

Татьяна Круцевич

## Модельно-целевые характеристики физического состояния в системе программирования физкультурно-оздоровительных занятий с подростками

**Резюме.** У статті обґрунтовано моделі характеристик фізичного стану підлітків 13–15 років, що вважаються кількісними критеріями фізичної підготовленості, котрі мають безпосередній зв'язок з функціональними показниками соматичного здоров'я. Цільові моделі належного рівня фізичної підготовленості використовуються у системі управління індивідуальним здоров'ям школярів у процесі фізичного виховання.

**Summary.** The paper is devoted to validation of the model characteristic of the physical status of 13–15 years old teenagers, that is described by quantitative criteria of physical capacities and physical fitness directly related to functional indices of somatic health. The principal models of proper physical fitness level are used in the system managing the individual teenagers health in the process of physical education.

Программирование является одним из вариантов нормативного прогнозирования, так как в качестве нормы выступает цель физического воспитания — достижение оптимального состояния физического здоровья, обусловленного соответствующим уровнем функционирования систем организма.

Нормативные уровни физического состояния могут быть представлены в виде моделей, характеристиками которых являются функциональные показатели сердечно-сосудистой, дыхательной, нервной систем в покое или после выполнения физической нагрузки, показатели физической работоспособности, физической подготовленности и т. п. [7]. Такие модели могут соответствовать средневозрастным, должным или индивидуальным нормам. Следуя основным условиям управления необходимо измерить аналогичные характеристики у управляемого объекта, сопоставить с заданной моделью, выявить различия между ними и степень отдаленности от цели. Целевые модели конкретизируют педагогические задачи, позволяют подобрать средства, методы, объем и интенсивность нагрузок адекватно индивидуальным особенностям занимающегося. При этом необходимо учитывать причины снижения показателей — перенесенные заболевания, влияние неблагоприятных факторов внешней среды, детренированность вследствие ограничения двигательной активности.

В школьном возрасте цель физического воспитания конкретизируется следующими оздоровительными задачами:

- 1) профилактика возникновения приоритетных заболеваний (нарушение осанки, вирусно-респираторные);
- 2) гармоничное развитие всех физических качеств с учетом сенситивных периодов;
- 3) достижение должного уровня физического состояния, обеспечивающее высокий уровень физического здоровья.

Должные нормы физического состояния обосновываются объективными данными, свидетельствующими о том, что ученики, выполнившие установленные нормативы физической подготовленности, обладают более высоким уровнем здоровья, более высокой сопротивляемостью организма к неблагоприятным факторам окружающей среды по сравнению с теми, кто их не выполнил.

С этих позиций практически ни один норматив физической подготовленности, представленный в существующих системах тестирования в нашей стране, не является обоснованным. В связи с этим целью нашей работы является обоснование и разработка мо-

дельно-целевых характеристик физического состояния на примере 13-летних мальчиков-подростков, не занимающихся спортом.

В качестве основной концепции, характеризующей подход к изучаемому вопросу, мы приняли состояние биоэнергетики индивида как критерия совершенства роста и развития.

Динамика функционального резерва биоэнергетики в онтогенезе характеризуется вариацией средней величины энерготрат в покое и существенным повышением этого уровня при физической нагрузке в абсолютных показателях [1–3]. В раннем детском возрасте недостаточная функциональная зрелость скелетно-мышечной, сердечно-сосудистой и дыхательной систем ограничивает адаптивные возможности повышения энергетического обмена при физических нагрузках. При этом отмечается, что максимальный уровень энерготрат, производимых за счет аэробных метаболических реакций, зависит от длины, массы и поверхности тела индивида, а также от степени его физической тренированности. Этот показатель увеличивается с возрастом пропорционально длине и массе тела ребенка, достигая максимума к 18–20 годам [12]. Таким образом, относительные (на 1 кг массы тела) показатели функций растущего организма (в покое),

обеспечивающих транспорт кислорода, остаются неизменными [4,5]. По мнению Г.Л. Апанасенко [1], именно величина МПК является критерием распределения здоровых и больных лиц на различные уровни физического здоровья, в основе которых лежит объем резервов биоэнергетики. Наиболее простыми и доступными критериями, позволяющими характеризовать резерв энергообразования, являются результаты тестирования физической работоспособности, так как только общая выносливость характеризует максимальные аэробные возможности индивида. В качестве теста на общую выносливость для детей 7–16 лет авторы рекомендуют бег на 1500 м, 12-минутный тест Купера, велоэргометрическую нагрузку, состоящую из нескольких ступеней (PWC-170).

