0,25—0,35 с.

Время подготовительного периода в зависимости от темпа плавания может изменяться от 0,45 до 1,2 с и более. Его минимальное значение достигается за счет сокращения времени движения рук в исходное положение до 0,35—0,4 с, их движения вниз до 0,15 с и максимального сокращения фазы наплыва.

Остальные временные характеристики движения рук представляют интерес лишь с точки зрения их согласования с движением ног.

Пространственно-временные характеристики Скорость плавания в максимальном темпе с помощью одних рук у квалифицированных пловцов несколько превышает скорость плавания с помощью одних ног. Это объясняется более равномерным передвижением при плавании с помощью одних рук. Разница в максимальном и минимальном времени продвижения тела с помощью движений рук составляет в среднем 0,4 с. При плавании с помощью одних ног, как это будет показано ниже, эта разница значительно больше.

Квалифицированные пловцы придают большое значение энергичному сведению предплечий в момент перехода к подготовительному периоду. С повышением темпа плавания значение этого движения увеличивается, так как во время его выполнения и последующей задержки рук перед их движением вперед (во время вдоха) скорость движения тела удерживается почти на максимальном уровне, достигнутом в конце гребка руками.

Ускорение движения рук при плавании в согласовании значительно меньше, чем при раздельном плавании. При плавании с 50% интенсивностью его среднее значение для пловцов-мужчин составляет 1,4—1,7 м/с² и для женщин 1,2—1,5 м/с, а при плавании в максимальном темпе соответственно — 1,7—2,0 м/с² и 1,4—1,8 м/с².

Динамические характеристики. Усредненная горизонтальная составляющая сила тяги гребкового движения рук способом брасс, замеренная с помощью эластичного жгута, у квалифицированных пловцов-мужчин составляет 162±21 Н, у женщин 122±23 Н. Максимальное значение силы тяги, замеренное при жестком соединении пловца с динамометром, составляет 225 Н, что достигается ускорением гребковых движений до 3 м/с² (масса тела 73 кг). Однако при плавании в согласовании движений пловец развивает ускорение до 2 м/с². Следовательно, тяговая сила во время плавания в нашем примере должна составлять $2 \cdot 73 = 146$ Н, а коэффициент эффективности гребковых движений руками отнесенный к сопротивлению воды на достигнутой пловцом скорости (1,42 м/с), будет $\frac{685}{146} = 0,47$, что в 2 раза меньше, чем в способе кроль на груди. У женщин тяговая сила рук при плавании в максимальном темпе равняется в среднем 105 Н ($a = 1,7$ м/с²; $m = 63$ кг).

В современных вариантах техники способа брасс большую роль играет вертикальная составляющая сила. От начала до конца гребкового движения рук она составляет около 40 Н и в переходе к подготовительному периоду, в момент резкого нажима кистей и предплечий на воду, увеличивается до 90 Н. В этот промежуток времени многие пловцы задерживают на 0,08—0,12 с движение рук и «глиссируют» на расстоянии 0,15—0,2 м. Предполагают, что в описанный момент используется кинетическая энергия среды, сообщенная ей гребковыми



Рис. 42. Направление потока воды во время сведения рук

движениями рук (рис 42). Эта теория не имеет обоснованных доводов и аналогий в природе или технике. Однако на кинограммах известно, что в момент переходного движения рук многие пловцы достигают максимальной

ВЦС, хотя причина создания горизонтальной составляющей силы тяги остается невыясненной.

Движения ногами. Движение ногами способом брасс по сравнению с другими вариантами гребковых движений является самым мощным загребывающим движением. Однако и в этом варианте гребковых движений недостаточная подвижность суставов и недостающая площадь гребковых поверхностей стоп позволяют использовать лишь десятую долю динамического потенциала крупных мышечных групп ног. Правда, на скоростях плавания до 2 м/с в этом нет необходимости. Следует вспомнить, что во всех спортивных способах плавания, в которых движение ног не было достаточно точно оговорено правилами соревнований, мощным загребывающим движениям были противопоставлены движения ундулирующего типа. Эти движения, хотя и менее мощные, не вызывают значительного содрогания тела в подготовительном периоде и содействуют более равномерному продвижению. Например, способ баттерфляй, соединяющий сильные гребковые движения ногами и руками, не выдержал конкуренции со способом дельфин с применяемыми в нем движениями ундулирующего типа и сошел со спортивной арены.

Поиск более рациональных подготовительных движений в способе брасс осуществляется длительной практикой путем естественного отбора наиболее прогрессивных вариантов. И этот поиск может быть ускорен при ясном понимании и внедрении в технику способа основных механических принципов экономичности и эффективности движений.

Пространственные характеристики. Траектория гребковых движений ногами в способе брасс отличается определенной сложностью. Возможности угловых движений тазобедренных суставов и суставов колен весьма

ограниченны. Их комбинация не может (как, например, в движениях рук) создать выгодную траекторию для гребка и одновременно обеспечить оптимальный «шаговый» угол гребковой поверхности стопы.

Траектория стопы в сагитальной плоскости (рис. 43) имеет большую горизонтальную составляющую, направленную на создание тяги и частично в конечной фазе — подъемной силы. Почти вертикальное движение стоп вверх в начале подготовительного периода выполняется мягко, не создавая топящей силы, однако возникающие во время этого движения нонеречные токи воды вызывают весьма ощутимое торможение. У некоторых пловцов оно выражается в резком спаде скорости.

Траектория движения стопы должна обеспечивать создание максимальной тяги и наиболее выгодный гребковый угол медиальной поверхности стопы. Она весьма вариативна и зависит от степени пронации голени, темпа движений и силы супинаторов стопы. За последнее время отмечается стремление пловцов к возможно узким темповым движениям.

Горизонтальная составляющая гребкового движения для пловца ростом 1,8 м равняется 0,8 м. Длина суммарной траектории гребкового движения ноги — 0,96 с, что на 10% превышает горизонтальную составляющую (0,83) и свидетельствует об экономичном движении стоп. Траектория движения стоп в подготовитель-

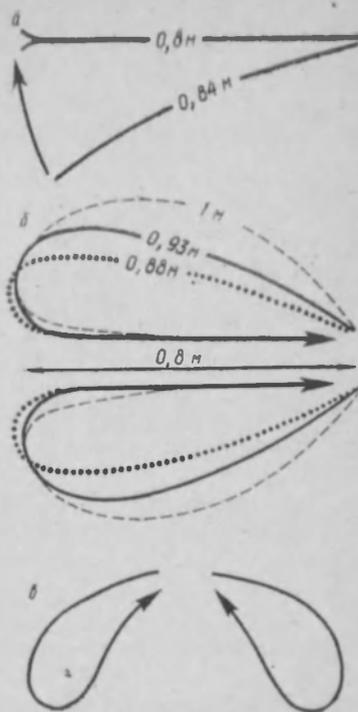


Рис. 43. Траектория гребкового движения стоп во время плавания способом брасс: а — в сагитальной, б — в горизонтальной, в — во фронтальной плоскости

ном периоде равна горизонтальной составляющей, т. е. 0,8 м. Общая траектория движения стопы — 1,76 м.

Пропульсивный «шаг» можно определить, умножив время выполнения гребкового движения ногами на среднюю скорость продвижения тела. Так как средняя скорость $v_{cp} = \frac{v_1 + v_2}{2}$, то путь, пройденный телом, исходя из формулы $S = vt$, будет $S = \frac{v_1 + v_2}{2} \cdot t$. Подставив в последнюю формулу усредненные цифровые значения скорости, получим $S = \frac{0,9 + 1,6}{2} \cdot 0,18 = 0,225$ м.

При широкой горизонтальной траектории движения ног время выполнения гребка больше и пропорционально больше пропульсивный «шаг» (до 0,3 м). При узкой траектории пропульсивный «шаг» уменьшается до 0,2 м.

