

УДК 51-77, 796.081

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ СПОРТИВНОЙ ТРЕНИРОВКОЙ

Е.А. Тимме

ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Москомспорта
Россия, 129272, Москва, ул. Советской Армии, 6
E-mail: timme.ea@mossport.ru

Ключевые слова: управление спортивной тренировкой, идентификация моделей, оптимизация тренировочных планов, кибернетика в спорте, спортивная информатика.

Аннотация: Излагается концептуальная модель факторов определяющих спортивный результат, приводятся виды тренировочных эффектов и перечень феноменов, которые должны быть объяснены в моделях. Представляются различные типы математических моделей и формулируются задачи управления спортивной тренировкой, такие как идентификации моделей, прогнозирование результатов и оптимизации тренировочных планов.

1. Введение

Одной из основных проблем современного спорта, на решение которой ориентированы прикладные исследования, имеющая существенное значение для управления спортивной тренировкой, является проблема оптимального построения тренировочного процесса.

В настоящее время активно разрабатываются математические модели адаптации в процессе спортивной тренировки в целях создания автоматизированной системы управления физическим состоянием спортсменов [1]. Развитие этого направления актуально по следующим причинам. Во-первых, сочетание разнонаправленных тренировочных нагрузок, используемых в подготовке элитных спортсменов, запускает множество адаптационных процессов с различными тренировочными эффектами, учет которых традиционными методами затруднителен [2]. Во-вторых, значительное увеличение количества соревнований в международном и национальном календаре делает более сложным достижение мультипиковой подготовки. В-третьих, усиление конкуренции на международном уровне привело к уплотнению результатов элитных спортсменов в финальных состязаниях на международных соревнованиях, которые составляют величины порядка 1%.

2. Концептуальные модели спортивной подготовки

Существует несколько подходов к определению факторов, влияющих на спортивный результат, которые представляются в виде определенных видов когнитивных карт. Эти концептуальные модели были рождены из тренерского опыта и осмысления различных схем и режимов тренировочных программ.

2.1. Факторы, влияющие на спортивный результат

Факторов влияющих на спортивный результат достаточно много. Известный специалист в области спортивной науки Стефан Сейлер составил рейтинговую таблицу факторов, влияющих на спортивный результат в видах спорта на выносливость и представил ее в виде пирамиды, именуемой среди специалистов «пирамидой Сейлера», которая состоит из следующих компонентов [9] (рис. 1):



Рис. 1. «Иерархия составляющих спортивного результата [9].»

Любой уровень этой пирамиды может быть представлен в виде математической модели.

2.2. Наблюдаемые эффекты, которые необходимо объяснить в моделях

Практика спортивной тренировки позволила выявить определенные эффекты, наблюдаемые практически у всех спортсменов:

- Эффект суперкомпенсации – рост работоспособности и спортивного результата, после прохождения некоторого времени после однократной тренировочной нагрузки;
- Эффект плато – прекращение роста спортивных результатов при определенном уровне и направленности многодневной тренировочной нагрузки;
- Адаптационный предел или «насыщение» - эффект выражающийся в том, что при достаточно большой нагрузке перестают расти результаты;
- Эффект перетренированности – превышение предела адаптации, который приводит к негативным последствиям, выражающимся в снижении спортивных результатов, болезни или спортивной травме;
- Эффект «отскока» - термин пришел из фармакологии и выражается в резком росте работоспособности и результатов при снижении тренировочной нагрузки;
- Эффект толерантности – также пришел из фармакологии и выражается в привыкании организма к одинаковым тренировочным стимулам;

- Эффект вариабельности нагрузки – парадоксальный эффект, выражающийся в том, что более разнообразные тренировочные программы приводят к лучшим спортивным результатам по сравнению с более монотонными при одинаковом тренировочном объеме.

2.3. Виды тренировочных эффектов

Тренировочные эффекты определяются реакцией организма спортсмена на физические нагрузки, в результате которых улучшаются специфичные для определенного вида спорта показатели спортсмена, определяющие спортивный результат. Выделяются следующие эффекты (рис. 2).



Рис. 2. Виды тренировочных эффектов [2].

