

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КАК МЕТОД ОЦЕНКИ СОМАТИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ ШКОЛЬНИКОВ 14-15 ЛЕТ

Собянина Г.Н.

В статье рассматриваются вопросы использования математического моделирования в оценке соматического здоровья подростков. Построенные модели позволили выделить на межсистемном уровне узловые факторы реальной системы, определить фундаментальные принципы организации изучаемой биологической системы.

Ключевые слова: математическое моделирование, школьники, скорость максимального потребления кислорода, соматическое здоровье

### ВВЕДЕНИЕ

Здоровье как функциональный оптимум формируется под влиянием комплекса внутренних причин и внешних воздействий. Несомненно, важнейшим условием обеспечения высокого уровня здоровья человека, его работоспособности и активности является сохранение и укрепление здоровья подрастающего поколения [1,2].

Отличительной особенностью детского организма является то, что все его физиологические реакции происходят на фоне относительно незаконченного морфогенеза в процессе функционального развития. Каждая возрастная группа имеет свои специфические структурно-функциональные особенности, и учет этих особенностей является обязательным условием для определения оптимального уровня жизнедеятельности [3].

Особый интерес представляет исследование организма подростков в связи с тем, что возраст 14-15 лет характеризуется максимальной динамикой пубертатных перестроек, обуславливаясь спецификой и интенсивностью ростовых процессов. При этом, организм школьников особо чувствителен к неблагоприятным воздействиям среды, и как результат этого, несогласование обменных процессов внутри самого организма [4]. Поэтому, проблема поиска методов объективной оценки уровня здоровья подрастающего поколения стоит довольно остро.

Использование математической статистики в физиологии стало уже традиционным: с одной стороны — для точной обработки результатов исследования, с другой — создание математических моделей, в которых сконцентрированы узловые факторы реальной системы [5,6]. Сложность моделирования биологических процессов связана с многоступенчатым переплетением различных уровней организации организма - молекулярным, клеточным, органным, организменным [1,2,7,8]. Для решения сложных задач управления здоровьем, моделирование может обеспечить построение новых систем оценок в прогнозировании жизненных процессов, определении функционального оптимума организма.

---

Поскольку, в настоящее время недостаточной мере разработаны критерии оценки физиологического статуса детей школьного возраста, то изучение этого вопроса представляет большой научный и практический интерес.

Основная цель работы направлена на разработку математических моделей для определения критериев оценки соматического здоровья школьников 14-15 лет.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 50 практически здоровых школьников в возрасте 14 - 15 лет, обучающихся в учебно-воспитательном комплексе «Школы - лицея № 9» г. Ялта. Подростки методом случайной выборки были разделены на группы, которые были сопоставимы по возрасту и полу. Было проведено углубленное медико-биологическое обследование, включавшее спиропневмографию, антропометрические методы исследования, нагрузочное тестирование и реоплетизмографию.

Построение регрессионной модели проводили с помощью модуля MULTIPLE REGRESSION профессиональной компьютерной программы STATISTICA v.6.0. Множественная регрессия проводилась пошаговым методом при допуске, равном 0,0001 и при включении в модель свободного члена регрессии. В качестве независимой переменной было принято значение скорости максимального потребления кислорода. При оценке регрессионной модели применяли F – критерий Фишера. Уровень значимости полученных коэффициентов регрессии принимали при значении равном 0,05. При оценке достаточности полученного набора переменных, использовали коэффициент множественной детерминации R - square с учетом коэффициента множественной корреляции между МПК и совокупностью маркеров здоровья. Вычисление коэффициента множественной детерминации позволяет решить вопрос о совокупной информативности процедуры, причем считается, что минимальная величина этого коэффициента не должна быть меньше 70-80 %. Степень адекватности модели оценивали на основе исследования остатков. Оценку качества регрессионной модели проводили при помощи статистики Дарбина – Уотсона (DW).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При разработке алгоритма здоровья перспективным направлением является оценка взаимосвязей между различными физиологическими показателями. В качестве количественного критерия уровня здоровья нами был избран параметр скорости максимального потребления кислорода, способный дать достоверную информацию о степени совершенства процессов развития организма и уровня соматического здоровья. Современные исследования показывают, что между состоянием различных физиологических функций организма, умственной и физической работоспособностью, утомлением, психо-эмоциональной реактивностью, заболеваемостью и МПК существует очень тесная связь[7]. С физиологической точки зрения, МПК интегрально характеризует состояние