Нетрудно определить, что проскальзывание гребка (0,8—0,25=0,55 м) более чем в 2 раза превышает пропульсивный «шаг», а гребковый коэффициент составляет всего $\frac{0,25}{0,8} = 0,31$. Однако при кинематической оценке работы ног способом брасс лучше учитывать не пропульсивный «шаг», а скорость, приобретенную в конце гребкового движения ног, которая позволяет пловцу по инерции продолжать движение значительное время.

Временные характеристики. Длительность основного периода гребковых движений ногами изменяется в пределах 0,15—0,2 с. Величина этого показателя зависит в большей мере от стиля пловца, чем от темпа движений, так как толчковое движение занимает 0,1—0,12 с, а остальное время (около 0,1 с) уходит на сведение ног, которое вряд ли можно считать пропульсивным движением.

При увеличении темпа время толчкового движения может более или менее изменяться в случае неполного подтягивания ног. В большей зависимости от темпа находится подготовительный период движения ног и в полной зависимости — фаза скольжения. На рис. 44 приведены кривые ВЦС движения ног с различным характером подготовительного периода. На кривой I пловец после толчка скользит в течение 2 с без подтягивания ног. На кривой II он сразу же после толчка равномерно

подтягивает ноги преимущественно за счет их сгибания в суставах колен. В третьем случае (кривая III) пловец после скольжения 0,4—0,6 с подтягивает ноги, сгибая их в тазобедренных суставах до 120° — 130° в течение 0,3 с. На кривой отчетливо видно тормозящее влияние сгибания ног в тазобедренных суставах

Пространственно-временные характеристики
Средняя скорость продвижения при плавании

с помощью одних ног несколько ниже, чем при плавании с помощью одних рук. Максимальная ВЦС, которую может достигнуть пловец гребковыми движениями ног, составляет около 2 м/с, а при плавании в максимальном темпе — 1,8 м/с. При плавании в согласовании движений в современных вариантах брасса максимальная ВЦС имеет еще меньшее значение.

Уже отмечался самый низкий гребковый коэффициент движения ног (0,31). В свою очередь средняя скорость движения ног при выполнении гребка очень высокая — 4 м/с, т. е. в 3 раза выше создаваемой ими средней скорости продвижения тела. Это свидетельствует о том, что кинетическая энергия из-за недостаточности площади гребковых поверхностей ног и неудовлетворительной ориентации их в потоке приобретает телом преимущественно за счет временного показателя.

Ускорение гребковых движений ног достигает более 6 м/с^2 . Однако по указанным причинам ускорение тела меньше — $3,0$ — $3,5 \text{ м/с}^2$. Остальная энергия работы ног расходуется на возмущение потока. Коэффициент неравномерности ВЦС в движении ног брассом по сравнению с другими способами плавания самый высокий — от 0,7 до 1,1. При плавании в согласовании движений он более низкий и тем ниже, чем выше темп движений.

Динамические характеристики. Гребковые движения ногами способом брасс выполняются мышцами разгиба-

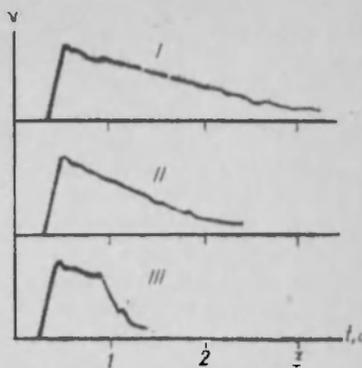


Рис. 44. Замедленное движение тела при различных вариантах подтягивания ног способом брасс

телями тазобедренных суставов, суставов колен и супинаторами бедра. При этом супинация бедра в данной структуре движений является ведущим звеном, определяющим как направление приложения силы, так и ее величину. Суммарная мышечная сила, замеренная в горизонтальном положении тела, равна в среднем для мышц-разгибателей суставов колена 710 Н, для мышц-разгибателей тазобедренного — 1340 Н. Однако сила мышц супинаторов бедра значительно меньше — 240—280 Н. У обследованных 32 брассистов в самой высокой корреляционной зависимости от силы тяги в воде из перечисленных показателей находилась сила супинации бедра ($r=0,829$). Более того, выявлено, что максимальная сила тяги у квалифицированных пловцов не превышает силы супинаторов бедра. Это объясняется тем, что сила мышц указанных разгибателей и супинатора не суммируется, а ограничивается самым слабым звеном, которым являются супинаторы.

Тяговая сила ног, замеренная динамометром, с помощью эластичного жгута, у мужчин составляет 170 ± 25 Н у женщин — 120 ± 20 Н. Однако форма движений ногами при измерении тяговой силы у всех пловцов отличается значительной величиной траектории по сравнению с траекторией, имеющей место при плавании в максимальном темпе.

Коэффициент эффективности гребковых движений ног способом брасс ниже, чем во всех остальных вариантах спортивного плавания. Он составляет 0,25 при показателях $v_p=1,12$ м/с и $R=42$ Н $F=170$ Н.

Распределение усилий гребкового движения по горизонтальной и вертикальной составляющим у брассистов неодинаково. Вертикальная составляющая возникает в тех случаях, когда окончание гребка завершается погружением стопы на глубину. У пловцов имеющих тенденцию к этому, в конце гребкового движения ногами угол между горизонтальной и линией ноги составляет $20 - 22^\circ$, что создает подъемную силу около 70 Н. При увеличении угла отталкивания до 35° подъемная сила увеличивается до 90 Н, при этом сила тяги по горизонтальной составляющей уменьшается с 176 Н до 60 Н (рис. 45).

Создание «чистой» горизонтальной составляющей возможно только в подводном брассе, в котором перед голчком стопы можно поднять выше зупловища.

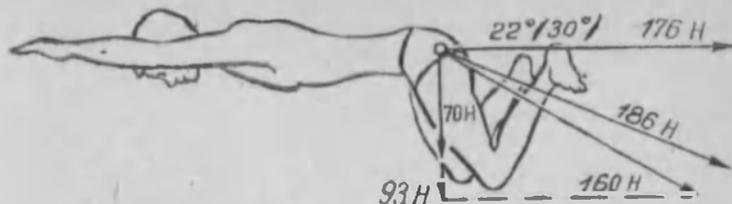


Рис. 55. Составляющие усилия гребкового движения ногами в способе брасс

Согласование движений. В способе брасс отмечают-ся самые высокие показатели силы тяги. Однако отсутствие сцеплений гребковых движений и тормозящее влияние подготовительных движений служат причиной резкого перепада ВЦС и неравномерности поступательного движения.

Совершенствование механической структуры брасса происходит преимущественно за счет снижения отрицательных гидродинамических характеристик подготовительного периода, увеличения темпа и равномерности продвижения.

Пространственные характеристики. Траектория движения тела при плавании способом брасс для различных точек тела неодинакова. Кроме колебаний тела вокруг поперечной оси, сама ось перемещается вверх и вниз от 0,05 до 0,12 м. Вертикальные смещения тела удлиняют дистанцию 100 м на 1—2 м. У менее квалифицированных пловцов дистанция увеличивается до 3 м. Более вредным последствием «рысканья» тела является возникновение поперечных токов воды, ухудшающих условия обтекания тела.

«Шаг» пловца в способе брасс зависит от темпа движений значительно больше, чем в других способах плавания. После мощного толчка ногами тело может скользить 4—5 м в течение 5 с. «Шаг» 4—5 м, пройденный за 5 с, составит среднюю скорость 0,8 м/с. Если скольжение прервать на половине «шага», т. е. через 2,5 с, то средняя скорость повысится до 1,2 м/с. Средняя скорость скольжения в течение 1-й секунды составляет 1,5 м/с. Из приведенного можно вывести кинематическую закономерность гребковых движений: с увеличением темпа движений «шаг» пловца сокращается, а средняя скорость увеличивается.