3. Математическое моделирование тренировки

3.1. Квантификация тренировочной нагрузки

Тренировочная нагрузка – это комбинация интенсивности, продолжительности и частоты тренировок. В существующих моделях развития тренировочных эффектов присутствует три группы ключевых переменных: квантифицированная тренировочная нагрузка; квантифицированные спортивные результаты; переменные, описывающие состояние и динамические характеристики усталости и тренированности. Один из широко применяемых методов так называемых тренировочных импульсов (TRIMPS) разработан группой зарубежных спортивных физиологов. Этот показатель рассчитывается по формуле [5]:

$$TRIMP = txy,$$

где t – время тренировочного занятия в минутах, x – резерв ЧСС, y – поправочный коэффициент, рассчитываемый как:

$$y = ae^{bx},$$

где y – расчетная концентрация лактата в крови, x – резерв ЧСС, a и b – параметры, подбираемые методами наименьших квадратов.

Резерв ЧСС рассчитывается как:

$$x = \frac{HR_{\text{трени}} - HR_{\text{покоя}}}{HR_{\text{max}} - HR_{\text{min}}},$$

где $HR_{\text{трени}}$, $HR_{\text{покоя}}$, HR_{max} , HR_{min} – частота сердечных сокращений во время тренировки, в покое, максимальная и минимальная соответственно.

Кроме традиционного, существуют также другие методы расчета этого показателя: на основе лактатного профиля, на основе обобщенных тренировочных зон, на основе индивидуального профиля потребления кислорода. У каждого метода есть свои достоинства и недостатки [10].

Между тем, традиционные методы измерения стресса, возникающего в результате тренировок, не всегда дают корректные оценки в случае переменных режимов тренировок, в частности при использовании интервального и повторного методов. Формула ТРИМП для непрерывного времени, позволяющая учитывать распределенную во времени нагрузку [8]:

$$\text{Trimp}(t) = \int_0^T w(e(t)) \frac{e(t)}{e_{\text{max}}} dt$$

$$w(e_{\text{max}}) = 1,$$

где $w(e(t))$ – весовой фактор, $\frac{e(t)}{e_{\text{max}}}$ – фракция анаэробной производительности.

3.2. Квантификация результата

Во многих видах спорта результат обычно измеряется в единицах времени. Но ввиду того, что кривая рекордов имеет экспоненциальный или логистический характер целесообразно сделать соответствующее преобразование (1).

$$(1) \quad y_s = b \ln(a/(y - L)),$$

где y – результат (в абсолютных единицах); y_s – нормированный результат; L – предельный результат; a, b – нормировочные коэффициенты.

3.3. Виды математических моделей тренировки

В настоящее время разработано много подходов к математическому моделированию спортивной тренировки, в то же время практически все из них представляют собой «черный ящик» и не описывают подробности физиологических процессов, происходящих в организме при воздействии различных физических нагрузок.

3.3.1. Дискретные модели. Классической моделью является модель предложенная физиологом Эриком Банистером [4].

По сути это линейная ARX модель временного ряда 1-го порядка. Она может быть представлена как в форме дискретной свертки (2), так и в рекуррентной форме (3).

$$(2) \quad p(t) = p(0) + k_1 \sum_{i=1}^{t-1} e^{-(t-i)/\tau_1} w(i) - k_2 \sum_{i=1}^{t-1} e^{-(t-i)/\tau_2} w(i),$$

$$(3) \quad g(t) = g(t-i)e^{-(t-i)/\tau_1} + w(i)$$

$$h(t) = h(t-i)e^{-(t-i)/\tau_2} + w(i)$$

$$p(t) = p(0) + k_1 g(t) - k_2 h(t),$$

где p – результат, g – тренированность, h – усталость, k_1, k_2, τ_1, τ_2 – коэффициенты.

Эта модель достаточно правдоподобно описывает развитие тренировочного процесса в динамике, и специфические эффекты, такие как суперкомпенсация и эффект «плато», но обладает существенным недостатком – она не имеет «предела адаптации». Существуют также другие проблемы в использовании этой модели, такие как эффект преднагрузки и некорректность обратной задачи определения параметров.