---

дыхательной, кровеносной и метаболических функций, с биологической — степень устойчивости и жизнеспособности живого организма [2]. Более того, скорость МПК позволяет определять уровень энергообразования, свидетельствуя о способности растущего организма адаптироваться к данным условиям существования в реализации программы своего развития [9]. На наш взгляд, МПК можно рассматривать в качестве индикатора функциональных возможностей растущего организма, как ведущий показатель, отражающий равновесие организма с внешней средой.

Интегральную оценку «количества здоровья» практически невозможно получить, используя небольшое число показателей или достаточную долю однотипных показателей, характеризующих функцию только одной, пусть даже важной, системы. В связи с этим возникает вопрос о минимальном числе наиболее информативных маркеров здоровья, включение которых позволит получить достоверную информацию [6,10,11,12]. Современный подход в оценке «количества здоровья» строится на принципах многомерной математической статистики, применение которых позволяет свести большое число исследуемых признаков (в нашем случае 48 параметров) к небольшому числу интегральных количественных оценок выраженности изучаемого процесса. Для построения адекватной модели соматического здоровья школьников использовали множественный регрессионный анализ. В работе использовалась стратегия шагового отбора, при котором признак в уравнение включался при условии существенного увеличения значения множественного коэффициента корреляции. Процедура множественной линейной регрессии позволяет на каждом последующем шаге отбирать наиболее информативный в рамках данной модели из еще не включенных в нее показателей. Использование этого метода предоставляет возможность формировать минимально достаточные комбинации переменных [13]. Такой подход позволил последовательно отобрать факторы, оказывающие существенное влияние на результирующий признак (МПК), и тем самым, определить вклад каждого отобранного фактора в объясненную дисперсию  $Y$ .

В результате пошагового регрессионного анализа в группе мальчиков было отобрано четыре переменных, являющихся независимыми: мощность работы на 2 ступени нагрузки при выполнении нагрузочного тестирования ( $W_2$ ), частота сердечных сокращений ( $ЧСС_2$ ), двойное произведение (ДП), индекс пропорциональности развития (ИПР), ударный индекс (УИ), полученный при помощи реоплетизмографического метода. В данной модели каждый показатель имеет свой определенный вес по своему вкладу в формирование функционального состояния подростков. Полученный коэффициент детерминации ( $R$ -square = 0,999) указывает на высокую информативность построенной модели. Значение скорректированного коэффициента детерминации (Adjusted R - square = 0,998) говорит о хороших объясняющих свойствах модели. Проверка регрессии по критерию Фишера  $F=8858,02$  ( $p<0,0000$ ) свидетельствует, что построенная регрессия высоко значима. Статистика Дарбина – Уотсона ( $DW=2,39$ ) указывает на отрицательную корреляцию остатков и высокое качество регрессионной модели.

---

Таким образом, искомое уравнение множественной регрессии получено в следующем виде:

$$y = \frac{2705,54 + 10,45(W_2) - 9,25(\text{ЧСС}_2) + 0,64(\text{ДП}) + 0,36(\text{ИПР}) + 0,32(\text{УИ})}{\text{МТ}}, \text{ где:}$$

W – мощность работы при нагрузочном тестировании;  
ЧСС<sub>2</sub> – частота сердечных сокращений;  
ДП – двойное произведение;  
ИПР – индекс пропорциональности развития  
МТ – масса тела