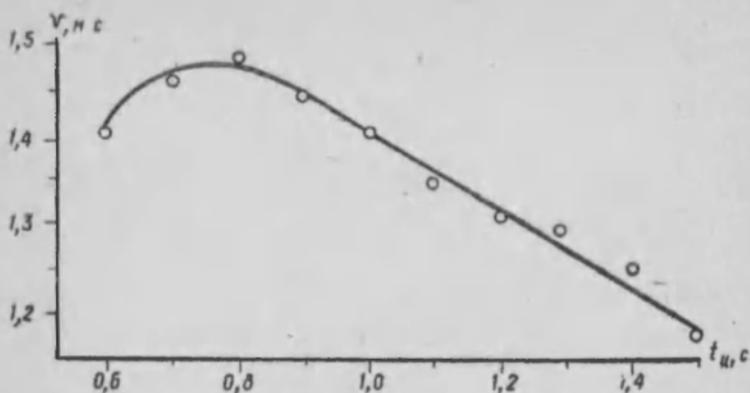


Рис. 46. Зависимость скорости от времени цикла у рекордсмена мира Г. Прокопенко

«Шаг» финалистов Игр XXI Олимпиады на дистанции 100 м брасс составлял 1,19—1,27 м, а время цикла 0,8—0,85 с ($v_{ср} = 1,485$ м/с). На дистанции 200 м время цикла увеличилось до 1—1,1 с и «шаг» — до 1,23—1,36 м, т. е. «шаг» увеличился на 5%, а темп гребковых движений снизился на 20%. При максимальном увеличении темпа для каждого пловца наступает критический момент, после которого сокращение «шага» приводит к снижению скорости. Это объясняется тем, что подготовительные движения при дальнейшем увеличении темпа приобретают ускорение, которое оказывает сопротивление продвижению в большей степени, чем пловец выигрывает от увеличения темпа. На рис. 46 показана зависимость скорости от изменения времени цикла у рекордсмена мира Г. Прокопенко. Как видно, критическое время цикла составляло 0,8 с. Дальнейшее его сокращение приводит к чрезмерному уменьшению «шага» и скорости.

Временные характеристики. В зависимости от темпа плавания время цикла в способе брасс может уменьшиться более чем в 2 раза. Однако при плавании в максимальном темпе различие этого показателя у участников крупных соревнований обычно не превышает 0,15 с (в способе кроль на груди разница во времени цикла у участников Олимпийских игр составляла 0,35 с). Малое различие во времени цикла у финалистов Олимпийских игр свидетельствует о незначительной вариативности

структуры кинематических и динамических характеристик их техники.

За последние десять лет сильнее всего уплотнили цикл движений в брассе на 0,1 с и улучшили результат на дистанции 100 м до 3 с. В настоящее время на крупнейших соревнованиях время цикла на дистанции 100 м составляет у мужчин 0,8—0,9 с, у женщин — 0,85—0,95 с, на дистанции 200 м у мужчин — 0,9—1,0 с, у женщин — 1,05—1,2 с.

Как и в других способах плавания, в брассе уплотнение цикла происходит в основном за счет подготовительного периода движений. Изменение временных показателей отдельных фаз движений при плавании в различном темпе представлено в табл. 15. По данным таблицы можно определить, что для времени цикла 1,4 с плотность гребковых движений составляет 0,5, для времени 1,0 с — 0,6 и для 0,8 с — 0,65.

Таблица 15. Показатели времени отдельных фаз движений при изменении темпа плавания способом брасс

Время цикла	Движение рук					Движение ног			
	захват	гребок	сведение предплечий	движение рук в исходное положение	пауза	толчок	сведение ног и движение вверх	пауза	подтягивание ног
1,4	0,3	0,25	0,12	0,4	0,3	0,15	0,25	0,5	0,5
1,0	0,25	0,23	0,1	0,35	0,07	0,13	0,20	0,22	0,45
0,8	0,2	0,2	0,1	0,3	—	0,12	0,15	0,13	0,4

В способе брасс можно выделить два периода подготовительных движений: первый разделяет гребковые движения ног и рук и второй — циклы. Их влияние на кинематику и динамику движений неодинаково. Отсутствие первого периода приводит к слитности гребковых движений рук и ног, что позволяет значительно повысить максимальные значения ВЦС. Укорочение второго периода приводит к более быстрому выполнению подготовительных движений, что усиливает их тормозящее влияние и как следствие увеличивает порог минимальной ВЦС. Отсутствие первого периода достигается пловцами при повышении темпа до 0,85 д/с.

Пространственно-временные характеристики. Средняя скорость финалистов Игр XXI Олимпиады на дистанции 100 м брасс составляла 1,485 м/с (без учета старта и поворота), что меньше на 27,6%, чем у пловцов их способом кроль на груди (1,895 м/с), на 17,8% — способом дельфин (1,75 м/с), и на 12,5% — способом кроль на спине (1,67 м/с).

Динамические характеристики. В табл. 16 приведены усредненные значения силы тяги при способе брасс, относительная сила тяги, сопротивление воды на средней скорости и отношении сопротивления воды к силе тяги для пловцов различной квалификации.

Таблица 16. Динамические характеристики способа брасс для пловцов различной квалификации

Квалификация пловцов	Средняя скорость, м/с	Сопротивление воды на средней скорости (R_1), Н	Сила тяги (F_1), Н	Относительная сила, Н	R/F
Финалисты Игр XXI Олимпиады	1,485	73	216	30	0,31
Мастера спорта	1,35	60	196	2,5	0,30
Кандидаты в мастера спорта	1,28	54	187	2,5	0,29
I разряд	1,20	49	177	2,4	0,27
II разряд	1,06	37	152	2,1	0,24
III разряд	0,90	24	118	1,5	0,20

Необходимо отметить, что в способе брасс связь между динамическими показателями и скоростью плавания за последнее десятилетие стала несколько слабее, чем в предшествующие годы и чем она прослеживается в других способах плавания. Это можно объяснить тем, что в интересах равномерности продвижения и темна компонента силы в технике современной брасса начинает терять свое иррежимное значение. Кроме того, выполняемые гребковые движения при измерении силы тяги имеют качественное различие с теми, которые пловец выполняет непосредственно во время плавания. Для создания тяговой силы на месте пловец выполняет более мощные загребующие движения, не заботясь об обтекаемости положения тела и тормозящем влиянии подготовительных движений, а гребковые движения его преимущественно

направлены на создание максимальной горизонтальной составляющей. В свою очередь при плавании в максимальном темпе значительная часть гребковых усилий рук и ног пловца уходит на вертикальную составляющую, что, как уже отмечалось, создает некоторые гидродинамические преимущества. При плавании в высоком темпе более мощный движитель — ноги — используется в качестве разгонного «механизма». Ослабление тяги ног происходит также за счет их минимального сгибания в тазобедренных суставах и по возможности умеренного сгибания в суставах колен. Ослабление тяги ног компенсируется более обтекаемым положением тела, уплотнением цикла и более равномерным продвижением.

Вертикальная составляющая сила тяги достигает в сплосбе брасс 90 Н.

При исследовании динамических характеристик пловцов-бронистов выявлены две закономерности, которые, вероятно, касаются и других способов плавания: 1) при увеличении темпа движений с 1,0 до 0,8 дв/с гребковая усилие ног снижается на 20%, 2) концентрация усилий на работе ног уменьшает тяговую силу рук. 3) меньшей степени снижается тяговая сила ног при усилении гребка руками.

Биомеханическая характеристика способа дельфин

Движения руками. Одновременные движения руками над водой из-за своей схожести со взмахами крыльев бабочки получили название «багтерфляй» (англ. — бабочка). Эти гребковые движения в спортивном плавании являются наиболее мощными. Однако ввиду большой продолжительности подготовительного периода тело продвигается неравномерно, и по скорости способ дельфин уступает кролю, хотя сила гребковых движений пловца на 35—40% больше. Мощности одновременных движений руками обусловлена также и анатомически — более жесткой фиксацией мышц спины.