В данных исследованиях мы изучили 40 показателей, характеризующих морфофункциональный статус, физическую работоспособность (PWC-170), физическую подготовленность подростков с помощью методов факторного, кластерного, корреляционного и регрессионного анализа для синтеза прогнозных моделей физического состояния.

Индикаторным показателем физического состояния, согласно выбранной концепции и результатам факторного анализа, явилась мощность второй ступени велоэргометрической нагрузки ( $x_{13}$ ). Как и было определено многими авторами, наибольшая зависимость аэробной мощности нагрузки определяется переменными длины и массы тела подростков ( $x_2$  и  $x_3$ ).

Задача выбора базовых переменных была решена методом кластерного анализа показателей, характеризующих морфологический статус школьников (10 переменных), что привело к формированию границ трех непересекающихся кластеров из контингента школьников, четко различающихся по длине и массе тела (табл. 1). Компоновка кластеров на плоскости показана на рис. 1.

Наибольшее количество школьников как объектов исследования (60,9 %) оказалось сосредоточенным в первом кластере, координаты которого близки к средним значениям длины тела ( $x_2$ ) и массы тела ( $x_3$ ) всей выборки, равным соответственно 156,8 см и 44,9 кг. Координаты второго кластера (16,9 % выборки) характеризуют школьников как низкорослых, масса тела которых лишь незначительно уступает массе школьников первого кластера. В третьем кластере, включающем 22 % выборки, оказались высокорослые школьники с массой тела, на 13 кг превосходящей среднюю в выборке.

Таблица 1

Содержание кластеров на плоскости  
длина тела ( $x_2$ ) — масса тела ( $x_3$ )

Номер кластера	Количество членов в кластерах	Вклад, %	Координаты центров кластеров	
			$x_2$	$x_3$
1	53	60,9	156,8	42,1
2	14	16,9	140,6	37,9
3	20	22,2	168,2	57,9

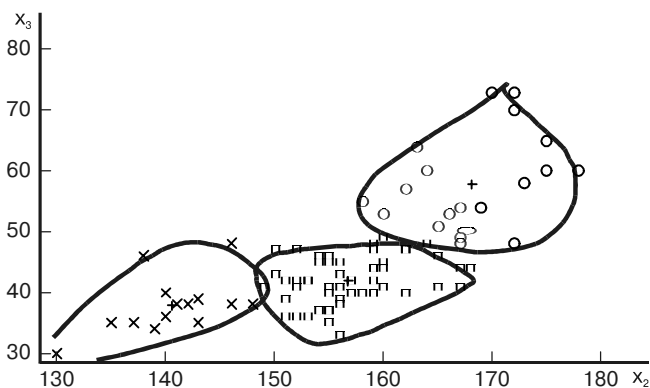


Рис. 1. Компоновка кластеров на плоскости  $x_2$ – $x_3$ :  
□, ×, ○, — кластеры 1, 2, 3 соответственно; + — центры

Характерно, что такое распределение произошло в группе одного хронологического возраста — 13 лет (всего 87 испытуемых), что свидетельствует о неоднородности группы по биологическому возрасту и о возможности использования показателей длины и массы тела в качестве характеристик темпов физического развития.

Синтез прогнозной модели физической работоспособности ( $W_{пр}$ ) осуществляется с учетом нелинейного характера зависимостей переменных длины ( $x_2$ ) и массы ( $x_3$ ) тела, что обусловило введение в качестве кандидатов в регрессоры их квадратов ( $x_2x_2$ ,  $x_3x_3$ ) и произведения ( $x_2x_3$ ). Результатом является прогнозная модель вида

$$W_{пр} = PWC_{170} = 0,769x_3 - 0,0048(x_2)^2 - 0,057(x_3)^2 + 0,036x_2x_3. \quad (1)$$

Наглядное представление о структуре поверхности можно получить из рис. 2, на котором построены линии постоянного уровня мощности как функции длины тела и его массы. Данный рисунок используется как номограмма для определения минимального прогнозируемого уровня мощности физической нагрузки для индивидуума без тестирования.

