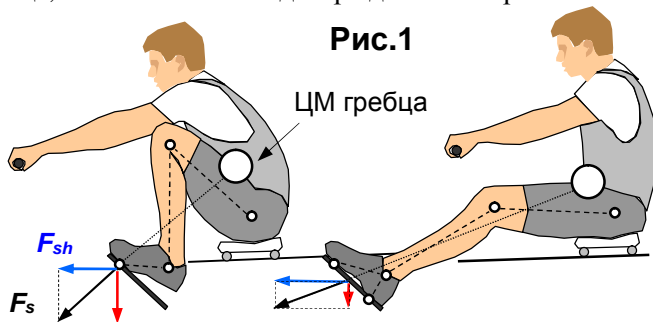


Горизонтальная сила на подножке

Усилия на подножке не просто измерять и анализировать, поскольку их направление и точка приложения изменяется на протяжении проводки: в захвате, гребец давит в подножку через носки и более вертикально; во второй половине проводки, усилия становятся более горизонтальными и прикладываются в середине стопы (Рис.1). Можно выдвинуть гипотезу о том, что линия действия силы на подножке связана с положением ЦМ гребца, но это пока не подтверждено экспериментально.



Сила на подножке может быть разложена на две составляющие, которые играют очень разную роль в биомеханике гребли: горизонтальная участвует в продвижении системы лодка-гребец, а вертикальная влияет на «подвешивание» массы гребца (НБГ 2013/09-10). Поэтому, недостаточно измерить просто «силу на подножке», а необходимо определить ее направление и точку приложения, или измерить горизонтальный и вертикальный компоненты по отдельности. Горизонтальная сила на подножке F_{SH} – часть баланса сил на корпусе лодки:

$$F_{PF} - F_{SH} = m_b a_b - F_D \quad (1)$$

где $F_{PF} (=F_P \cos(A))$ – продвигающий компонент усилия на уключине (A – угол поворота уключины), m_b – активная масса лодки, a_b – ускорение лодки, F_D – сила сопротивления воды. Из этого уравнения кажется, что F_{SH} имеет отрицательное влияние на продвижение лодки, поскольку направлена в сторону, противоположную скорости лодки и играет ту же роль, что и сила сопротивления: чем выше усилие на подножке, тем меньше ускорение лодки. Часто, гребцы стараются минимизировать «неправильно» направленную силу на подножке и максимизировать «правильную» силу на рукоятке, которая переносится через отвод на силу на уключине F_{PF} и ускоряет лодку вперед.

Однако, это верно лишь относительно корпуса лодки, который составляет лишь около 15% от массы всей системы. Если рассматривать наиболее массивную ее часть – массу гребца m_R , баланс сил будет следующий:

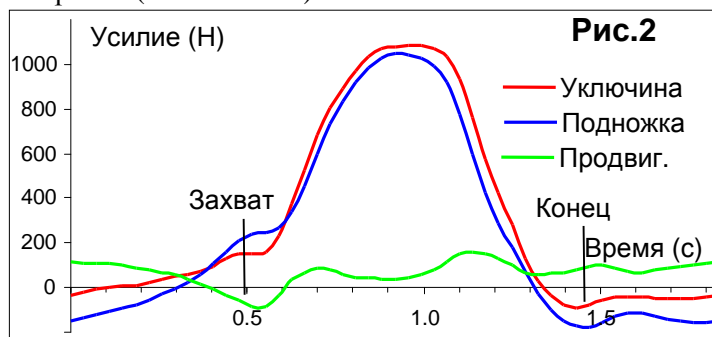
$$F_{SH} - F_H = m_R a_R \quad (2)$$

где F_H – сила на рукоятке, a_R ускорение ЦМ гребца. Это означает, что сила (реакции) на подножке ускоряет массу гребца вперед, а усилие на рукоятке тянет его назад.

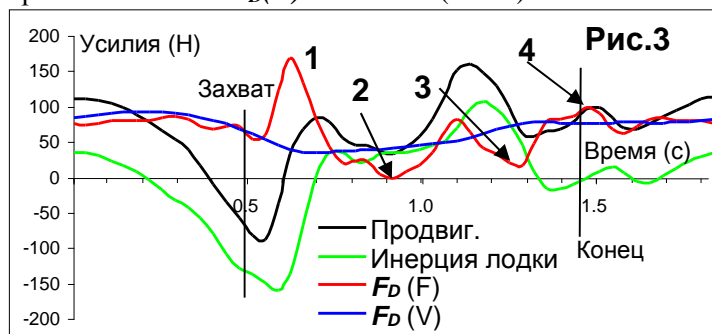
Ускорение массы m увеличивает ее скорость v и кинетическую энергию $E_k = mv^2$. Чем выше кинетическая энергия аккумулированная системой гребец-лодка на проводке, тем выше средняя скорость системы. Поскольку гребец составляет более чем 80% от массы системы, ускорение его собственной массы – есть важней-

шая цель его усилий на проводке. В начале XX века знаменитый англо-австралийский тренер и методист гребли Стив Фэйрбэерн выразил это следующим образом: «Найдите способ использовать свой вес и вы решите проблему, как двигать лодку». Поэтому, максимизация горизонтальной силы на подножке на проводке – очень важная часть эффективной техники гребли и многие успешные тренеры ставят ее главной целью усилий гребца.

Силы на уключине и подножке имеют достаточно близкие величины и динамику на проводке. Разница между ними – продвигающая сила на лодке тратится на преодоление сил сопротивления F_D и инерции лодки $m_b a_b$ (Ур.1), которые относительно невелики. Рис.1 показывает горизонтальные силы на подножке и уключине измеренные с помощью системы BioRow™, а также рассчитанную продвигающую силу в M1x при 32 гр/мин (НБГ 2013/09).



Силу инерции лодки можно вывести из измеренного ускорения лодки и известной ее активной массы, так что можно рассчитать силу сопротивления $F_D(F)$ из уравнения 1. Сила сопротивления $F_D(V)$ была также рассчитана из скорости лодки Vb и коэффициента сопротивления DF : $F_D(V) = DF * Vb^2$ (Рис.3).



Средние за цикл гребка силу сопротивления были достаточно близки: $F_D(V) = 68.2\text{Н}$, $F_d(F) = 66.9\text{Н}$. Их кривые на подготовке были также близки, но на проводке они были очень различны. Наивысший пик $F_d(F)$ 1 после захвата совпадает с наивысшей скоростью банки и может быть объяснен силой трения на ее колесах, которая выглядит, как увеличенная сила сопротивления. Небольшой пик 4 можно отнести к наивысшей вертикальной силе на банке, которая давит лодку вниз и увеличивает силу сопротивления. Природа отрицательных пиков 2 и 3 пока не ясна. Одной из возможных причин может быть небольшая сила давления икр гребца на лодку, которая на измеряется, но влияет на реальный баланс сил.