Пространственные характеристики. В рабочей фазе траектория гребка в сагиттальной плоскости соответствует траектории попеременных движений рук способом кроль, а в горизонтальной за счет более широкого отведения рук в сторону и последующего их сведения — тра-

ектория длиннее на 0,2 м и составляет 1,8—2,0 м. Результирующая траектория кисти в воде составляет 1,9—2,1 м, т. е. равна траектории движения кисти при плавании способом кроль на спине и превышает горизонтальную составляющую на 46—51 %.

Траектория кисти в подготовительном движении 1,8—2 м. Общая траектория движения кисти при плавании способом дельфин составляет 3,7—4,1 м, что примерно равно движению кисти по окружности.

Гребковый «шаг» одновременных движений руками примерно такой же, как и попеременных, и его длина зависит от тех же факторов (антропометрических данных пловца, степени тренированности, темпа и т. н.). Однако пропульсивный «шаг» больше, чем при каком-либо другом варианте гребковых движений руками. Благодаря сдвоенности гребковых поверхностей происходит захват удвоенной массы воды. Поэтому проскальзывание гребка у квалифицированных дельфинистов незначительно, а «ударный» коэффициент имеет самое высокое значение.

Временные характеристики. Временные характеристики одновременных гребковых движений руками отличаются от характеристик попеременных движений незначительно. Поэтому максимальный темп движений способом дельфин почти не отличается от максимального темпа при способе кроль. Временные характеристики в первую очередь зависят от темпа движений. Как и в способе брасс, изменению подлежит преимущественно фаза наплыва. Основной период совместно с фазой завата в зависимости от темпа изменяется в пределах 0,1 с. Не больше изменяется и фаза движения рук над поверхностью воды.

Как видно из рис. 47, в пространственном соотношении, выраженном условными величинами, основной период составляет 42,8% (150°). Во временном соотношении при плавании в максимальном темпе основной период составляет 60% и при плавании с 50% интенсивностью — 50%. Время подготовительного периода (без фазы наплыва) изменяется на 17%, а фаза наплыва — в 2—3 раза и более.

В начальный период становления техники плавания способом дельфин фаза наплыва составляла до 50% общего времени цикла и для ее поддержания вводился третий удар ногами.

Пространственно-временные характеристики. По средней скорости плавания способ дельфин с помощью одних рук уступает кролю на груди, несмотря на мощность и пропульсивность гребковых движений. Основной причиной этого является значительный перепад ВЦС и в особенности больший по величине порог минимальной ВЦС. В способе кроль на груди он меньше в 3 раза.

Ускорение гребковых движений руками при плавании в максимальном темпе у пловцов-мужчин высокого класса составляет в среднем $3,14 \text{ м/с}^2$, у женщин до $2,4 \text{ м/с}^2$.

Динамические характеристики. Усредненная горизонтальная составляющая сила тяги гребковых движений рук способом дельфин не намного превышает аналогичный показатель при способе брасс и составляет у мужчин $173 \pm 24 \text{ Н}$, у женщин $130 \pm 18 \text{ Н}$. Интересно, что и в способе кроль на груди сила тяги не намного меньше, несмотря на то, что гребковое движение выполняется одной рукой. Это объясняется более равномерным распределением усилий в способе кроль — в начале гребка здесь «заложено» усилие предшествующего.

Гребковые усилия руками в способе дельфин отличаются равномерным их нарастанием до конца гребка и кривая ВЦС напоминает зубцы острой пилы. Однако у некоторых пловцов, чаще у женщин, максимальное усилие иногда достигается в середине гребка и удерживается более или менее на одном уровне до конца его. В таких случаях кривая ВЦС имеет форму пилы с поломанными зубцами. Средняя скорость при этом варианте несколько ниже, чем при первом. Необходимость сокращения подготовительного периода при увеличении темпа движений приводит к более быстрому и жесткому началу гребка. Наиболее яркое выражение это имеет в способе дельфин.



Рис. 47. Временные характеристики движения рук при плавании способом дельфин в согласовании

Вертикальная составляющая сила в начале гребкового движения достигает 120 Н.

Движения ногами. В начале развития спортивного плавания способом дельфин признаками хорошей техники считалось ундулирующее движение всем телом по примеру угря, то отнюдь не по образцу животного, по сходству с движениями которого был назван этот способ. Чем упорней были требования в этом плане тем хуже были результаты. Скорость пропульсивной волинь по телу значительно отставала от скорости, доступной за гребующим движениям рук и ног. На всех дистанциях вырывались пловцы, отличавшиеся не волнообразным движением тела, а темном.

В настоящее время движению ног в способе дельфин, как и в других способах плавания, отводится вспомогательная роль — создание дополнительной тяги. При этом ее вертикальная составляющая играет не меньшую роль, чем горизонтальная. Колебание туловища вверх-вниз рассматривается не как пропульсивное движение, а как «рысканье», возникающее непроизвольно в результате безпорядочного положения тела.

Пространственные характеристики. Траектория движения стоп имеет сходство с траекторией при способе кроль. Однако в способе дельфин траектория первого удара в начале гребка руками меньше второго — в конце гребка. Размах стоп в первом ударе составляет в среднем 0,38 м, во втором — 0,5 м.

Длина траектории стопы в основной системе ориентировки превышает ее горизонтальную составляющую в 1,5 раза.

При раздельном плавании у квалифицированных пловцов длина траектории одного цикла движений ног составляет в среднем 0,92 м, общий «шаг» пловца (включая движение тела по инерции) — 0,61 м, в пропульсивный «шаг» (продвижение тела во время движения ноги вниз) — 0,36 м. Приведенные данные свидетельствуют о более высоких пропульсивных возможностях одновременных гребковых движений ногами.

Еще в других способах плавания отмечается стремление к фиксации таза, то в общей кинематике движением способом дельфин вертикальные его смещения играют особую роль. После первого удара движение ног вверх начинается энергичным погружением таза вниз, что спо-

соответствует более быстрому перемещению дистальных частей ног вверх. Резкое опускание таза вниз связано с энергичным сокращением мышц спины. Это в свою очередь активизирует гребковые движения руками, особенно в их начальной фазе. После второго удара движение таза вниз выражено меньше, так как во время проноса рук ввиду полного отсутствия силы тяги погружение таза резко снизилось бы скорость продвижения тела.

«Шаговый» угол рабочей плоскости стопы несколько больше, чем при способе кроль на груди, за счет большего сгибания ног в суставах колен.

Временные характеристики. В движениях ногами способом дельфин выделяются два полуцикла: первый — в начале гребковых движений руками и второй — в конце. Каждый из них разделяется на два периода: основной (движение ног вниз) и подготовительный — (движение ног вверх). При плавании с помощью одних ног временные характеристики полуциклов не имеют существенных различий. Общее время полуцикла зависит от амплитуды движений, которая в свою очередь зависит от темпа. Например, при плавании с 50% интенсивностью время цикла движения ногами составляет 0,55 с и вертикальная составляющая траектория 0,5 м, а при плавании в максимальном темпе — соответственно 0,4 с и 0,43 м. Следовательно, максимальный темп при общем согласовании движений ограничивается движением ног до 0,8 с. Поэтому повышение темпа требует соответствующей перестройки пространственных и временных характеристик движения ног. Однако при плавании в согласовании движение ног подчинено главному движителю — рукам. В связи с этим кинематические характеристики движения ног при плавании в согласовании имеют существенные различия по сравнению с таковыми при их самостоятельной работе. Так, в общем цикле движений первый полуцикл совпадает с началом гребкового движения руками. Его время выполнения весьма ограничено, и при плавании в максимальном темпе на 33% меньше второго полуцикла. Вторым полуцикл завершается совместно с окончанием гребкового движения руками. После второго полуцикла следует пауза, длительность которой при плавании в максимальном темпе составляет 0,2—0,3 с и с уменьшением темпа пропорционально увеличивается. На рис. 48 показаны траектории движения ног способом дельфин

