

УДК: [616 + 616.89] – 053. 5:61: 51

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОЦЕНКЕ ПСИХОСОМАТИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ ШКОЛЬНИКОВ

Собянина Г.Н., Буков Ю.А.

Одним из распространенных методов познания биологических объектов является моделирование. Математическое моделирование позволяет понять принцип работы биологических систем, объяснить функциональную структуру изучаемого процесса, выявить его существенные связи с внешними объектами, оценить количественные характеристики [1]. В этой связи особый интерес в изучении вопроса влияния факторов внешней среды на здоровье человека представляет использование методов математического моделирования функций организма, и в частности, математического моделирования жизненных процессов.

В настоящее время наряду с применением биометрических методов (корреляционного, регрессионного, дисперсионного анализов) используются аналитические методы построения математической модели того или иного физиологического процесса [2]. Применяются модели, построенные на дифференцированных уравнениях и отражающие сдвиги отдельных компонентов гомеостатических констант.

В тоже время для решения сложных задач управления здоровьем человека необходимо наличие математических моделей, отражающих поведение организма при предъявлении к нему определенных воздействий. Сегодня существует достаточно большое количество разработанных моделей, позволяющих решать задачи прогнозирования и управления здоровьем человека.

Вместе с тем следует отметить, что недостаточно разработанными являются вопросы управления здоровьем школьников [3 – 6]. Очевидным является то, что ухудшение состояния здоровья подрастающего поколения во многом связано со школой, а именно, со снижением психомоторной активности за счет традиционной организации учебного процесса [7 – 9]. В этой связи необходим поиск инновационных подходов, позволяющих сохранить здоровье школьников.

Содержательной частью такой здоровьесберегающей технологии может быть подход, связанный с изменением положения тела учащегося с традиционного, сидя за партой, на ортоградное [10]. В этой связи в задачу нашего исследования входило изучение влияния инновационной методики В.Ф.Базарнова на адаптационные возможности организма школьников в контексте оценки причинных связей между явными и скрытыми параметрами функционального состояния организма с помощью метода моделирования структурными уравнениями и разработка

алгоритма психосоматического здоровья, формирующегося под влиянием ортоградного позиционирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Предварительное построение гипотетических связей осуществлялось на основе данных корреляционного анализа, вычисленного в группе, включающей 50 школьников в возрасте 12-13 лет, обучающихся по инновационной методике В.Ф.Базарнова[10].

Реальные связи между наблюдаемыми явными переменными могут быть сложными, однако у нас есть гипотеза, что имеется некоторое число скрытых переменных, с известной степенью точности объясняющих структуру этих связей [1]. При создании структурной модели руководствовались принципом описания скрытых факторов, их взаимосвязей с минимально достаточным числом репрезентативных явных параметров для получения должных или близких к ним значений критериев адекватности модели.

Построение модели проводили с помощью модуля SEPATH компьютерной программы STATISTICA v.6.0.

Структурная модель, графически сформированная на языке диаграмм путей, представлена на рис 1.

Скрытый экзогенный фактор, определяющий психосоматическое здоровье подростка, в структурной модели представлен переменной *PSS*.

Явной экзогенной переменной в регрессионной модели послужил коэффициент устойчивости α , полученный при биомеханическом тестировании ортоградного положения тела. Оценивалась также соответствующая остаточная переменная *Delta1*.

В качестве эндогенного скрытого фактора был рассмотрен адаптационный механизм, обеспечивающий физиологические параметры соматического здоровья подростка (условное обозначение *FPH*). Ошибка скрытого эндогенного фактора была обозначена как *Zeta 1*. Эндогенными явными переменными в структурной модели явились максимальное потребление кислорода, мощность работы на 2-ой ступени нагрузки, скорость выделения двуокси углерода в покое и индекс общей адаптивности при психологическом тестировании. Им соответствовали остатки с именами *Epsilon 1*, *Epsilon2*, *Epsilon3*, *Epsilon4*. Для улучшения качества подгонки модели включили пути, связывающие *Epsilon3* с *Epsilon2*, *Epsilon4* с *Epsilon3*, и *Epsilon 3* с *Epsilon 1*.

Оценка неизвестных факторов проводилась методом наименьших квадратов с последующим применением метода максимального правдоподобия. Использовался метод кубической интерполяции в процедуре поиска экстремума, завершенность которого оценивалась по достижении уровня значимости, равного 0,0001. Программой в качестве свободных параметров оценивались пути между экзогенными и эндогенными переменными, дисперсии остаточных переменных и ошибок скрытых эндогенных факторов. Помимо этого, оценке подлежали пути, связывающие остаточные переменные с соответствующими им явными переменными, а ошибки - со скрытыми эндогенными факторами, имеющими фиксированное весовое значение, равное 1,0.

