

Математические модели в антропологии: модель,
имитирующая процессы срочной адаптации организма
спортсмена.

Работу выполнила
Веселкова Дарья,
каф. Антропологии.

Селуянов Виктор Николаевич - специалист в области спортивной антропологии, физиологии, теории спортивной тренировки и оздоровительной физической культуры.

Профессор. Кандидат биологических наук. Старший научный сотрудник.

Опубликовал более 100 научных работ.

Заведующий лабораторией фундаментальных проблем теории физической и технической подготовки спортсменов высшей квалификации Российской государственной академии физической культуры; профессор кафедры естественнонаучных дисциплин и информационных технологий РГАФК.

Разработал математические модели, имитирующие срочные и долговременные адаптационные процессы в организме спортсменов.

1

2 Модель для имитации процессов срочной адаптации

Выполнение физического упражнения вызывает активизацию работы мышц, т.е. рекрутирование МВ. В активных МВ разворачивается цепь биохимических реакций, продукты которых выходят в кровь и вызывают активизацию деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Следовательно, для описания основных процессов адаптации организма человека на выполнение физического упражнения необходимо разработать модель, включающую ЦНС, мышцу, сердечно-сосудистую и дыхательную системы.

Модель центральной нервной системы

Спортсмен управляет своими мышцами благодаря передаче нервных импульсов из ЦНС по нервам. В этой модели ЦНС моделируется "черным ящиком", на вход которого "поступает" потребность спортсмена в выполнении упражнения с определенной механической интенсивностью (от 0 до 100%), а на выходе к мышце идет информация о степени активации мышцы. Активация мышцы должна обеспечить выполнение задания и в случае невозможности его выполнения мышца должна функционировать с возможной максимальной мощностью. Информация о реальной величине механической мощности, выполняемой мышцей, поступает в ЦНС (обратная связь), где производится сравнение с потребной мощностью и в зависимости от знака и величины различия определяется управляющее воздействие на мышцу.

Модель мышцы

Мышца включает определенную совокупность мышечных волокон. Мышечная активность есть результат преобразования химической энергии, содержащейся в АТФ, в механическую энергию сокращения миофибрилл. Поэтому между концентрацией АТФ и механической мощностью должна быть зависимость, описываемая уравнением Михаэлис-Ментена или экспонентой.

$$\text{ATP}/dt = K2 - K1$$

$$\text{CrP}/dt = K3 + K4 - K2$$

$$\text{Gl}/dt = K7 + K16 - K10$$

$$\text{Aco-A}/dt = K9 + K6 - K4$$

$$\text{Fat}/dt = K15 - K6$$

$$\text{Pir}/dt = K5 + K10 - K9 - K8$$

$$\text{La}/dt = K8 + K13 - K5 - K7$$

$$\text{H}/dt = K3 + K14 - K4$$

$$\text{O2}/dt = K11 - K4$$

$$\text{CO2}/dt = K4 + K12$$

$$K1 = c1 \times i \times 1 / (1 + H) \times \text{ATP} / \text{ATPmax}$$

$$K2 = c2 \times \text{CrP} / \text{CrPmax} \times (1 - \text{ATP} / \text{ATPmax})$$

$$K3 = c3 \times (1 - \text{La}/\text{Lamax}) \times (1 - \text{CrP}/\text{CrPmax}) \times (1 - \text{Pir}/\text{Pirmax}) \times \text{Gl}/\text{Glmax}$$

$$K4 = c4 \times (1 - \text{CrP} / \text{CrPmax}) \times \text{Aco-A} / \text{Aco-Amax} \times \text{O2} / \text{O2max}$$

$$K5 = c5 \times (1 - \text{Pir} / \text{Pirmax}) \times \text{La} / \text{Lamax},$$

$$K8 = c8 \times \text{Pir} / \text{Pirmax} \times (1 - \text{La} / \text{Lamax})$$