В группе девочек в качестве независимых переменных выступили: мощность работы на 1 ступени нагрузки при выполнении нагрузочного тестирования (W<sub>1</sub>), частота сердечных сокращений (ЧСС<sub>2</sub>), объем форсированного выдоха в 1 секунду (ОФВ<sub>1</sub>), индекс Кетле (ИК), диастолическое артериальное давление (ДАД). При оценке модели было выявлено, что построенная регрессия объясняет 99,98% разброса значений МПК относительно среднего значения. Полученный коэффициент детерминации (R - square = 0,999) свидетельствует о высокой информативности модели. На высокую значимость регрессии указывает F - критерий Фишера = 25577,67 (p<0,0000). Полученное значение скорректированного коэффициента детерминации (Adjusted R - square = 0,997) говорит о хороших объясняющих свойствах модели. Статистика Дарбина – Уотсона (DW=2,54) указывает на отрицательную корреляцию остатков и высокое качество регрессионной модели. При этом, каждая переменная построенной модели имеет определенный вклад в формировании «количества здоровья».

Полученное уравнение имеет следующий вид:

$$y = \frac{2592,94 + 16,22(W_1) + 3,97(\text{ОФВ}_1) - 7,94(\text{ЧСС}_2) - 0,09(\text{Инд.Кет ле}) - 0,27(\text{АДд})}{\text{МТ}},$$

где W<sub>1</sub> – мощность работы при нагрузочном тестировании;  
ЧСС<sub>2</sub> – частота сердечных сокращений;  
ОФВ<sub>1</sub> – объем форсированного выдоха в 1 секунду  
ИК – индекс Кетле;  
ДАД – диастолическое артериальное давление.  
МТ – масса тела

Физиологическая интерпретация уравнений функционального состояния организма школьников, с нашей точки зрения, достаточно ясна. В построенных уравнениях ведущими критериями оценки здоровья явились мощность работы и частота сердечных сокращений – параметры, характеризующие резерв энергообразования организма. Из уравнений следует, что по мере повышения уровня соматического здоровья, увеличивается достигнутая мощность дозированной нагрузки. Частота сердечных сокращений выступает ведущим показателем функционального состояния организма, позволяющая оценить степень и направленность вегетативных сдвигов.

---

Поддержание определенного уровня гомеостаза в соответствии с возрастными энергетическими потребностями организма определяется становлением функций сердечно-сосудистой системы, что нашло свое отражение в моделях физиологического статуса школьников.

Так, одним из ведущих факторов, оказывающих существенное влияние на результирующий признак У, явился параметр «двойного произведения» (ДП). Известно, что «двойное произведение» характеризует систолическую работу сердца, является одним из критериев оценки энергетического потенциала организма. Основываясь на известной закономерности – формировании «экономизации функций» следует, что чем ниже двойное произведение в покое, тем выше аэробные возможности организма и, следовательно, уровень соматического здоровья индивида. Однако, при построении «формулы здоровья» мальчиков 14-15 лет нами был получен положительный коэффициент ДП. Известно, что пубертатный скачек, приходящийся на этот возраст у мальчиков, сопряжен со значительными расхождениями между хронологическим и биологическим возрастом. Это, в свою очередь, оказывает влияние на процессы, обеспечивающие эффективность физиологических реакций системы кровообращения. Следовательно, положительное значение ДП подтверждает гетерохронность формирования отдельных признаков физического развития мальчиков 14-15 лет. Таким образом, можно предположить, что сердечно-сосудистая система в силу возрастных особенностей является лимитирующим фактором роста аэробных возможностей организма подростков. Девочки этого возраста, напротив, вступили в завершающийся период полового созревания, когда дисбаланс между морфометрическими размерами тела и неадекватным ростом сосудистой системы устранен. В «формуле здоровья» эта перестройка отобразилась отрицательным коэффициентом диастолического артериального давления.

Для выявления возрастных особенностей организма подростков информативные показатели гемодинамики, какими являются систолический и минутный объем крови, целесообразно приводить к поверхности тела. Регрессионный анализ выявил прямо пропорциональную зависимость между уровнем соматического здоровья и ростом ударного индекса у мальчиков 14-15 лет, указывая, при этом, на увеличение «доли» систолического объема сердца в физиологических реакциях системы кровообращения.