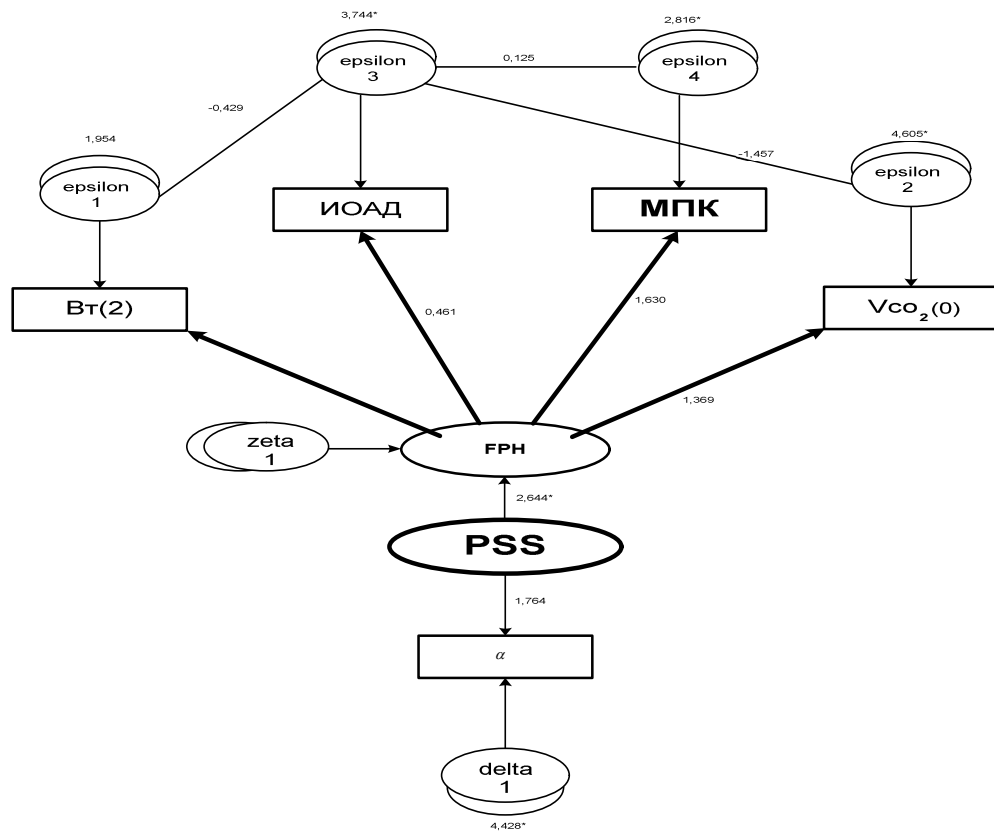


Рис. 1 Структурная модель, оценивающая связи скрытых и явных переменных: прямоугольники - явные переменные; эллипсы - скрытые переменные; стрелки – прямые связи (пути) между переменными; дуги – не прямые связи, оценивающие дисперсии переменных в качестве свободных параметров; цифры - весовые значения оценки прямых и не прямых связей; звездочки - степень достоверности весовых значений связей.

Для оценки адекватности построенной модели использовали следующие показатели: критерий Брауна(MRC), характеризующий успешную сходимость процедуры оценивания модели при его значении равном нулю; критерии инвариантности модели (ICSF и ICS) при должных значениях близкие к нулю; критерий граничных значений (BC), равный нулю свидетельствует об успешной сходимости процедуры оценивания модели; индекс Стейгера – Линда (RMSEA) характеризует качественную подгонку модели при его значении равном нулю; индекс нецентральности Мак-Доналдса (MDIN), индекс Джорескога (GFI) и гамма-индекс (Population Gamma Inlex) характеризуют адекватность построенной модели при значениях более 0,95; индекс стандартизированных остатков (RMSSR) говорит о хорошем качестве подгонки модели при значении менее 0,05;

стандартизированные остатки переменных, если их значения равны или близки к нулю, объясняют адекватность структурной модели.

На основе множественного регрессионного анализа разрабатывался алгоритм диагностики психосоматического здоровья подростков под влиянием ортоградного позиционирования. В работе использовалась стратегия шагового отбора, при котором признак в уравнение включался при условии существенного увеличения значения множественного коэффициента корреляции, что позволило последовательно отобрать факторы, оказывающие существенное влияние на результирующий признак, и тем самым, определить вклад каждого отобранного фактора в объясненную дисперсию Y [1].