Для такого ограничения была введена специальная переменная (5), которая выражается через тренировочную нагрузку специальным уравнением Хилла, описывающая эффект «насыщения», которая подставляется в формулу (4) [7].

$$(4) \quad p(t) = p(0) + k_1 \sum_{i=1}^{t-1} e^{-(t-i)/\tau_1} \omega_p - k_2 \sum_{i=1}^{t-1} e^{-(t-i)/\tau_2} \omega_p,$$

$$(5) \quad \omega(s) = k_{p/n} \frac{w(s)}{\delta^{\gamma - w(s)\gamma}}.$$

Следующим достаточно удачным шагом явилось создание модификации классической модели с переменным коэффициентом при слагаемом утомления k_2^i , который определяет толерантность к нагрузке [6]. При этом модель принимает вид (6).

$$(6) \quad p(t) = p(0) + k_1 \sum_{i=1}^{t-1} e^{-(t-i)/\tau_1} w(i) - \sum_{i=1}^{t-1} k_2^i e^{-(t-i)/\tau_2} w(i)$$

$$k_2^i = k_3 \sum_{j=1}^{t-1} w^j e^{-(i-j)/\tau_3} w(i)$$

3.3.2. Непрерывные модели. Дискретные модели имеют существенный недостаток – их разрешающая способность ограничена одними сутками, непрерывные же модели могут отражать динамические процессы, происходящие в непрерывном времени. Одним из таких подходов является, описанный в [8].

Явления насыщения и предела адаптации могут быть описаны следующими нелинейными уравнениями [11], имеющими уже 6 параметров: $k_1, k_2, \tau_1, \tau_2, \alpha, \beta$ (7).

$$(7) \quad \dot{g} + \frac{1}{\tau_1} g^\alpha = k_1 \sigma$$

$$\dot{h} + \frac{1}{\tau_2} h^\beta = k_2 \sigma$$

$$p = p_0 + g - h$$

При $\alpha = \beta \rightarrow 1$ уравнения переходят в непрерывный аналог линейной модели Банистера.

3.4. Типы задач управления тренировкой

Существуют несколько типов задач, для решения которых используются модели тренировочного процесса. Первая задача – идентификация модели, когда по данным тренировочных нагрузок и тестовых данных различными методами оцениваются параметры модели, называемые адаптационным профилем спортсмена. Вторая задача – при известных параметрах модели производится имитационное моделирование, имеющее цель проверить, к какому спортивному результату могут привести определенные тренировочные планы. Третья задача – это оптимизация тренировочного плана по критериям, таким как максимальный спортивный результат и минимальный тренировочный объем.

Список литературы

1. Волков Н.И. Биология спорта на пороге XXI века // Юбилейный сборник трудов ученых РГАФК, посвященный 80-летию академии. М.: РГАФК, 1997. Т. 1. С. 55-60.
2. Иссурин В.Б. Блоковая периодизация спортивной тренировки. М.: Советский спорт, 2010. 281 с.
3. Тимме Е.А. Применение имитационного моделирования для планирования и оптимизации тренировочных нагрузок у спортсменов и лиц опасных профессий // Седьмая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2015). 21-23 октября 2015 г. Москва.: ИПУ РАН, 2015. С. 361-369.
4. Banister E., Calvert T., Savage M., Bach T. A systems model of training for athletic performance // Aust J Sports Med. 1975. Vol. 7, No. 3. P. 57-61.
5. Borresen J. Quantifying training load and its relationship to heart rate recovery.
6. Busso T. Variable dose-response relationship between exercise training and performance // Medicine and science in sports and exercise. 2003. Vol. 35, No. 7. P. 1188-1195.

7. Hellard P., Avalos M., Millet G. Modeling the Residual Effects and Threshold Saturation of Training: A case Study of Olympic Swimmers // *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2005. No. 19(1). P. 67-75.
8. Moxnes J., Hausken K. The dynamics of athletic performance, fitness and fatigue // *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*. 2008. Vol. 14. No. 6. P. 515-533.
9. Seiler S. Seiler's Hierarchy of Endurance Training Needs. URL: <https://www.pezcyclingnews.com/toolbox/toolbox-training-priorities/>
10. Taha T., Thomas S.G. Systems modelling of the relationship between training and performance // *Sports Medicine*. 2003. No. 33 (14). P. 1061-1073.
11. Turner J.D., Mazzoleni M.J., Little J.A., Sequeira D., Mann B.P. A nonlinear model for the characterization and optimization of athletic training and performance // *Biomedical Human Kinetics*. 2017. Vol. 9, No. 1. P. 82-93.