$$K6 = c6 \times (1 - \text{La} / \text{Lamax}) \times (1 - \text{ACo-A} / \text{ACo-Amax}) \times \text{Fat} / \text{Fatmax}$$

$$K7 = c7 \times \text{CrP} / \text{CrPmax} \times \text{La} / \text{Lamax} \times (1 - \text{Gl} / \text{Glmax})$$

$$K9 = c9 \times \text{Pir} / \text{Pirmax} \times (1 - \text{ACo-A} / \text{ACo-Amax})$$

$$K10 = c10 \times K3$$

Константы K1-K10 описывают биохимические процессы, происходящие в мышечном волокне (например, K1 — скорость расхода АТФ; K2 — скорость ресинтеза АТФ; гликолиз, образование и расходование промежуточных продуктов обмена и др.)

Модель сердечно-сосудистой и дыхательной систем

$$O_{2T} / dt = MOK \times (O_{2л} - O_{2T}) - |K11 - K15$$

$$O_{2л} / dt = МОД \times (20,0 - O_{2л}) + MOK \times (O_{2T} - O_{2л})$$

$$CO_{2T} / dt = S K12 + MOK \times (CO_{2л} - CO_{2T}) + K16$$

$$CO_{2л} / dt = MOK \times (CO_{2T} - CO_{2л}) + МОД \times (0,03 - CO_{2л})$$

$$La_T / dt = |K13 + K17 - K18$$

$$H_T / dt = |K14 - K19 - K20$$

$$K11 = c11 \times (O_2 a - O_2 mf),$$

$$K12 = c12 \times (CO_2 a - CO_2 mf),$$

$$K13 = c13 \times (Laa - Lamf),$$

$$K14 = c13 \times (Ha - Hmf),$$

$$K15 = O_2R + O_2B + O_2C$$

$$K16 = K15 + c5 \times H / H_{max},$$

$$K18 = K15 \times La$$

$$K19 = c6 \times c5 \times H / H_{max}$$

$$K20 = c7 \times K15$$

K11-K14 — описывают обмен веществ мышечного волокна с кровью.

K15-K20 — описывают изменение содержания O₂ и CO₂ в тканях, преобразования промежуточных продуктов гликолиза.

Решение системы дифференциальных уравнений выполняется численно методом Эйлера на компьютере типа IBM PC/AT. На вход модели надо подать: процент окислительных МВ, величину механической интенсивности (мощности) упражнения в процентах от, продолжительность упражнения. На выходе, т.е. на экране дисплея появляются текущие результаты расчетов: концентрации веществ в мышце и отдельных мышечных волокнах, в частности - АТФ, КрФ, H, La, пирувата, ацетил-коэнзим-А, а также физиологические показатели - потребление кислорода, легочная вентиляция, частота сердечных сокращений, показатель рекрутирования МВ или аналог электромиограммы, мощность, продуцируемая мышцей.*

Имитационное моделирование показало, что система дифференциальных уравнений решается и обладает устойчивостью при любых допустимых возмущениях, т.е. при любых физиологически значимых изменениях входных характеристик.

Проще говоря, мы можем вычислить эффективность упражнения и нагрузку, которую будет испытывать спортсмен, до введения этого упражнения в тренировку.

*Окислительные это МВ, в которых при максимальной мощности гликолиза весь пируват перерабатывается в ацетилкоэнзим-А (АцК-А), который поступает в митохондрии для образования АТФ в ходе ОФ, в ОМВ содержится лактатдегидрогеназа-Н (ЛДГ-Н), которая с большей скоростью превращает лактат в

пируват.

Гликолитические - это МВ, в которых при максимальной мощности гликолиза образуется столько пирувата, что имеющихся запасов мощности трансформации пирувата в АцК-А и окислительного фосфорилирования недостаточно, поэтому пируват преобразуется в лактат. Лактат накапливается МВ и выходит в кровь. ГМВ содержат в большом количестве фермент ЛДГ-М, который имеет более высокую скорость превращения пирувата в лактат.