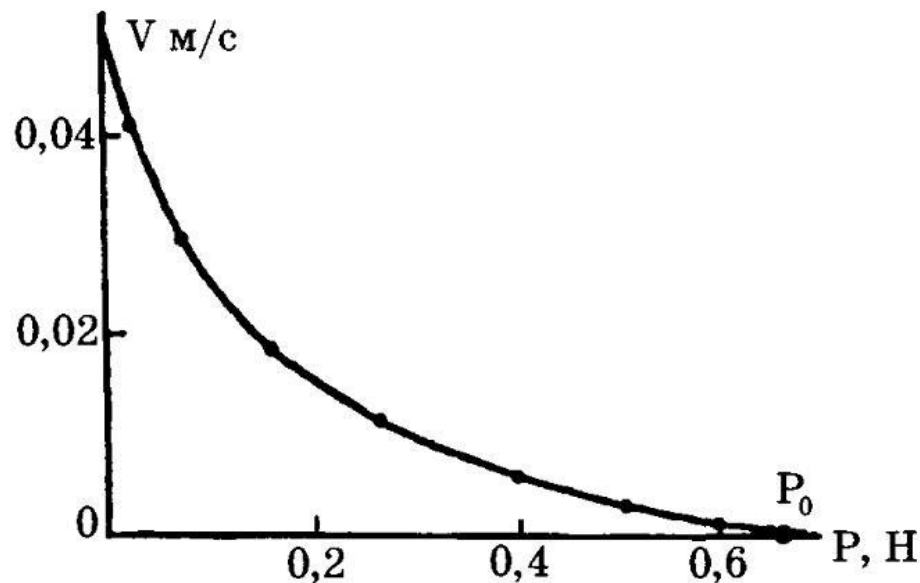


# Уравнение Хилла. Мощность одиночного сокращения.

Зависимость скорости укорочения от нагрузки  $P$  является важнейшей при изучении работы мышцы, так как позволяет выявить закономерности мышечного сокращения и его энергетики.

Она была подробно изучена при разных режимах сокращения Хиллом и представлена на графике



Зависимость скорости одиночного сокращения мышцы от нагрузки

Им же было предложено эмпирическое выражение, описывающее эту кривую:

$$V(P) = \frac{b(P_0 - P)}{P + a}.$$

$P_0$  – максимальное изометрическое напряжение, развиваемое мышцей, или максимальный груз, удерживаемой мышцей без ее удлинения;  $b$  – константа, имеющая размерность скорости,  $a$  – константа, имеющая размерность силы.

Это выражение называется **уравнением Хилла**, и является основным характеристическим уравнением механики мышечного сокращения.

Из уравнения Хилла следует, что максимальная скорость развивается при  $P = 0$ :

$$V_{\max} = P_0 \frac{b}{a}.$$

При  $P=P_0$  получаем  $V = 0$ , т.е. укорочение не происходит.

Работа  $A$ , производимая мышцей при одиночном укорочении на величину  $\Delta l$  равна:

$$A = P \Delta l.$$

Эта зависимость нелинейная, т.к.  $V=f(P)$ . Но на ранней фазе сокращения можно пренебречь этой нелинейностью и считать  $V=\text{const}$ . Тогда

$$\Delta l = V \Delta t$$

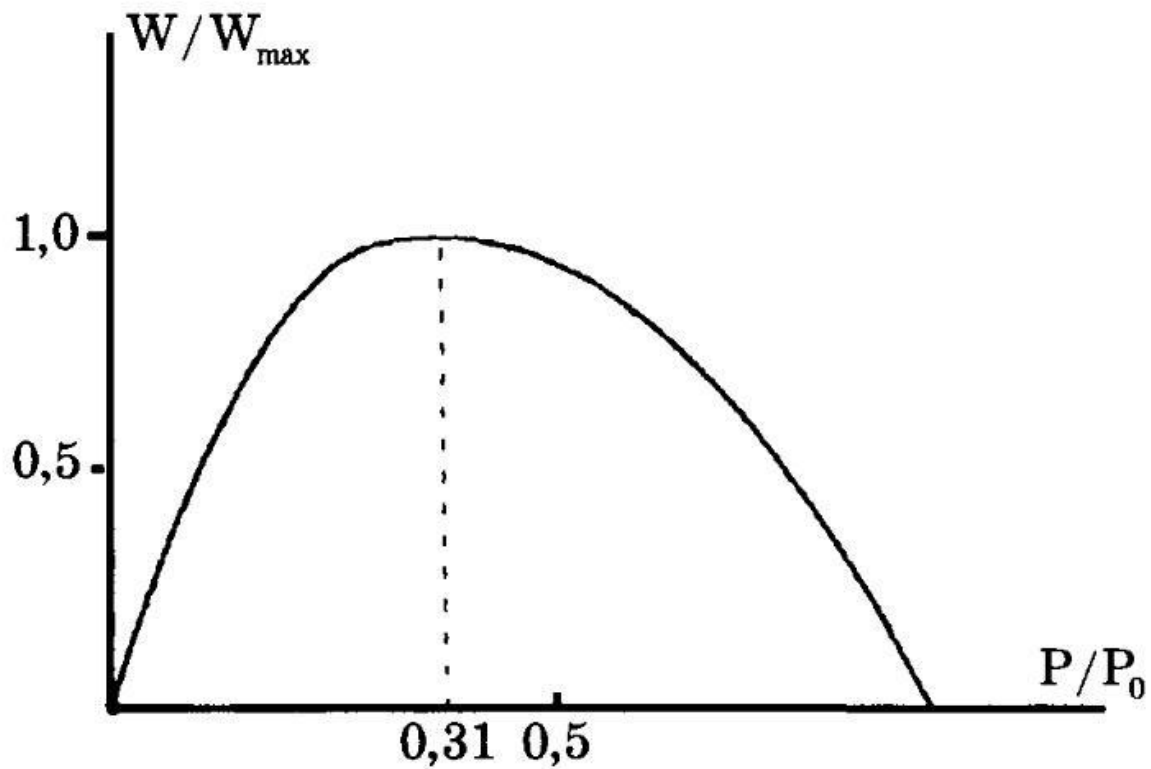
Развиваемая мышцей мощность  $W = \frac{dA}{dt}$   
имеет вид:

$$W = PV.$$

Подставив это уравнение в уравнение Хилла, получим зависимость мощности от развиваемой силы  $P$ :

$$W(P) = PV = \frac{b(P_0 - P)}{P + a} P.$$

Функция  $W(P)$  имеет колоколообразную форму:



Зависимость мощности мышцы от нагрузки

Мощность равна нулю при  $P=P_0$  и  $P=0$  и достигает максимального значения при оптимальной величине нагрузки  $P_{\text{опт}}$  :

$$P_{\text{опт}} = \sqrt{a(P_0 + a)} - a$$




Эффективность работы мышцы при сокращении может быть определена как отношение совершенной работы к затраченной энергии  $\Delta E$ :

$$\eta_M = \frac{A}{\Delta E}.$$

Развитие наибольшей мощности и эффективности сокращения достигается при усилиях 0,3 – 0,4 от максимальной изометрической нагрузки  $P_0$  для данной мышцы.

Это используют, например, спортсмены-велогонщики: при переходе с равнины на горный участок нагрузка на мышцы возрастает и спортсмен переключает скорость на низшую передачу, тем самым уменьшая  $P$ , приближая ее к  $P_{\text{опт}}$ .



**Благодарю за  
внимание!**