Прогнозируемый уровень физической работоспособности является функцией показателей, на 70–80 % генетически обусловленных и мало поддающихся управлению в процессе физического воспитания. В связи с этим нами был продолжен поиск прогнозной модели  $W_{пр}$  с управляющими переменными. В качестве управляющих показателей был использован набор из 16 переменных  $x_{21}$ – $x_{36}$ , абсолютные показатели которых являлись результатами двигательных тестов и характеризовали физические качества — силу, быстроту, выносливость, ловкость, гибкость.

Синтез модели с оптимальными статистическими характеристиками выполнялся на ПЭВМ с помощью алгоритма Нелдера — Мида [10] в полуавтоматическом режиме. Критериями регуляризации при отборе моделей были минимальное количество управляющих переменных, минимальные значения стандартной ошибки оценки и средней абсолютной ошибки, а также максимально достижимые значения коэффициентов R-квадратического. Базовыми переменными были выделены  $x_{25}$  — прыжок в длину с места (см),  $x_{27}$  — сила кисти (кг),  $x_{34}$  — челночный бег 10x5 м (с).

Модель описывается уравнением множественной линейной регрессии.

$$W_{пр} = 0,1145x_{25} + 1,1551x_{27} - 0,3847x_{34}. \quad (2)$$

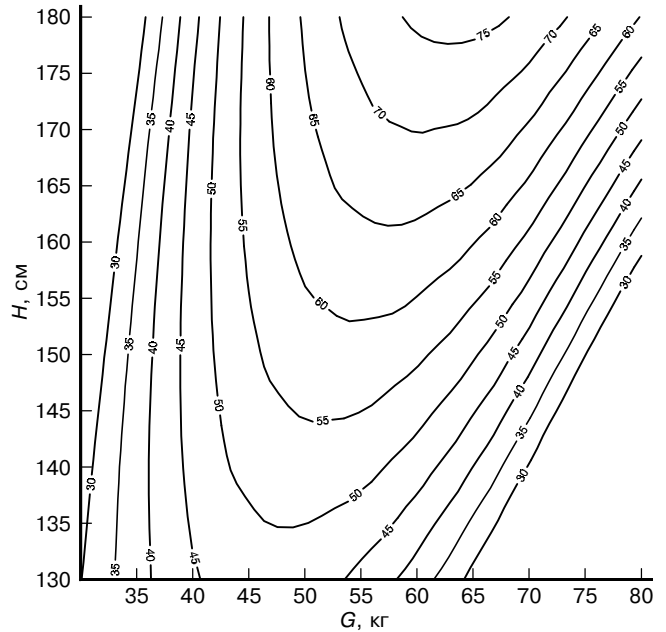


Рис. 2. Линии постоянного уровня мощности  $W_{пр} = \text{const}$  на плоскости параметров массы ( $G$ ) и длины ( $H$ ) тела

Поскольку оценка значимости  $P$  меньше 0,01, уравнение (2) в целом статистически значимо с доверительной вероятностью 99 %. Статистика R-квадратического показывает, что модель объясняет 99,6 % дисперсии переменной  $W_{пр}$ .

Анализ базовых переменных функциональной модели физической работоспособности — силовых, скоростных и скоростно-силовых качеств — показывает, что значительный вклад в обеспечение мощности работы аэробного характера вносит сила скелетных мышц, отражающая тонус и активность «реципиентной» (мышечной) ткани, поглощающей кислород.

Правило «скелетных мышц» И.А. Аршавского основано на выведенной физической закономерности — двигательная активность живой системы является фактором функциональной индукции избыточного анаболизма. Различают две формы избыточного анаболизма. Первая представлена в антенатальном и раннем постнатальном периодах с постепенным затуханием и выражается в избыточном накоплении протоплазменной массы, что и обуславливает увеличение линейных и весовых характеристик организма. Вторая форма проявляется в избыточном накоплении структурно-энергетических потенциалов в мышцах скелета, повышающих их рабочие возможности.