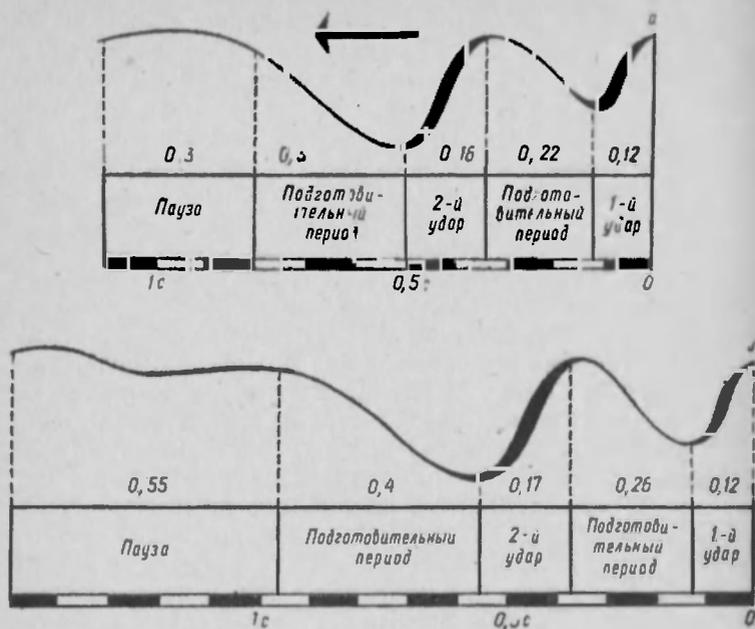


Рис. 48. Временные характеристики траекторий движений стопы при плавании способом дельфин: а — максимальный темп; б — с 50% интенсивностью

и приведены их временные характеристики. Видно, что уменьшение темпа движений в основном происходит за счет удлинения паузы, тогда как временные показатели других частей общего цикла движений остаются почти без изменений (а и б). При плавании с помощью одних ног паузы не набиваются (в).

Пространственно-временные характеристики Средняя скорость продвижения при плавании с помощью одних ног способом дельфин не уступает таковой при способе кроль. Однако в отличие от способа кроль при плавании в согласовании кинематические характеристики движения ног способом дельфин имеют значительные различия по сравнению с раздельным плаванием.

Пропульсивное значение первого удара при плавании в согласовании движений весьма незначительно. Пропульсивные возможности второго, более мощного удара в первой половине движения равны силе тяги движения

ногами при раздельном плавании. Но завершающая фаза этого движения почти полностью подчинена задаче создания максимальной подъемной силы. Перепады ВЦС при плавании с помощью одних ног превосходят аналогичные движения в способе кроль более чем в 2 раза.

Средняя скорость движения стоп способом дельфин у квалифицированных пловцов составляет 2 м/с, а ускорение второго удара — 3 м/с². В этот момент телу сообщается ускорение около 2 м/с². Гребковое движение ног неравноускоренное. Его максимальное значение достигается за сотые доли секунды в начале движения ног вниз и удерживается около 0,2 с.

Особенностью движений ног способом дельфин, отличающей его от других вариантов гребковых движений, является более короткий по сравнению с основным подготовительный период. Это происходит за счет быстрого погружения таза во время движения стоп вверх.

При плавании в высоком темпе колебания таза выражены меньше, но одновременно уменьшаются амплитуда движения стоп и их тяговое усилие.

Динамические характеристики. Максимальное тяговое усилие ног у квалифицированных пловцов-мужчин равно 143 ± 16 Н, у женщин — 109 ± 15 Н. Масса отбрасываемой воды при ускорении движения стоп на 3 м/с² составляет 48 кг, что лишь в 1,5 раза меньше массы тела пловца. При плавании в согласовании движений тяговое усилие ног уменьшается. При первом ударе величина силы тяги весьма незначительна (57—68 Н), а при втором она достигает своего максимума (112 Н) в первой половине движения ног. Ноги пловца в конце удара создают упор для движения рук вперед, поэтому их завершающее движение направлено на создание вертикальной составляющей.

При изучении динамических характеристик движения ног способом дельфин необходимо учитывать и то обстоятельство, что по мере завершения их движения вниз, которое происходит в основном за счет разгибания в суставах колен, условия приложения силы изменяются и сила тяги ослабевает. Как показано на рис. 4), в нижнем крайнем положении ноги тяга уменьшается с 146 до 93 Н.

Согласование движений. В способе дельфин гребковые движения рук и ног несколько совпадают. Первый удар ногами совпадает с началом гребкового движения руками, а второй выполняется в самой активной фазе

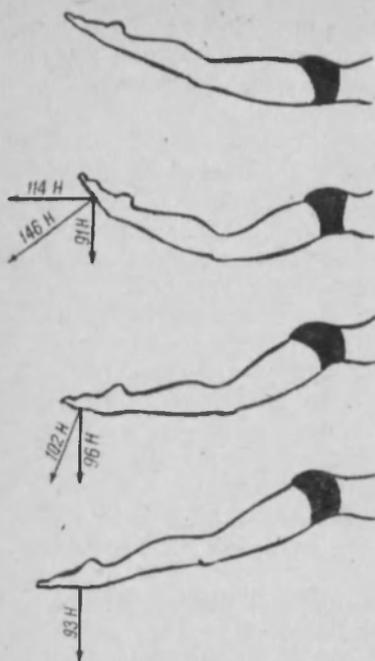


Рис. 49. Условия приложения силы в различные фазы движения ног вниз (дельфин)

работы рук — в конце гребка. В этот момент наступает фаза максимального напряжения всех мышечных групп, участвующих в гребковых движениях. После напряжения казалось бы, необходима была бы фаза расслабления всех мышечных групп — скольжения. Но в действительности фаза скольжения вступает в «противоречие» с темпом движений, т. е. со скоростью плавания. Сложность способа дельфин, требующая от пловцов незаурядных физических качеств, еще заключается и в том, что одновременное движение рук над водой возможно при высоком положении плеч. В способе кроль, например, илечо выводит из воды без особых дополнительных

усилий, так как его выход согласуется с поворотом другого плеча вниз для выполнения гребкового движения противоположной рукой. В способе дельфин требуются дополнительные усилия для создания подъемной силы, равной массе выходящих из воды частей тела.

Пространственные характеристики В способе дельфин отмечается самое значительное перемещение тела по вертикальной оси, которое составляет от 0,16 до 0,22 м. С выкатом стартов и поворотов вертикально «рысканье» тела удлиняет дистанцию 100 м на 4—6 м. При высоком темпе плавания, когда время движения рук над водой сокращается до 0,35 с, а время наплыва и захвата воды не превышает 0,3 с, вертикальное перемещение тела становится минимальным.

«Шаг» пловца зависит от темпа движений и в большей мере, чем в других способах плавания, от длины дистан-

ции (утомления). При плавании на дистанции 200 м способом брасс или кроль темп снижается, а «шаг» увеличивается. Однако даже на самых крупных соревнованиях у пловцов способом дельфин наблюдается одновременное снижение и темпа и «шага». Это свидетельствует о большой зависимости биомеханических характеристик техники плавания от функциональных возможностей пловцов. Так время цикла финалистов Игр XXI Олимпиады на дистанции 100 м у мужчин составляло 1,1—1,2 с, а «шаг» — 1,92—2,1 м. На дистанции 200 м время цикла увеличилось (1,17—1,28 с), а длина «шага» уменьшилась (1,86—2,03 м). У женщин на дистанции 100 м время цикла — 1,05—1,12 с, «шаг» — 1,61—1,74 м, на дистанции 200 м — соответственно 1,06—1,15 с и 1,49—1,62 м.

Известно, что увеличение времени цикла в основном происходит за счет фазы наплыва и захвата, т. е. движения тела по инерции. Поэтому отмеченное сокращение общего «шага» пловца при сохранении или увеличении времени цикла свидетельствует о сокращении пропульсивного «шага».

