

МОДЕЛИРОВАНИЕ В ОБЛАСТИ МЕХАНИКИ ЧЕЛОВЕКА: ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВЗАИМОСВЯЗЬ РАЗМЕРОВ, МАССЫ ТЕЛА И СКОРОСТИ СПОРТИВНОГО ПЛАВАНИЯ

Човнюк Ю.В.

Киевский национальный университет
строительства и архитектуры

Известно общее правило, что крупным животным (и человеку в том числе) требуется больше времени, чем мелким, чтобы совершить однотипное движение. Это можно объяснить, если рассмотреть работу, совершаемую мышцей при сокращении.

В соответствии с общеизвестной схемой строения скелетной мышцы — последняя состоит из множества параллельных мышечных клеток (волокон) диаметром от 0,01 до 0,1мм, длина которых может достигать нескольких сантиметров. Эти волокна содержат тонкие мышечные фибриллы, имеющие характерную исчерченность. Исчерченность мышечных фибрилл обусловлена правильной периодичностью их продольной структуры. Фибрилла состоит из повторяющихся отрезков — саркомеров, разделённых Z — линиями (Z — дисками). Длина саркомера в расслабленной мышце около 2,5мкм. От Z — диска в обе стороны тянутся очень тонкие нити (диаметром около 0,005мкм), а в промежутки между ними входят более толстые (диаметром около 0,01мкм) нити. Длина толстых (миозиновых) нитей примерно 1,5мкм, а тонких (актиновых) — от 1 до 1,3мкм. Тонкие и толстые нити соединены между собой системой межмолекулярных поперечных связей, и когда мышца сокращается, эти связи перестраиваются таким образом, что толстые нити скользят между тонкими, входя глубже в промежутки между ними, и расстояние между Z — дисками уменьшается.

Сила, развиваемая мышцей, находится в прямой зависимости от площади её поперечного сечения, так как максимальная сила зависит от числа фибрилл, которые помещаются на данной площади. Отношение максимальной силы, развиваемой мышцей, к площади её поперечного сечения изменяется в очень малых пределах и, как правило, составляет $(4...6)10^5 \text{ Н/м}^2$. Так как длина каждого саркомера во время сокращения мышцы не может уменьшаться больше, чем

на 1мкм, предельная величина укорочения всей мышцы должна быть пропорциональна её длине. Поэтому работа, производимая мышцей и равная произведению силы на величину укорочения, должна быть пропорциональна её объёму (или массе).

Предположим теперь, что мы располагаем группой спортсменов, подобных во всех отношениях и отличающихся друг от друга только своей массой. Пусть масса одного из этих спортсменов M , а масса мышцы, сокращение которой приводит тело в движение, CM , где C – постоянная для всей этой группы спортсменов. Если единица массы мышцы способна выполнить работу a , то работа, выполняемая всей мышцей, равна aCM . Пусть эта работа идёт на то, чтобы придать скорость v части тела с массой C_1M , где C_1 – другая постоянная для той же группы спортсменов (специализирующихся в одном и том же виде спорта). Очевидно, что для придания скорости v массе C_1M необходимо затратить энергию $C_1Mv^2/2$. Приравнивая эту энергию работе, совершённой мышцей, получаем

$$\frac{C_1Mv^2}{2} = aCM,$$

Откуда

$$v = \sqrt{2aC/C_1}.$$

Из последнего выражения следует, что подобные спортсмены могут ускорять соответствующие части своих тел до одинаковых скоростей независимо от их масс. Применим это заключение к рукам пловцов: аналогичные спортсмены (плывут одну и ту же дистанцию, одним и тем же стилем) могли бы ускорять свои конечности до одинаковых скоростей и, следовательно, плыть с одинаковой скоростью независимо от их размеров. Однако длина шага гребка у каждого из этой группы подобных спортсменов пропорциональна его линейным размерам, т.е. $\sqrt[3]{M}$. Поэтому частота гребков подобных спортсменов, движущихся с одинаковой скоростью, должна быть прямо пропорциональна $(\sqrt[3]{M})^{-1}$. Конечно, такие количественные оценки нельзя в полной мере применять в сравнительном анализе движений высокорос-

лых и низкорослых пловцов хотя бы потому, что формы их тел далеки от подобия. В то же время приведенные рассуждения позволяют во многих случаях качественно объяснить связь между массой спортсмена и его индивидуальным графиком проплывания конкретной дистанции.

Сила сопротивления, которую преодолевает пловец, двигаясь в воде, при одинаковой форме тела пропорциональна площади его поперечного сечения S квадрату скорости его движения v^2 . Поэтому выражение для мощности N , которую затрачивает пловец при движении, имеет вид: $N = K_1 S v^2 v$, где K_1 – постоянный коэффициент. С другой стороны, как было показано выше, максимальная мощность, развиваемая каждой мышцей пловца, должна быть пропорциональна ее массе (а, значит, ее объёму). Очевидно, что такой же вывод справедлив для всего организма, что в результате даёт

$N = K_2 Q$, где Q – объём тела пловца, а K_2 – постоянная. Приравнивая между собой обе формулы для N , получаем: $v = \sqrt[3]{Q/S} \cdot C_2$, где C_2 – коэффициент, не зависящий от роста и размеров пловца. Пусть $v_1, v_2, Q_1, Q_2, S_1, S_2$ – скорости, объёмы и площади поперечного сечения большого и маленького пловцов соответственно. Тогда

из последнего выражения для v можно получить: $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt[3]{\frac{Q_1}{Q_2} \cdot \frac{S_2}{S_1}}$.

Считая формы большого и маленького пловцов подобными, а их

длины (рост) равными L_1 и L_2 , можно утверждать, что $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{L_1^3}{L_2^3}$, а

$\frac{S_1}{S_2} = \frac{L_1^2}{L_2^2}$. Поэтому выражение для v_1/v_2 можно переписать в виде:

$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt[3]{\frac{L_1}{L_2}}$. Таким образом, более высокорослые пловцы имеют ско-

ростное преимущество при проплывании дистанции.