В избыточном анаболизме, индуцируемом функциональной активностью, заключается ведущий механизм, лежащий в основе процессов роста и развития. Связанная с ограничением

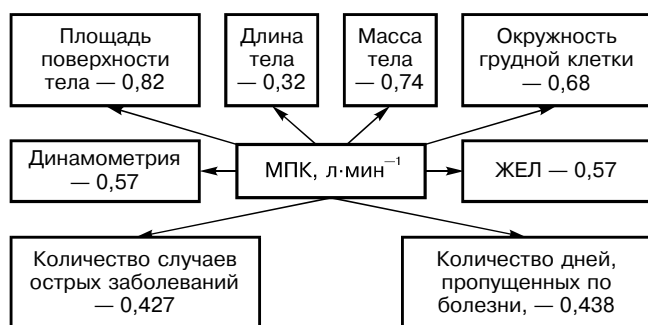


Рис. 3. Корреляционные связи МПК с некоторыми показателями антропометрии и заболеваемости детей в возрасте 7–9 лет (по Г.Л. Апанасенко, 1985)

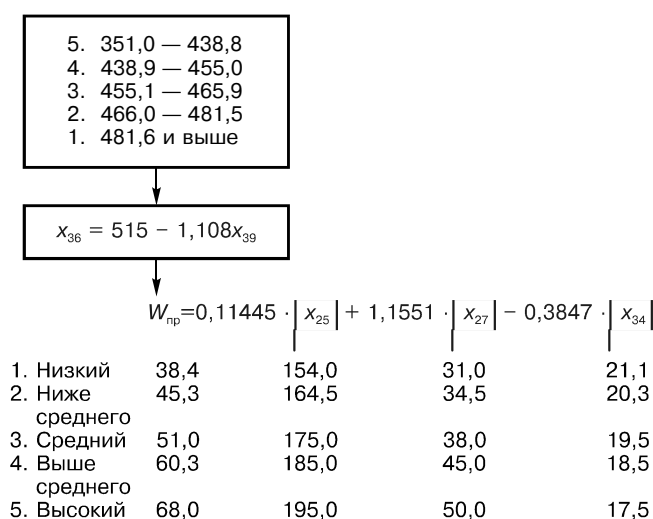


Рис. 4. Уравнение-трафарет для программированного управления переменной  $W_{пр}$  в занятиях с 13-летними подростками:  $x_{25}$  — прыжок в длину с места;  $x_{27}$  — сила кисти (кг);  $x_{34}$  — челночный бег 10 x 5 м (с);  $x_{36}$  — время бега на 1500 м (с);  $x_{39}$  — средняя мощность нагрузки (Вт)

двигательной активности недостаточная стимуляция избыточного анаболизма в период роста и развития, когда отмечается наибольшая подверженность влиянию окружающей среды, способствует их ограничению и неполному использованию генетического фонда. Исследованиями Г.Л. Апанасенко (рис. 3) и нашими исследованиями [8, 9] подтверждена значимая связь показателей силы кисти с показателями физического здоровья у детского контингента, не занимающегося спортом.

Сила кисти тесно взаимосвязана с результатами в двигательных тестах: подтягивание на перекладине, поднятие туловища из положения лежа на спине, прыжок в длину и в высоту с места, а также со становой силой (рис. 5). Это свидетельствует о возможности использования силы кисти как индикатора развития скелетной мускулатуры. Однако локальное развитие силы кисти не приводит к увеличению всех приведенных вы-

ше показателей, т.е. обратной связи не наблюдается. Это поясняет мнение некоторых авторов об отсутствии информативности показателя силы кисти при тестировании силовых качеств. При целенаправленном развитии силы отдельных мышечных групп в спортивной тренировке (тяжелая атлетика, культуризм, легкая атлетика и др.) такая взаимосвязь с показателем силы кисти и физического здоровья может нарушаться. Сущность системы управления ресурсами физической подготовки состоит в том, что уравнение прогнозной модели (2) непосредственно может использоваться при программировании управляющих воздействий с целью достижения желаемого уровня физической работоспособности. Инструментом для практического применения является уравнение-трафарет (рис. 4), в котором совмещены факторы влияния на управляемую переменную управляющих переменных с указаниями уровней их проявления. Выяснив текущие значения управляющих переменных конкретного испытуемого, можно определить его наличные резервы по каждой управляющей переменной и вычислить будущие значения управляемой переменной, достижение которых является целью управления.