В качестве независимой переменной было принято значение максимального потребления кислорода МПК. В результате пошагового анализа было отобрано четыре переменных, являющихся зависимыми: коэффициент устойчивости \acute{a} , мощность работы на второй ступени нагрузки при велоэргометрическом обследовании, скорость выделения двуокиси углерода в покое и индекс общей адаптивности при психологическом тестировании.

Статистическую обработку проводили в пакете Statistica v.6. Множественная регрессия проводилась пошаговым методом при допуске, равном 0,0001 и при включении в модель свободного члена регрессии. При оценке регрессии применяли F – критерий Фишера. Значение независимой переменной на основе зависимой определяли при помощи R -коэффициента корреляции между переменными, коэффициента детерминации R -square и adjusted R -square – скорректированного коэффициента детерминации. Уровень значимости полученных коэффициентов регрессии принимали при значении равном 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Применяемые на практике оценочные индексы дают четкое представления о модели с различных точек зрения и помогают всесторонне провести диагностику регрессионной модели.

Процедура оценки структурной модели выявила, что численное значение функции F на последней итерации составило 0,00487. При тестировании по индексам $ICSF=0$, $ICS=0$ следует, что регрессионная модель является инвариантной относительно изменения шкалы; в частности, модель не меняется при умножении данных на одну и ту же константу, а также при сдвиге на фиксированную величину. Полученное значение по критерию Брауна ($MRC=0$), показывает успешную сходимость процедуры оценивания. Это подтверждается также специальным параметром граничного значения ($BC = 0$). Степень адекватности построенной модели проверяли на основе оценки параметра нецентральности статистики хи-квадрат. Полученные значения индекса нецентральности Мак-Дональда ($MDIN=1$), индекса Джорескога ($GFI=1$) и гамма-индекса ($PGI=1$) указывают на хорошую подгонку и адекватность структурной модели. Это можно утверждать и при оценке структурной регрессии по индексу стандартизированных остатков ($RMSSR=0,016$). Полученное значение индекса Стейгера – Линда

(RMSEA=0) также указывает на адекватное описание данных структурной моделью.

Построенная система структурных уравнений позволила оценить параметры регрессионной модели, связывающие скрытые, не изучавшиеся в работе факторы, лежащие в основе механизма адаптации, обеспечивающего физиологические параметры соматического здоровья у подростков. Весовое значение пути между *PSS* и *FPH* составило 2,644 ($p < 0,008$), *PSS* и *альфа* 1,764 ($p > 0,078$). Связи у остатков эндогенных явных переменных сохранились устойчивыми и достоверными у *Epsilon2* ($p < 0,000$), *Epsilon3* ($p < 0,000$) и *Epsilon4* ($p < 0,005$). Связь остаточной переменной *Delta1* значима и адекватна ($p < 0,000$).

Таким образом, правильность выдвинутых предположений о взаимосвязях подтверждается оптимальным уровнем критериев, оценивающих адекватность построенной структурной модели.

В работе также разрабатывался алгоритм диагностики психосоматического здоровья подростков под влиянием ортоградного позиционирования на основе применения пошагового регрессионного анализа.

Полученное уравнение множественной регрессии представляет не только практический интерес как математическая модель, но и как алгоритмическое решение оценки психосоматического здоровья (1):

$$Y = 1248,69 + 10,054 \text{ Вт}(2) - 1,430 \alpha + 0,130 \text{ ИОАД} + 0,0428 \text{ VCO}_2 \quad (1),$$

где Вт (2) - мощность работы на второй ступени нагрузки при велоэргометрическом обследовании; α - коэффициент устойчивости; ИОАД - индекс общей адаптивности при психологическом тестировании; VCO_2 - скорость выделения двуокиси углерода в покое.

В данной модели каждый показатель имеет определенный «вес» по своему вкладу в формирование функционального состояния подростков (табл.1).

Указанные четыре показателя вместе дают коэффициент множественной корреляции $R=0,996$. Полученный коэффициент детерминации ($R\text{-square} = 0,994$) показывает, что построенная регрессия объясняет 99,40 % разброса значений МПК относительно среднего.

Высокое значение скорректированного коэффициента детерминации ($\text{Adjusted } R\text{-square} = 0,993$) говорит о хороших объясняющих свойствах модели. Проверка значимости регрессии по критерию Фишера $F = 1865,829$ ($p < 0,0000$) свидетельствует, что построенная регрессия высоко значима.

Таблица 1.