Антропометрические критерии по-прежнему являются основой суждений о физическом развитии и здоровье подрастающего поколения. В свою очередь, динамика физического развития тесно связана с энергетическим потенциалом организма. В ходе исследования было выявлено, что принцип гетерохронности созревания имел место при оценке физического статуса подростков. Полученная «формула здоровья» мальчиков указывает на линейное увеличение индекса пропорциональности развития, тогда как для регрессионной модели уровня здоровья девочек характерным явилось снижение индекса Кетле. На наш взгляд, такая реакция организма в пубертатный период находится в рамках физиологической целесообразности: для мальчиков более актуальным является активизирование ростовых процессов, у девочек на первое место выходят весовые

характеристики. Вероятно, такие качественные перестройки, происходящие на этом возрастном этапе, помогают настроиться организму подростков на условия новой морфологической ситуации, а значит, связаны с функционированием важнейших физиологических систем.

Установлено, что периоды усиленного роста и развития школьников характеризуются сложными и многогранными изменениями дыхательной системы. Построенная модель оценки физиологического статуса девочек 14-15 лет подтвердила и эту особенность. В ходе исследования, было выявлено, что весомый вклад в формирование функционального состояния организма вносит показатель объема форсированного выдоха за 1с. Вероятно, на этом этапе онтогенеза показатели механики дыхания для организма девочек являются ведущими. Известно, что силовые возможности дыхательной мускулатуры определяют адекватный объем легочной вентиляции, обеспечивая при этом оптимальный метаболический запрос. Регрессионный анализ выявил, что морфофункциональная перестройка бронхолегочного аппарата девочек обеспечивает эффективный с точки зрения энергетических затрат режим функционирования дыхательной системы. Следовательно, можно заключить, что определяющим фактором роста аэробных возможностей организма девочек в отличие от их сверстников выступает система внешнего дыхания.

Таким образом, полученные критерии оценки соматического здоровья подростков, на наш взгляд, свидетельствует о способности растущего организма адаптироваться к определенным условиям, тем самым, помогая реализовать программу индивидуального развития.

Основной принцип, лежащий в основе математического моделирования заключается в возможности проверки взаимосвязей между переменными на основе сопоставления экспериментальных данных с теоретически предсказанными. Для проверки правильности выдвинутых предположений была рассчитана скорость максимального потребления кислорода фактическая и смоделированная, полученная при помощи уравнения множественной регрессии (рис.1).

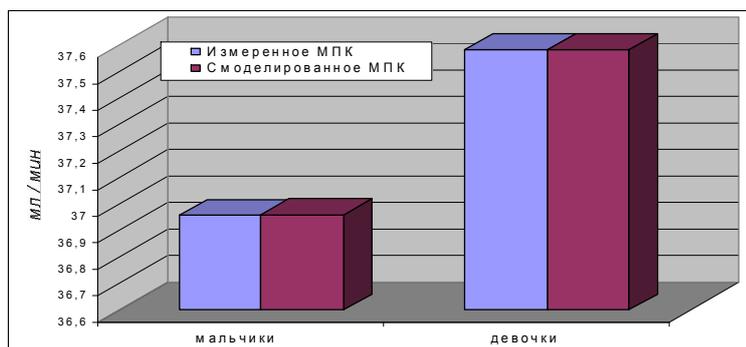


Рис.1 Сопоставление скорости максимального потребления кислорода (измеренной и смоделированной) у подростков 14-15 лет

---

Обращает на себя внимание соответствие вычисленных и фактически измеренных данных, что указывает на адекватное отображение регрессионными моделями ведущих характеристик исследуемого объекта. При этом, в построенных моделях концентрируются важнейшие факторы реальной системы, позволяющие адекватно оценивать физиологический статус конкретного индивида.