Целевая модель физической работоспособности объединила в себе составляющие мощности выполняемой работы. Сопоставление индивидуальных показателей занимающихся с модельными дает возможность конкретизировать задачи, направленность и соотношение средств в тренирующих программах. Показатель силы кисти выступает здесь интегральным показателем скелетной мускулатуры. В связи с отсутствием специализированных занятий спортом у обследуемого контингента наблюдается значимая корреляционная связь ( $p < 0,01 - 0,001$ ) силы кисти со становой силой и силовыми и скоростно-силовыми тестами (рис. 5), что дает возможность включать в программы занятий средства направленного и гармоничного развития мышечной силы у подростков.

Формирование аэробного компонента физической работоспособности связано также с развитием общей выносливости, которая определяется временем пробегания дистанции 1500 м ( $x_{36}$ ).

Применив аналогичный подход, мы вывели прогнозную модель для средней мощности велоэргометрической нагрузки ( $x_{39}$ )

$$PRx_{36} = 515 - 1,108x_{39} \tag{4}$$

со средней абсолютной ошибкой 17,1 с. Это дало возможность определить должный результат в

беге на 1500 м, который соответствует высокому уровню мощности велоэргометрической нагрузки (75 Вт), равный  $431,9 \pm 17,1$  с, т. е. 7 м 22 с  $\pm 17,1$  с.

Данный результат характеризуется средней скоростью пробегания дистанции  $3,4-3,6$  м/с<sup>-1</sup>. В переводе на метаболические единицы это соответствует 13–14 МЕТ с МПК  $50-52$  мл/мин<sup>-1</sup>/кг<sup>-1</sup> [9, 11], что, по мнению многих авторов, является нормой для подростков (Киевский НИИ медицинских проблем физической культуры, 1977) и характеризует безопасный уровень соматического здоровья [2].

Продолжая исследование этого вопроса, мы обратились к показателям заболеваемости школьников в течение календарного года, которые характеризуются количеством заболеваний ( $x_{37}$ ) и общим числом пропущенных по болезни дней ( $x_{38}$ ). Изучение зависимости между переменной  $x_{38}$  и временем бега на дистанцию 1500 м ( $x_{36}$ ) (рис. 6) позволило определить, что для уменьшения заболеваний на 1 день школьник обследуемого контингента должен, согласно своим функциональным возможностям пробегать дистанцию 1500 м на 15,5 с быстрее своего личного результата. Прогнозная модель, связывающая заболеваемость ( $x_{38}$ ) с общей выносливостью ( $x_{36}$ ) имеет вид

$$x_{38} = -19,48 + 0,064x_{36} \quad (5)$$

Проверив выведенный норматив в беге на 1500 м (415–449 с), мы можем прогнозировать, что подросток имеет вероятность заболеть на 7–9 дней в течение года, что относится к эпизодическим заболеваниям. Если, достигнув этого норматива, он заболел в течение года один раз острым вирусно-инфекционным заболеванием, то для увеличения резервов сопротивляемости организма ему необходимо либо направленно тренироваться для улучшения общей выносливости, либо включить в программу занятий другие средства физического воспитания, развивающие силовые и скоростно-силовые качества, стимулирующие функциональные резервы организма.

Из 16 двигательных тестов были выделены (кроме физической работоспособности и общей выносливости) еще несколько тестов, взаимосвязанных с заболеваемостью подростков, что дало возможность синтеза прогнозных моделей.

Так была выведена модель, связывающая заболеваемость с силой кисти ( $x_{27}$ ), которая имеет вид