Из уравнения равноускоренного движения $S = v_0 t + \frac{a t^2}{2}$ по кривым ВЦС можно вычислить, что путь, пройденный за основной период, на дистанции 100 м составлял 1,07 м, а суммарный пропульсивный «шаг» движений рук и ног — 0,95 м. На дистанции 200 м основной период гребкового движения руки у финалистов был на 0,17 с длиннее, так как несколько сократился «шаг» гребкового движения и увеличилась фаза наплыва и захвата. Однако снизилась скорость с 1,75 м/с до 1,59 м/с, и продвижение за время основного периода равнялось 1,08 м, а пропульсивный «шаг» — 0,86 м, т. е. он сократился по сравнению со 100-метровой дистанцией на 0,09 м, или на 9,5%.

Приведенные показатели основаны на усредненных данных для всей дистанции. В действительности, в первой половине 200-метровой дистанции закономерность увеличения «шага» пловца с увеличением времени цикла сохраняется и пропульсивный «шаг» изменяется незначительно. Однако в конце дистанции пропульсивный «шаг» сокращается весьма существенно, в связи с чем нарушается общая закономерность. Так, у пловцов, имеющих II разряд пропульсивный «шаг» сокращается до 30%, у высококвалифицированных пловцов до 15—18%.

Следует отметить, что при плавании в согласовании движений по сравнению с раздельным плаванием с помощью одних рук пропульсивный и гребковый «шаг» пловца увеличивается до 10% (на 0,16–0,19 м), что в меньшей мере наблюдается в способах кроль на груди и на спине.

Временные характеристики. Средний результат финалистов Игр XXI Олимпиады на дистанции 100 м способом дельфин у мужчин был 55,3±1,0 с, у женщин 1,01,42±1,3 с и уступал лишь среднему результату пловцов способом кроль на груди.

Среднее время цикла у мужчин составляло 1,15 с, что не намного превышало этот же показатель при способе кроль на груди (1,07 с), хотя «шаг» пловцов при том и другом способе плавания был почти одинаков (дельфин — 2,02 м, кроль — 2,03 м). У женщин среднее время цикла при способе дельфин было 1,09 с, при способе кроль — 1,06 с, но разница в «шаге» была значительной (дельфин — 1,7 м, кроль — 1,84 м. В финальных заплывах на дистанцию 200 м у мужчин время цикла изменилось незначительно (1,22 с) и у женщин почти не изменилось (1,1 с). Однако «шаг» сократился у мужчин на 0,08 м, а у женщин на 0,15 м, в результате чего средняя скорость снизилась у мужчин на 9,1%, у женщин на 9,6%.

При изменении темпа плавания способом дельфин время отдельных фаз движений изменяется неравнозначно. В большей мере изменяется время подготовительного периода и в частности фазы наплыва. Из данных табл. 17 видно, что возможности дальнейшего увеличения темпа за счет сокращения подготовительного периода практически исчерпаны, а сокращение основного периода на 0,05 с равнозначно увеличению ускорения с 2 м/с² до 2,2 м/с², что соответствует увеличению силы гребковых движений на 10% (в среднем на 15 Н). Следовательно, увеличение темпа до 66,6 дв/мин (время цикла 0,9 с) требует увеличения силы гребкового движения в среднем на 30 Н.

Вышеприведенные расчеты основаны на анализе кривых ВЦС при существующем варианте способа дельфин. Переход на новый вариант с более высоким темпом плавания, например, на одноударный дельфин, естественно изменит не только временные показатели гребковых движений, но и их динамическую структуру. Моделирова-

Таблица 17. Показатели времени отдельных фаз движений при изменении темпа плавания способом дельфин. с

Темп движе- ния, д/мин	Время цикла	Плотность гребковых движений	Основной период			Подготовительный период			
			захват	гребок	общее время нервуда	выход руки из воды	движение руки над водой	наплыв	общее время периода
37,5	1,6	0,48	0,32	0,45	0,77	0,1	0,15	0,28	0,83
43	1,4	0,5	0,27	0,43	0,70	0,08	0,1	0,22	0,70
50	1,2	0,53	0,24	0,4	0,64	0,06	0,07	0,13	0,56
60	1,0	0,57	0,20	0,37	0,57	0,05	0,035	0,03	0,43
66,6	0,9	0,55	0,16	0,31	0,5	0,04	0,034	0,02	0,10

ние одноударного дельфина позволяет сделать следующие выводы. 1. Устранить второй удар (в конце гребкового движения руками) очень сложно, так как создаваемая им подъемная сила необходима для выхода тела на поверхность воды. Эта сила не может быть возложена руками в конце их гребкового движения. 2. Если убрать первый удар (в начале гребкового движения руками), то подъемная сила может быть заменена вертикальной составляющей силы гребкового движения рук. Однако это ослабит горизонтальную составляющую тяги. Поэтому для сохранения тяги вторую часть гребка необходимо усилить движением ног. В свою очередь, чтобы усилить горизонтальную тягу ног, необходимо ослабить вертикальную составляющую силы, которая служит для выхода тела на поверхность воды. 3. Наиболее реальным вариантом повышения темпа до 65—70 д/мин (время цикла 0,85—0,9 с) является сохранение двухударного способа с ослаблением второго удара до уровня первого, основной задачей которого будет являться создание подъемной силы с самого начала движения. Повышение скорости до 1,85 м/с требует сокращения цикла до 0,85—0,9 с и «шага» до 1,67 м (временные характеристики отдельных фаз движений для темпа 66,6 д/мин и плотность гребковых движений при различных вариантах темпа см. табл. 15). С повышением темпа плотность увеличивается от 0,48 до 0,57, а при повышении темпа выше 60 д/мин она уменьшается. Это объясняется тем, что дальнейшее уплотнение времени подготовительного периода становится невозможным и общее вре-

мя цикла уменьшается за счет основного периода гребковых движений. В общих чертах зависимость скорости плавания от темпа можно выразить формулой:

$$t_2 = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2 t_1,$$

где v_1 — скорость при данном времени цикла; v_2 — искомая скорость; t_1 — время цикла при данной скорости; t_2 — искомое время цикла.

Например, если время цикла у пловца 1,22 с и средняя скорость 1,59 м/с, то достигнуть скорости 1,75 м/с он может при уменьшении времени цикла до $\left(\frac{1,59}{1,75} \right)^2 \cdot 1,22 = 1,0$ с и, следовательно, увеличении темпа до 60 дв/мин. При увеличении темпа выше 60 дв/мин ввиду того, что плотность гребковых движений уменьшается, в формулу необходимо вводить константу, которая до скорости 1,9 м/с изменяется от 1 до 0,92; после этих значений при современной технике плавания скорость передвижения будет снижаться.

Приведенная формула отражает лишь кинематическую зависимость скорости плавания от темпа движений. На практике она может быть приемлема для установления отклонений от кинематической закономерности.

Пространственно-временные характеристики. Одновременные гребковые движения руками при способе дельфин создают тяговое усилие, существенно превосходящее таковое при способе кроль. Однако в способе дельфин фаза с отрицательным ускорением занимает половину времени всего цикла.

В результате скорость в конце подготовительного периода снижается в среднем в 2 раза по сравнению с максимально достигнутой в цикле. Поэтому, хотя максимальное значение ВЦС при способе дельфин на 10% выше, чем при способе кроль, минимальное ее значение ниже на 30%, в результате чего средняя скорость снижается на 10% и находится почти на уровне минимальной скорости при способе кроль на груди.

Ускорение тела при способе дельфин выше, чем при других способах плавания. Его величина в конце гребковых движений рук у квалифицированных пловцов достигает 2,9—3,0 м/с², вследствие чего скорость перемещения тела изменяется на 1 м/с и, следовательно, коэффициент неравномерности ВЦС достигает 1.