В ходе исследования было выявлено, что математическое моделирование выявляет «слабые места» в функционировании биосистемы, экспериментально определяет поведение реального объекта в различных режимах работы, обеспечивает надежную диагностику жизненных процессов.

В связи с этим, представляется перспективной разработка статистических моделей, способных выявить фундаментальные принципы организации биологических систем.

## ВЫВОДЫ

1. Математическое моделирование является адекватным методом оценки соматического здоровья: определяет рамки физиологической целесообразности организма, выявляет лимитирующие факторы и функциональные резервы биологических систем.
2. Статистические модели позволяют не только получить упрощенный алгоритм соматического здоровья подростков, но и выделить ключевые компоненты функциональных систем организма, обеспечивающих приспособительный эффект.

## Список литературы

1. Апанасенко Г.А. Проблематичность управления здоровьем человека // Наука в олимпийском спорте, 1999.- С. 56-60.
2. Апанасенко Г.Л. Валеология на рубеже веков. Валеология, 2002, №1, С. 81-83.
3. Антропова М.В., Бородкина Г.В. и др. Здоровье и функциональное состояние сердечно-сосудистой системы школьников, завершивших начальное обучение // Школа здоровья. – 2000. – Т. 7. - №3. – С. 16-21.
4. Тихвинский С.Б., Бобко Я.Н. Определение, методы исследований и оценка физической работоспособности детей и подростков // Детская спортивная медицина: Руководство для врачей. - М.: Медицина, 1991.- С.259-273.
5. Александров А.Ю., Платонов А. В., Старков В. Н., Степенко Н. А. Математическое моделирование и исследование устойчивости биологических сообществ. СПб.: "СОЛО". - 2006. – С.23-25.
6. Рубин А.Б., Пытьева Н.Ф., Ризниченко Г.Ю. Кинетика биологических процессов. - М.: Изд-во МГУ, 1987. - 299 с.
7. Апанасенко Г.Л. Валеология на рубеже веков. Валеология, 2002, №1, С. 81-83.
8. Баевский Р.М. Состояние и перспективы развития проблемы прогнозирования адаптивных возможностей здорового человека // Проблемы оценки и прогнозирования функционального состояния в прикладной физиологии / Тезисы докладов Всесоюзного симпозиума Фрунзе, 1988.- С.16-18.
9. Simonova O., Kapranov N., Vasiliev D. PWC-170 test from Russian CF children // European Respiratory Journal, V.16, Supp. 31, August 2000, 122s, P.9-10.

- 
10. Беллман Р. Математические методы в медицине. - М.: Мир, 1987. - 200 с.
  11. Дромашко С.Е. Информационные проблемы моделирования биологических процессов (на примере генетики). - Мн.: Право и экономика, 1996. - С. 27-31.
  12. [Ризниченко Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии](#) М-Ижевск, Изд. РХД, 2002-236 с.
  13. Боровиков В.П., Боровиков И.П. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows - М.: Финансы и Статистика 1997.- 592с.

Собяніна Г.М. Математичне моделювання, як метод оцінки соматичного здоров'я школярів 14-15 років. // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2008. – Т. 21 (60). – № 3. – С. 147-154.

У статті розглядаються питання використання математичного моделювання в оцінці соматичного здоров'я підлітків. Побудовані моделі дозволили виділити на міжсистемному рівні вузлові чинники реальної системи, визначити фундаментальні принципи організації біологічної системи, що вивчається.

Ключові слова: математичне моделювання, школярі, швидкість максимального споживання кисню, соматичне здоров'я.

Sobyanina G.N. Mathematical modeling as appraisal method of somatic health of scholars at the age of 14-15. // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2008. – V.21 (60). – № 3. – P. 147-154.

The questions of the are examined the article use of mathematical design in the estimation teenagers of somatic health. The built models allowed to select the key factors of the real system at intersystem level, and to define fundamental principles of the studied biological system of organization.

Keywords: mathematical design, teenagers, speed of maximal consumption of oxygen, somatic health.

Пост упила в редакцію 10.12.2008 г.

---