$$x_{38} = 24,05 \div 0,356x_{27}, \quad (6)$$

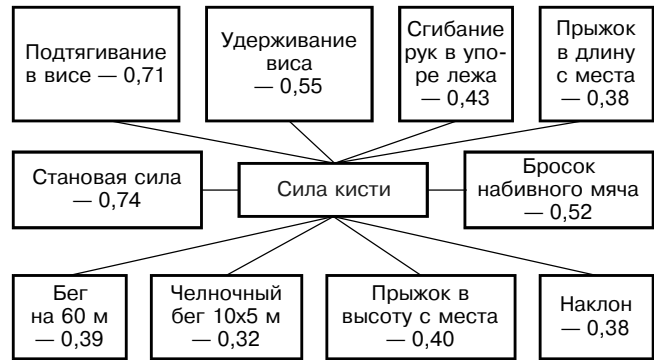


Рис. 5. Корреляционная взаимосвязь силы кисти с результатами двигательных тестов

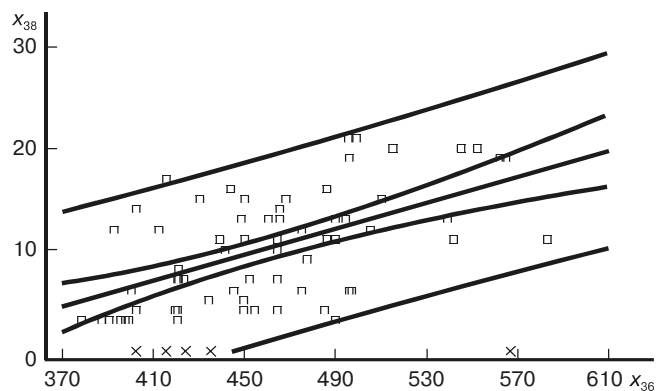


Рис. 6. Статистическая связь между заболеваемостью ( $x_{38}$ ) и временем бега на 1500 м ( $x_{36}$ )

и является статистически значимой в целом при доверительной вероятности 90 %. Крутизна полученной зависимости такова, что на один день увеличения заболеваемости приходится 2,8 кг усилия кистевой динаметрии. Ниже приведены модели, связывающие заболеваемость с результатами в тестах:

подтягивание на перекладине ( $x_{21}$ )

$$x_{38} = 17,37 \div 1,04x_{21}; \quad (7)$$

сгибание и разгибание рук в упоре лежа ( $x_{24}$ )

$$x_{38} = 17,04 \div 0,31x_{24}; \quad (8)$$

прыжок в длину с места ( $x_{25}$ )

$$x_{38} = 27,2 \div 0,1x_{25}; \quad (9)$$

прыжок в высоту с места ( $x_{26}$ )

$$x_{38} = 22,2 \div 0,33x_{26}; \quad (10)$$

бег на 60 м ( $x_{33}$ )

$$x_{38} = -56,7 + 6,63x_{33}. \quad (11)$$

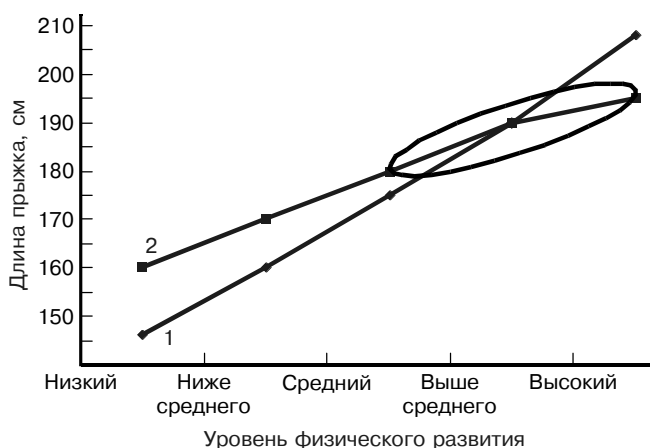


Рис. 7. Нормативы прыжка в длину для 13-летних мальчиков в системе государственных тестов (1) и "должных" норм физического состояния (2)

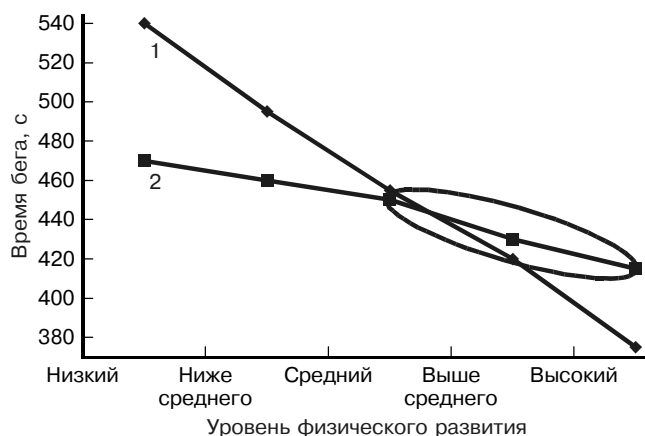


Рис. 8. Нормативы в беге на 1500 м для 13-летних мальчиков в системе государственных тестов (1) и "должных" норм физического состояния (2)

Это дает возможность осуществлять коррекцию модели должного уровня физической подготовленности индивида в зависимости от количества дней острых респираторных вирусно-инфекционных заболеваний в течение года.