Динамические характеристики. Максимальное мышечное напряжение двух рук в положении «кисть обгоняет локоть» составляет 372 ± 46 Н у пловцов-мужчин и 235 ± 38 Н — у женщин.

Усредненная сила тяги, замеренная с помощью резинового жгута, составляет у квалифицированных пловцов-мужчин 232 ± 32 Н, у женщин — 171 ± 33 Н. В действительности сила гребкового движения руками превосходит эти величины, так как при измерении тяговых усилий в воде динамометром фиксируется только сила горизонтальной составляющей.

В отличие от других способов плавания при способе дельфин отмечается весьма удовлетворительная зависимость силы тяги и скорости плавания от максимального усилия рук, замеренного на суше (соответственно $\gamma = 0,588$ и $0,456$).

Площадь гребковых поверхностей рук создает сопротивление, всего на 25% уступающее общему сопротивлению тела. Это значительно повышает КПД рук, и ускорение тела становится не намного меньше ускорения гребковых движений рук.

Движение ног при современных вариантах способа дельфин не сглаживает минимальный порог ВЦС, а усиливает гребковое движение рук и создает подъемную силу, необходимую для выполнения подготовительного периода. Совместное максимальное усилие рук и ног достигается в конце основного периода. Однако при анализе записей ВЦС обращает на себя внимание неоднородное распределение усилий у пловцов, выполняющих один вдох на два цикла. В цикле со вдохом второй удар выполняется несколько раньше и ускорение ног совпадает с ускорением рук. В результате этого увеличивается максимальная ВЦС; на $0,07-0,09$ с сокращается время цикла и на $0,13-0,16$ м «шаг» пловца (рис. 50,с). Во втором цикле, без вдоха, второй удар ногами выполняется со

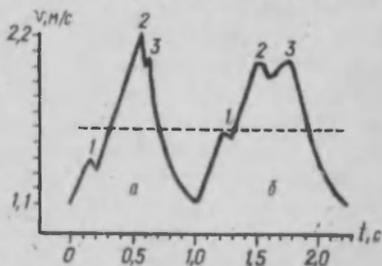


Рис. 50. Кривая ВЦС способа дельфин с одним вдохом на два цикла:
1 — 1-й удар ногами, 2 — гребок руками, 3 — 2-й удар ногами

значительным опозданием. В этот цикл максимальное значение ВЦС снижается в среднем на 0,15 м/с. Однако увеличиваются время цикла и «шаг» (рис. 50, б). Во втором цикле первый удар выполняется более энергично и его горизонтальная составляющая увеличивается почти в 2 раза. В общем при одинаковой средней скорости продвижения тела второй цикл отличается большей равномерностью с меньшей тратой энергии.

Тенденция совершенствования техники спортивных способов плавания

В совершенствовании техники спортивных способов плавания важная, чуть ли не первостепенная роль отводится опыту мастеров «голубых дорожек». Естественно, что спортсмены, достигшие определенных вершин, более рационально используют свои физические качества, функциональные возможности своего аппарата опоры и движения. Эта рациональность сказывается и на правильном выборе варианта техники плавания. Техническое совершенство определяется соответствием внутривидовой кинематики и динамики движений морфофункциональным возможностям пловца.

На определенной степени технического и методического прогресса в плавании становится неизбежным переход количественных изменений в качественно новую форму и содержание вариант того или иного способа плавания. Например, замена классического брасса темповым вариантом; переход трехударного на двухударный дельфин и т. п.

Бывают случаи, когда особенности физического развития некоторых спортсменов позволяют им применить несколько иную структуру техники. Если спортсмен при этом достиг высших результатов, то его вариант техники становится шаблоном технического совершенствования для пловцов всех континентов. Однако с увеличением скорости плавания вариативность техники сужается и более отчетливо просматривается общая тенденция в ее дальнейшем совершенствовании.

С увеличением скоростей плавания сужаются и морфофункциональные возможности пловцов, обладающих необходимыми гидродинамическими качествами и наиболее приспособленных к плавательным движениям и нагрузкам.

Тенденция совершенствования механической структуры плавательных движений. Механическая рациональность плавательных локомоций определяется их размерностью и прямолинейностью. Поэтому равномерное прямолинейное движение при максимальном использовании динамических возможностей аппарата опоры и движения человека является общей тенденцией дальнейшего совершенствования механической структуры плавательных движений.

Однако достигнуть равномерного продвижения с помощью рычажной системы, которую представляет аппарат опоры и движения человека, практически невозможно. Поэтому речь может идти лишь о снижении перепадов ВЦС, что достигается плотностью гребковых движений и устранением моментов торможения в подготовительных движениях и в положениях тела.

Увеличение плотности гребковых движений связано с неизбежным повышением темпа, а уменьшение «рысканья» тела и других тормозящих действий во время выполнения подготовительных движений в какой-то мере достигается локализацией локомоторного акта на дистальных частях конечностей. Это приводит к более узким, коротким и частым движениям.

Отмеченная тенденция является общей для всех спортивных способов плавания.

Уплотнение гребковых движений и увеличение темпа плавания создают несколько иные условия энергетического обеспечения двигательных актов и, следовательно, требуют не только иных методов тренировки.

Закономерность совершенствования техники спортивного плавания. Зависимость отдельных параметров техники от морфо-функциональных возможностей пловцов особенно отчетливо просматривается при изучении внутрицикловой скорости пловцов различной квалификации. Исследования в этом направлении позволили выявить определенную этапность в совершенствовании технического мастерства.

На первом этапе преобладает стремление к использованию пассивных сил (силы инерции и подъемной силы гидростатического характера), а также к повышению КПД движений. Совершенствуются сила и

продолжительность гребковых движений, увеличивается их «шаг». Однако гребки чередуются с весьма длительной фазой расслабления. На этом этапе происходит освоение наиболее экономичных вариантов техники плавания. Учитывается, что движение тела тем экономичнее, а следовательно, и рациональнее, чем в большей мере организм использует для его выполнения реактивные и внешние силы и чем меньше ему приходится приносить активных мышечных добавок» (И. А. Бернштейн, 1966).

На втором этапе пловец стараясь сохранить мощность гребковых движений, сокращает подготовительный период и менее эффективные фазы основного периода.

Третий этап отличается локализацией движений на дистальных частях конечностей и максимальным повышением темпа. При этом отмечается некоторое снижение гребковых усилий и сокращение «шага». Одновременно наблюдается и снижение КПД.

Увеличение скорости находится в квадратической зависимости от уменьшения времени цикла. Для более высокой скорости плавания, к которой стремится пловец, время цикла можно определить по формуле

$$t_2 = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2 t_1,$$

где t_2 и t_1 — время цикла соответственно для более высокой и имеющейся скорости, а v_2 и v_1 — соответственно скорость, которую хочет достигнуть пловец, и имеющаяся скорость. Например, средняя скорость пловца 1,73 м/с, а время цикла 1,33 с. Тогда для достижения средней скорости 1,9 м/с при оптимальном укорочении «шага» время цикла неизбежно сократится до $t_2 = \left(\frac{1,73}{1,9} \right)^2 \cdot 1,33 = 1,1$ с.

Естественно, для достижения указанной скорости время цикла может сократиться больше, что будет свидетельствовать об уменьшении массы отбрасываемой воды, а значит, и КПД гребка.

Увеличение частоты гребковых движений, сокращение фаз расслабления, стремление сохранить наиболее эффективную часть рабочего движения значительно изменяют характер работы спортсмена, предъявляя к его организму повышенные требования.

СПИСОК РЕКОМАНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Абсаямов Т. М., Курежков Г. П. Некоторые изменения в характере двигательного цикла по мере нарастания утомления при плавании: Мат. науч.-метод. конф. по плаванию. — М.: ГЦОЛИФК, 1966.

Алев Ю. Г. Пекгон — Киев: Наукова думка, 1976

Александров Г. Биомеханика (Пер. с англ.). — М.: Мир, 1970

Албертов Н. Я. Гидромеханика М., 1952.