Итоги численного оценивания регрессионной модели

N=50	Бета	Std.Err.of Beta	B	Std.Err.of B	T (45)	p-level
Отрезок			1248,699	17,10762	72,99078	0,000000
Вт (2)	0,998949	0,012127	10,054	0,12205	82,37248	0,000000
Альфа	-0,030183	0,011923	-1,430	0,56468	-2,53158	0,014917
ИОАД	0,028076	0,011894	0,130	0,05498	2,36046	0,022647
$\text{VCO}_2(0)$	0,018793	0,012099	0,042	0,02729	1,55325	0,127370

Качественно построенное уравнение можно интерпретировать следующим образом:

1) улучшение психосоматического здоровья подростков старшего школьного возраста растёт: с возрастанием мощности нагрузки, с увеличением скорости выделения двуокиси углерода и с ростом индекса общей адаптивности

2) возрастание адаптационного потенциала, обеспечивающего физиологические параметры соматического здоровья подростка, напрямую связано с уменьшением коэффициента устойчивости тела.

Физиологическая интерпретация данного уравнения как математической модели функционального состояния организма, с нашей точки зрения, достаточно ясна.

Бесспорно, ведущими в процессе адаптации организма к условиям окружающей среды являются энергометаболические компоненты гомеостаза, определяющие интенсивность обмена веществ в организме. Рост функциональных возможностей кислородтранспортной системы – индикатора адаптационных реакций целостного организма, способствует повышению мощности работы. Формирование адекватности в поведении подростков, снижение чувствительности к внешним раздражителям, позитивное изменение самооценки увеличивают индекс общей адаптивности.

Из модели также следует, что снижение коэффициента устойчивости тела позитивно влияет на физиологические параметры соматического здоровья. Необходимо отметить, что наименьшим коэффициентом устойчивости характеризуется ортостатическое положение тела. В постуральный режим работы мышц, при этом, вовлекаются преимущественно низкороговые, устойчивые к утомлению двигательные единицы. Сила сокращения мышц при таком виде деятельности невелика, а режим близок к изометрическому при значительной длительности сокращения.

Таким образом, тренирующий и в то же время экономичный характер нагрузки способствует оптимизации функциональных резервов организма, приводя, в конечном итоге, к совершенствованию физиологических функций организма.

ВЫВОДЫ

1. Построенная с помощью структурных уравнений модель, основанная на оценке связей изученных физиологических параметров здоровья с гипотетическими факторами, не вошедшими в спектр определяемых параметров, позволила определить на межсистемном уровне характер формирования адаптационного потенциала в обеспечении физиологических составляющих психосоматического здоровья подростков.

2. Построение регрессионных моделей способствует не только получению упрощенного алгоритма и выявлению неучтенных факторов, но и решает вопрос о соответствии модели экспериментальным данным, что позволяет анализировать альтернативные базисные наборы.

3. Использование методов математического моделирования является адекватным методом оценки параметров биологических систем.

Список литературы

1. Боровиков В.П. , Боровиков И.П. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows – М., 1997. – 592с.
2. Казин Э.М., Лушпа Л.Г., Федоров А.И.Использование модели физиологического мониторинга для комплексной оценки адаптивных возможностей учащихся в процессе образовательной деятельности // Физиология человека. – 2002. –Т.28, №4. – С.59-62.
3. Смирнов Н.К. Здоровьесберегающие технологии в современной школе. – М.: АПКИПРО, 2002. – 212с.
4. Тараканова Л.А. Здоровьесберегающие технологии // Завуч. –2002. – №2. –С. 120-128.
5. Калинин Л.А. Использование новых и традиционных активно – оздоровительных технологий для оздоровления учащихся общеобразовательных учреждений (система ПОЛИКОН): Метод.пособие. – М., 2003. – 116 с.
6. Сміяв І.С. Здоров'я дітей і майбутнє України // Педіатрія. – 1997. – № 1. – С. 6-11.
7. Вайнер Э.Н. Образовательная среда и здоровье учащихся // Валеология. –2003. –№2. – С.35-39.
8. Евстифеева О., Кучменко Н. Деятельность школы и здоровье // Народное образование. – 2001. – №2. – С.167-169.
9. Лебедева Н.Т. Школа и здоровье учащихся. –Минск.:Беларусь, 1998. –221 с.
10. Базарный В.Ф. Методология и методика раскрепощения нейрофизиологической основы психического и физического развития учащихся в структурах учебного процесса – Сергиев Посад.: Сыктывкар, 1995. –31 с.

Поступила в редакцию 20.05.2006 г.