Сопоставление прогнозируемых показателей «должных» норм и существующих нормативов в государственных тестах (рис. 7, 8) позволяет сделать заключение об их несоответствии. Диапазон должных величин располагается в зоне от среднего результата до высокого, причем высокий уровень в государственных тестах лежит выше оптимального результата, обеспечивающего высокий уровень физического состояния. Используемый нами метод прогнозного моделирования позволяет корректировать нормативы физической подготовленности в зависимости от цели физического воспитания школьников.

**Заключение.** Таким образом, разработанные модели физического состояния подростков имеют количественную характеристику, которая выражается показателями физической работоспособности, отдельными показателями физической подготовленности, имеющими непосредственную связь с функциональными характеристиками соматического здоровья, определяющими энергопотенциал биосистемы.

Определены количественные критерии «безопасного уровня здоровья» (Г.Л. Апанасенко) по результатам в двигательных тестах на выносливость, силу, быстроту, отражающие качественный уровень функционирования организма подростков при выполнении физических упражнений, которые обеспечивают минимальный риск возникновения острых респираторных вирусно-инфекционных заболева-

ний в течение года и эндогенных факторов риска.

Приведенные выше модели помогают корректировать должные нормативы для конкретного занимающегося и составлять программы физкультурно-оздоровительных занятий, подбирая разнообразные средства воздействия для развития силовых, скоростных, скоростно-силовых качеств, общей выносливости, используя те виды упражнений, которые вызывают интерес у подростков. Нормативные модели физического состояния и модели управления процессом физического воспитания дают возможность разрабатывать компьютерные программы занятий с учетом возрастных и индивидуальных особенностей занимающихся, что облегчает работу преподавателя физического воспитания и повышает оздоровительную эффективность физкультурных занятий.

Данный подход в разработке целевых моделей открывает возможность обосновывать и разрабатывать нормативы при тестировании физической подготовленности различных возрастных групп населения, учитывая целесообразность их достижения в зависимости от задач физического воспитания.

1. Апанасенко Г.Л. О возможности количественной оценки здоровья человека // Гигиена и санитария. — 1985. — № 6. — С. 55 — 58.

2. Апанасенко Г.Л. Эволюция биоэнергетики и здоровье человека. — СПб.: Петрополис, 1992. — 123 с.

3. Апанасенко Г.Л., Попова Л.А. Медицинская валеология. — К.: Здоров'я, 1998. — 245 с.

4. Аринчин В.Н. Оценка функционального состояния сердца у детей в онтогенезе // Вопросы охраны материнства и детства. — 1983. — № 2. — С. 21—23.

5. Аринчин В.Н. Закономерности изменений кровообращения у детей и подростков от рождения до 16-летнего воз-

раста // Тезисы Первой конференции по физиологии развития человека, т. 1. — М., 1977. — С. 27–28.

6. *Аршавский И.А.* Физиологические механизмы и закономерности индивидуального развития. — М.: Наука, 1981. — 282 с.

7. *Баевский Р.М.* Прогнозирование состояний на грани нормы патологии. — М.: Медицина, 1979. — 294 с.

8. *Круцевич Т.Ю.* Количественная система оценки физического состояния подростков в процессе физического воспитания //Збірник наукових праць Волинського держуніверситету ім. Л.Українки. — Луцьк, 1999. — С. 421–427.

9. *Круцевич Т.Ю.* Методы исследования индивидуального здоровья детей и подростков в процессе физического воспитания — К.: Олимпийская литература, 1999. — 232 с.

10. *Львовский Е.Н.* Статистические методы построения эмпирических формул: Учебное пособие. — М.: Высшая школа, 1982. — 224 с.

11. *Leger, Boucher R.* An indirect continuous running multystape field test/ The University de Montreal Trach test //Can.J.Apl. — 1980. — № 5. — P. 77–84.

12. *Mirwald R.L., Bailey D.A.* Maximal aerobic power: A longitudinal analysis. — London, ON: Sport Dinamics, 1986.

Национальный университет  
физического воспитания и спорта Украины, Киев

Поступила 19.09.2000