Амар У. Челювческа машина. — М.-Л.: Госиздат, 1926.

Бенштин Р. А. Счеты по физиологии движений и физиологии активности. — М.: Медицина, 1966.

Вайслюмер Д. Плавание — Физкультура и туризм (ОГИЗ), 1933.

Виноградов М. И. Физиология трудовых процессов — Л., 1958

Вржесневский И. В. Плавание — М.: Физкультура и спорт, 1969

Гордон С. М. Техника спортивного плавания. — М.: Физкультура и спорт, 1963.

Донской Д. Д. Биомеханика. — М.: Физкультура и спорт, 1979

Дычков В. М. Совершенствование технического мастерства спортсменов — М.: Физкультура и спорт, 1972

Байборский В. М. Физические качества спортсменов. — М.: Физкультура и спорт, 1966.

Зишкин Н. В. Физиологическая характеристика силы быстроты и выносливости. — М.: Физкультура и спорт, 1953.

Каунсильмен Д. Наука о плавании. — М.: Физкультура и спорт, 1972.

Котляйский Н. В. Очерк биологической аэро- и гидродинамики. — М.: Наука, 1974.

Куряшов А. Ф. О сопротивлении воды движению рыб. — В кн.: Биология моря. Киев: Наукова думка, 1939, № 16.

Ложнова О. И., Ваньков А. А. Основы спортивного плавания. — М.: Физкультура и спорт, 1971.

Мачаенко Л. П. Совершенствование техники плавания способом кроль на спине. — Плавание, 1974, 2

Макаренко Л. П. Техническое мастерство пловца. — М.: Физкультура и спорт, 1975

Онопциенко Б. И. Влияние антропометрических данных на гидродинамику пловца. — Теор. и практ. физ. культ., 1967, № 4.

Онопциенко Б. И. Исследование влияния морфологических особенностей на гидродинамические качества илоплов: Автореф. дис. ... канд. наук. — М., 1968.

Онопциенко Б. И. Зависимость сопротивления воды от положения тела пловца. — Теор. и практ. физ. культ., 1968 № 9.

Онопциенко Б. И. Номограммы для определения сопротивления воды. — Теор. и практ. физ. культ., 1969, № 8.

Онопциенко Б. И. Некоторые морфологические особенности пловцов. — Плавание, 1971, 2

Онопциенко Б. И., Атамачов В. Ф. Тензометрия в плавании. — Теор. и практ. физ. культ., 1973, № 8.

Онопциенко Б. И., Прокопенко Г. Я. Техника современного брасса. — Плавание, 1975, 3.

Онопrienko B. И., Прокопчук Г. Я. Зависимость техники плавания от функциональных возможностей пловцов. — Плавание 1976. 2.

Онопrienko B. И. Методика определения эффективности реализации гребковых усилий в спортивных способах плавания. — Теор. и практ. физ. культ., 1976, № 12.

Очотченков Б. И. Использование моделирования для исследований сопротивления воды движению тела пловца. — Теор. и практ. физ. культ., 1979, № 9.

Плавание / Под ред. Н. Ж. Булаковой — М.: Физкультура и спорт, 1979.

Пятницкий В. Е., Каян В. П. О кинематике плавания дельфина-афалины. — В кн.: Бионика, 1975. 9.

Сеченов И. М. Очерки рабочих движений человека. — М., 1901.

Шулейкин В. В. Физика моря. — М.-Л.: Изд. АН СССР, 1941.

Жржиша К. «Некоторые вопросы силовой подготовки пловцов». Мас. междунаrod. научно-метод. конф. по проблемам спорт. трен. — М., 1962.

Юржичка К. Сопротивление воды в плавании — Теор. и практ. физ. культ., 1968. № 7.

Barth ls K., Abrían M. Three-dimensional Spatial Hand Patterns of Skilled Butterfly Swimmers. Intern. Symposium «Swimming II», Bruxelles, 1975.

Bober T., Czabansky B. Changes in Breast-stroke Technique under Different Speed Conditions. Intern. Symposium «Swimming II», Bruxelles, 1975.

Bucher W. The Influence of the Leg Kick and the Arm Stroke on the Total Speed during the Crawl Stroke. Intern. Symposium «Swimming II», Bruxelles, 1975.

Jishoot J., Carys J. Body Resistance on and under the Water. Intern. Symposium «Swimming II», Bruxelles 1975.

Jufinz K. Počet odporu vody pri plynáckej ziberu. — Sbornik FIVS, Praha, 1964.

Karpovich P. Water Resistance in Swimming — Pes. Quart., 1933. 4.

Karpovich P., Pestrecov K. Mechanical Work and Efficiency in Swimming Crawl and Back Strokes. — Arbeits Physiol., 1931, 10.

Kent M., Atha J. Intracycle Kinematics and Body Configuration Changes in the Breast Stroke. Intern. Symposium «Swimming II», Bruxelles, 1975.

Persyn U., De Maeyer I., Vermaecke H. Investigation of Hydrodynamic Determinants of Competitive Swimming Strokes Intern. Symposium «Swimming II», Bruxelles 1975.

Mc. Pherson L. A Cinephotographical Biomechanical Analysis of David Wilkie's Breast-Stroke — Swimming Technique 1978 N 4.

Rachon G. An Analysis of Arm Paddling in Swimming. Intern. Symposium «Swimming II», Bruxelles, 1975.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие</i>	3
<i>I. Строение и функционирование аппарата опоры и движения человека</i>	5
Структурные особенности аппарата опоры и движения	5
Функциональные особенности аппарата опоры и движения	23
<i>II. Гидромеханика спортивного плавания</i>	51
Физические свойства водной среды	51
Влияние водной среды на организм человека	53
Поддержание тела у поверхности воды	61
Сопротивление воды	63
Гидромеханическая характеристика тела человека	82
Гидродинамические силы в бассейне	103
Создание силы тяги (локомоции)	111
Компенсаторные движения	119
Биомеханические характеристики спортивного плавания и методика их определения	123
Структура спортивных способов плавания	133
Биохимическая характеристика плавания способом кроль на груди	135
Биомеханическая характеристика плавания способом кроль на спине	151
Биомеханическая характеристика способа брасс	160
Биомеханическая характеристика способа дельфин	173
Тенденция совершенствования техники спортивных способов плавания	186
<i>Список рекомендуемой литературы</i>	189

Борис Ионович Оноприенко

БИОМЕХАНИКА ПЛАВАНИЯ

Редактор И. А. Солдатова

Оформление художника М. Я. Куленко

Художественный редактор А. И. Яцул

Технический редактор Л. А. Запольская

Корректоры Л. П. Козинец, Е. Я. Котляр

Информ. бланк № 1723

Сдано в набор 08.10.80. Подп. к печ. 29.05.81. БФ 10110. Формат 84×108/16.
Бумага тип. № 3 Гари. лит. Печ. выс. Усл. печ. л. 10,08. Усл. кр.-отт. 10,40
Уч.-изд. л. 10,28. Тираж 2000 экз. Зак. № 472. Цена 1 р. 70 к

Издательство «Здоров'я», 252021, Киев-21, ул. Кирова, 7, тел.: 93-55-34.

Белоцерковская книжная фабрика республиканского производственного объединения «Полиграфкинига» Государственного комитета Украинской ССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли, 256400, г. Белая Церковь, ул. Карла Маркса, 4.

Оноприенко Б. И.

О-59 Биомеханика плавания. — Киев: Здоров'я. 1980.— 192 с., ил., 0,68 л. ил.

Освещены основные законы и понятия биомеханики, физиологии и гидродинамики в связи с овладением техникой спортивного плавания. Проанализирована взаимосвязь техники с физическими, морфологическими и функциональными возможностями пловцов.

60902—102

О 172.81.4202000000
M209(01)—81

ББК 75.717.5
7А5.1